



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EFFECTO DEL OZONO SOBRE ESPECIES NATIVAS ARBUSTIVAS

AUTORA

Verónica Alexandra Terán Chávez

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EFFECTO DEL OZONO SOBRE ESPECIES NATIVAS ARBUSTIVAS

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

Profesor Guía

Ph. D. Rasa Zalakeviciute

Autora

Verónica Alexandra Terán Chávez

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Efecto del ozono sobre especies nativas arbustivas, a través de reuniones periódicas con el estudiante Verónica Alexandra Terán Chávez, en el semestre 2018-2, 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

Doctor of Engineering Science

C.I: 175707679-7

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Efecto del ozono sobre especies nativas arbustivas, de Verónica Alexandra Terán Chávez, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Yasser Alejandro González Romero
Magister 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.”

Verónica Alexandra Terán Chávez

C.I: 172222804-4

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano menor, por apoyarme en cada momento de mi vida, acompañándome en cada paso para ser una persona de bien y que sea un ejemplo para él, que le inspire para que siga su propio camino.

A mi tía Susana, que me apoyado en mi vida, económicamente como moralmente, a sus enseñanzas y consejos para dar paso a paso en la vida.

A mi tío Wagner, gracias por darme risas y apoyo, para alcanzar a un futuro.

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi pilar en todo lo que soy, en mi educación tanto académica como en la vida, por haberme apoyado en todo momento por sus consejos, paciencia, la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, el valor para salir adelante y caminar hacia el futuro.

RESUMEN

El ozono troposférico es un contaminante atmosférico que se forma por reacciones fotoquímicas que se producen en la troposfera. Es un gas fitotóxico generalizado produciéndose en niveles bajos proveniente de emisiones naturales de COV, NO_x y CO. En el Distrito Metropolitano de Quito, debido a las características geográficas y meteorológicas, las concentraciones de ozono varían desde más de 100 µg/m³ (septiembre - estación seca - cielos despejados) a 40 µg/m³ (abril - estación húmeda - alta nubosidad y precipitación). Este trabajo de titulación estudia el efecto de diferentes niveles de O₃ en la morfología de las tres especies nativas. El experimento se lo realizó en micro invernaderos, en el mes de abril. Las especies utilizadas son Chilca (*Baccharis latifolia*), Mora de Castilla (*Rubus glaucus*) y Salvia de Quito (*Salvia quitensis*). Los resultados revelaron que existe variación morfológica en los parámetros de altura de la planta, tamaño de hoja, cantidad de hojas, aparición de manchas, y a nivel microscópico en las tres especies nativas, especialmente en Salvia de Quito. Con base en los hallazgos de este trabajo, recomendamos que las especies utilizadas en un entorno urbano se seleccionen en función de sus niveles de ácido ascórbico. Los niveles más altos de ácido ascórbico ayudan a las plantas a ser más resistentes al estrés ambiental.

ABSTRACT

Tropospheric ozone (O_3) is an atmospheric pollutant that is formed by photochemical reactions between natural and anthropogenic emissions of VOC, NO_x and CO. In the Metropolitan District of Quito, due to the geographical and meteorological characteristics, the ozone concentrations vary from over 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (September – dry season – clear skies) to 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (April – wet season – high cloudiness and precipitation). This titling job studies the effect of different levels of O_3 on the morphology of the three-native species. The experiment was carried out in micro greenhouses, in the month of April. The species used are Chilca (*Baccharis latifolia*), Mora de Castilla (*Rubus glaucus*) and Salvia de Quito (*Salvia quitensis*). The results revealed that there is morphological variation in the parameters of height of the plant, leaf size, number of leaves, appearance of spots, and at the microscopic level in the three-native species, especially in Salvia de Quito. Based on the findings of this work, we recommend, that the species used in an urban setting, are selected based on their ascorbic acid levels. The higher levels of ascorbic acid help the plants to be more resistant to environmental stresses.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Alcance	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1.Calidad del aire.....	4
2.2.Ozono	5
2.3 Efecto del ozono en la salud humana	6
2.4.Efecto del ozono sobre las plantas	7
2.5.Radiación solar	7
2.6.Distribución global del ozono	8
2.7.Ecuador	9
3. METODOLOGÍA	10
3.1.Metodología del experimento	10
3.2 Diseño Experimental.....	11
3.3.Generación de ozono.....	17
3.4 Pasivos ambientales.....	18
3.5.Ácido ascórbico	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1.Registro inicial y final.....	22
4.2.Principio de experimento cajas cerradas.....	38

4.3. Seguimiento de cajas abiertas.....	39
4.4. Variación de concentraciones de ozono - Pasivos Ambientales.....	48
4.5. Análisis estructural microscópico de las hojas.....	49
4.6. Ácido ascórbico	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones	53
REFERENCIAS	55
ANEXOS	60

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En los últimos años debido al crecimiento poblacional y el uso del suelo que da el hombre en extensión de cultivos y para pastizal de ganado, realiza que se provoque pérdida de cobertura vegetal, desgaste de suelos, erosión, compactación, entre otros impactos ambientales (Mosquera, 2017).

A su vez, Ecuador ha sufrido de deforestación, lo que ha ocasionado impactos negativos en varias zonas. El impacto en las cuencas hidrográficas es que se ha perdido cobertura vegetal y sufren de degradación de suelos y esto ocasiona que se refleje en la disminución del recurso hídrico en calidad y cantidad. Otro impacto es el incremento de la emisión de carbono a la atmósfera, pérdida de la biodiversidad, alteración del paisaje y aumento de la vulnerabilidad frente al cambio climático. Esto afecta directamente en la calidad de vida de las personas de todo el país, y deja en un estado vulnerable a las poblaciones de menores recursos económicos, sobre todo en las zonas rurales del país (Ministerio del Ambiente, 2014).

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está situado a gran altura en la zona andina, donde se experimentado un rápido crecimiento de población y de expansión de áreas urbanas. La ciudad ha estado monitoreando por 10 años la calidad del aire proporcionando información sobre los niveles de contaminantes que pueden afectar a la salud humana, en particular los sistemas cardiovascular y respiratorio. La exposición al ozono (O₃) se ha vinculado con la mortalidad prematura y una gama de cuestiones de morbilidad, como admisiones en hospitales y síntomas de asma (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008). Los promedios históricos del ozono abracan desde el 2007 al 2012, mostrando que los valores permanecen debajo del estándar de calidad de aire de 8 horas de 100 µg/m³ que establece la Organización Mundial de la Salud (Cazorla, 2015).

El ozono es un producto de reacciones fotoquímicas de compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO_x). El aumento de las emisiones junto el aumento de la radiación y la temperatura del aire da como resultado una elevación de la concentración de ozono a nivel del suelo. El ozono es un grave problema de contaminación en gran parte del mundo donde ha causado daños considerables en los cultivos, árboles forestales y los ecosistemas (Feng, Paoletti, Bytnerowicz, Harmens, 2015).

En América del Norte, Europa y Japón, el ozono está siendo ampliamente monitoreado. Sin embargo, muchas regiones en desarrollo con concentraciones más altas de ozono tienen redes de monitoreo del ozono limitadas y no continuas, por lo que carecen de evaluaciones adecuadas de los efectos del ozono sobre las plantas (Feng, Paoletti, Bytnerowicz, Harmens, 2015). Un fuerte enfoque fue sobre los efectos del ozono sobre la calidad y cantidad del rendimiento de los cultivos. Dado el aumento continuo y rápido de la población mundial, se espera que la presión sobre el suministro de alimentos aumente dramáticamente. Para evaluar la calidad del rendimiento y el mejoramiento para cultivos más tolerantes al ozono, especialmente para los dos cultivos alimenticios más importantes del mundo: arroz y trigo (Feng, Paoletti, Bytnerowicz, Harmens, 2015).

El ozono a nivel del suelo está aumentando a una tasa de aproximadamente 0.5-2 % por año en las latitudes medias del hemisferio norte debido a la rápida industrialización y urbanización en las últimas tres décadas. Un ejemplo de esto es China. Los niveles de ozono en el área de Beijing fueron lo suficientemente altos como para inducir síntomas foliares en 28 especies diferentes (Feng, Sun, Wan, Hu, Calatayud, 2014). En los sitios evaluados en julio y en agosto, los síntomas fueron más abundantes en agosto, confirmando el efecto acumulativo de la exposición al ozono. Además, los efectos fitotóxicos del ozono en la vegetación y los cultivos están muy extendidos en el área de Beijing, y se han identificado especies adecuadas como el ailanto (*Ailanthus altissima*), la rosa de Sharon (*Hibiscus syriacus*), pinos para estudios más amplios de biomonitoreo en la zona templada de China (Feng, Sun, Wan, Hu, Calatayud, 2014). Como la presencia de síntomas foliares no implica necesariamente que haya efectos

significativos sobre el crecimiento, el rendimiento o la reproducción, también ha identificado especies sensibles (Feng, Sun, Wan, Hu, Calatayud, 2014).

De igual forma, se han realizado trabajos de titulación en la Universidad de Las Américas sobre el efecto del ozono en diferentes tipos de plantas; los resultados obtenidos de los estudios de Oscar Andrade y Miguel Quispe mantienen que en las hojas de lechuga (*Lactuca sativa*) son sensibles a la concentración de ozono apareciendo manchas en ellas, y de la planta tulsí (*Ocimum tenuiflorum*) las concentraciones de ozono afectan a su conductancia estomática, de igual forma en los estudio de Roberto Arends y Martín Monteverde en el uso de plantas de jardines verticales: escancel rojo (*Aerva sanguinolenta*), vinca (*Variiegata principal*) y begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*); malamadre (*Chorophytum comosum*) y plante de Jade (*Crassula ovata*), los resultados demuestran que tuvieron daños morfológicos por efecto de las concentraciones de ozono sin embargo se utilizó plantas que tengan la presencia de ácido ascórbico en mayor proporción menos propensa a daño por ozono.

1.2. Alcance

El estudio se realizó en el DMQ, en el mes de abril de 2018, en el cual se analizó el impacto que mantiene el ozono a diferente concentración en plantas nativas arbustivas. Para determinar cuál es el efecto en la morfología de la planta.

1.3. Justificación

Existen ciertas zonas del mundo donde los niveles de ozono son extraordinarios, la vegetación se ve afectada ya que impedirá su desarrollo y crecimiento e incluso impedirá la producción de la fotosíntesis. Anclado a esto, también son afectados los animales que consiguen su alimento de las plantas y habitan estas zonas contaminadas.

Como ejemplo de ello, un estudio fue realizado en Beijing, China, donde se seleccionaron 12 sitios con diferentes tipos de vegetación nativa del lugar, para estudiar el efecto del ozono. Lo que demostró que más plantas se van haciendo

más propensas al efecto del ozono, comenzando como un síntoma menor, las hojas más viejas en los árboles eran cloróticas con manchas cafés irregulares. Se produjo una extensa defoliación prematura con la acumulación de hojas caídas en la pasarela (Wan, Manning, Wang, Zhang, Sun, Zhang, 2014).

En Sudamérica, especialmente en Ecuador la ausencia de estudios realizados sobre la afectación del ozono troposférico en plantas e información sobre los daños provenientes es por ello por lo que se planteó y se analizó distintas plantas nativas para observar si son resistentes o no al O₃ y proporcionar información acerca la incidencia del ozono en especies nativas arbustivas.

1.4. Objetivos

- Objetivo General

Evaluar el efecto del ozono sobre las tres especies nativas arbustivas.

- Objetivos Específicos

- Aplicar los diferentes las concentraciones de ozono que están sobre las tres especies nativas arbustivas.
- Determinar los cambios morfológicos del efecto del ozono sobre las tres especies nativas arbustivas.
- Analizar si las especies son de potencial adaptación de revegetación urbana de quebradas de Quito.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del aire

La variación de la composición atmosférica es debido a las causas antropogénicas o naturales que alteran la calidad del aire, a su vez causan cambios climáticos por influencia en el balance radiactivo terrestre. A lo referido en la alteración estructural de la atmósfera distinguido en dos escalas: i) escala local, regional y de larga distancia, donde el daño en la calidad del aire o el aporte de ciertos contaminantes tienen efectos negativas sobre los ecosistemas, e

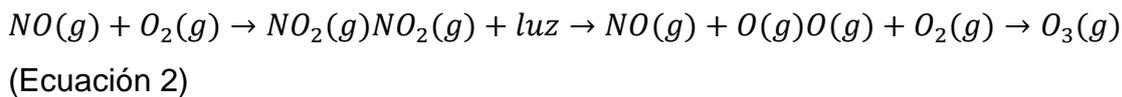
inclusive en la salud humana; y ii) escala global, donde el aporte de contaminantes específicos o la destrucción de determinados componentes atmosféricos pueden modificar el balance radiactivo terrestre y por ello inducir cambios en el clima (Querol, 2008).

La calidad del aire se compone por contaminantes atmosféricos de los cuales son primarios o secundarios. Los primarios incluyen los óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas, sin cambiar su composición química desde la emisión hasta desintegración. Mientras los secundarios son los productos que han estado sujetos a cambios químicos, o bien, son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera, entre ellos destacan los oxidantes fotoquímicos que dan lugar a la formación del ozono y algunos radicales de corta existencia. En los lugares en que se generan contaminantes primarios en forma abundante, la radiación solar favorece que la atmósfera sea altamente foto-reactiva, ya que, en presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes (Calderón, Hernández, Castilla, Hernández, Barragán, Rodríguez y Villegas, 2000).

2.2. Ozono

Ozono (O_3) es un compuesto gaseoso incoloro que oxida materiales, que no son inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso (Calderón, Hernández, Castilla, Hernández, Barragán, Rodríguez y Villegas, 2000). El ozono es un contaminante que no es emitido por escapes o chimeneas, a lo contrario se forma en la atmósfera a partir de reacciones muy complejas. Existen dos ciclos generales de reacciones fotoquímicas en la formación de ozono troposférico, en los que participan el oxígeno molecular y dos de los denominados precursores del ozono: los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos (HC). (Ecuaciones 1 y 2 (Calderón, et al, 2000)).





El ozono troposférico es un contaminante atmosférico fitotóxico generalizado, dando concentraciones en aumento continuo dentro de la troposfera (Hoshika, Pecori, Conese, Bardelli, Marchi, Manning, Badea, Paoletti, 2013).

El ozono troposférico también llamado ozono ambiental u ozono de bajo nivel, también se produce en niveles bajos proveniente de emisiones naturales y antropogénicas de COV, NO_x y CO (precursores de ozono), así como del ozono estratosférico que en ocasiones desciende a la superficie terrestre (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

En demasiados lugares alejados de latitud media se denota altas concentraciones de O₃ en la terminación del invierno y la primavera, en especial en alturas elevadas. Los niveles de ozono troposférico son frecuentemente más altos en los días soleados del verano o en dirección del viento de concentradas zonas pobladas que produce los precursores necesarios (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

El ozono estratosférico es un gas presente en dentro de la atmósfera terrestre para proteger a la superficie de la Tierra absorbiendo la radiación ultravioleta (UV) del sol. Se forma naturalmente debido a las reacciones fotoquímicas que sucede entre la luz solar y el oxígeno. El 90 % del ozono se encuentra en la estratosfera, la capa de la atmósfera comienza en 10 - 15 kilómetros de la superficie terrestre de las latitudes medias. El ozono en la estratosfera es la capa de ozono, por lo que hoy en día es la capa más delgada de lo que ha sido históricamente a causa de ciertas sustancias químicas agotadoras del ozono, como refrigerantes y propelentes de aerosol (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

2.3. Efecto del ozono en la salud humana

A su vez en la salud humana, los efectos más adversos del ozono son relacionados con el sistema respiratorio, como disminución de la función

pulmonar, agravamiento del asma. Por el contrario, existen algunas evidencias de que los individuos, especialmente los más jóvenes, con hiperreactividad de vías aéreas, como los asmáticos, constituyen un grupo más sensible a los efectos del ozono (Ballester, 2005).

La Organización Mundial de la Salud, por medio de estudios se ha comprobado sobre los efectos en la salud. Estos estudios han considerado un valor fijado para la media concentración de ozono de 8 horas de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es debido a que su exposición a estos niveles está en un aumento estimado de un 1-2% de la mortalidad diaria (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2005).

2.4. Efecto del ozono sobre las plantas

En la vegetación ozono provoca lesiones en las hojas y limita su crecimiento. Su presencia es causa también de una disminución de la visibilidad ambiental, decreciendo entrada de energía solar, crítica para fotosíntesis (Calderón, et al, 2000). A su vez las plantas son más susceptibles a estrés ambiental, en algunas plantas.

El ozono puede causar la reducción del crecimiento, la alteración de los rasgos fisiológicos, como el intercambio de gases foliares y la lesión foliar, es decir, punteado oscuro interventoría en la superficie de la hoja (Hoshika, et al, 2013).

2.5. Radiación solar

La radiación ultravioleta varía de acuerdo con la ubicación geográfica; encima de la zona ecuatorial los rayos solares descienden más directamente que en las latitudes medias y la radiación solar es más intensa en esa área y, por la cual, la radiación UV también es mayor en las latitudes cercanas al ecuador principalmente en zonas de altura (Zea, León y Eslava, 2000).

2.6. Distribución global del ozono

Los precursores de ozono cambian constantemente de magnitud, disminuyendo en Europa y América del Norte mientras aumenta en Asia (Figura A1, Anexo 1). Sin embargo, las emisiones por parte de la quema de biomasa son aproximadamente iguales entre los hemisferios norte y sur (Cooper, et al, 2014).

El hemisferio norte experimenta sus valores pico de ozono durante el verano en latitudes medias. El pico del hemisferio sur ocurre en primavera austral en los trópicos y subtrópicos entre América del Sur y África, en una banda centrada que se extiende desde el sur de África hacia el este hasta Australia. Sobre una base anual, el TCO (columna de ozono troposférico) promedio del hemisferio norte excede el promedio del hemisferio sur en un 4%, 12% y 18% en niveles bajos (0° - 25°), mediados (25° - 50°) y altos (50° - 60°) latitudes, respectivamente. Comparando los dos hemisferios con una cuantificación ligeramente diferente, el 52% de la carga de ozono troposférico medio anual global reside en el hemisferio norte, mientras que el 48% reside en el hemisferio sur. En general, ambos hemisferios tienen un máximo de primavera y un mínimo de otoño en la residencia de ozono troposférico (Cooper, et al, 2014).

El ozono troposférico es el contaminante más penetrante que afecta a los bosques. Un modelo global (STOCHEM), utilizado para simular la exposición de los bosques en 1950, 1970, 1990 y 2100, mostro que el área de los bosques globales expuestos a O_3 mayor a 60 ppb, se multiplicó por tres entre los años de 1950 y 1970 (Figura 1). Los más afectados fueron Europa, el este y partes del oeste de América del Norte, el sur de Escandinavia, partes del centro-este de Asia, América del Sur y África, con incrementos del 2.9-12 % de ozono en los bosques tropicales y subtropicales. En el año de 1990, el 24 % de los bosques eran afectados por ozono (mayor a 60 ppb). El investigador Fowler predice que para el año 2100 el 50 % de los bosques del mundo estarán expuestos a O_3 mayor a 60 ppb (Percy, Legge y Krupa, 2003).

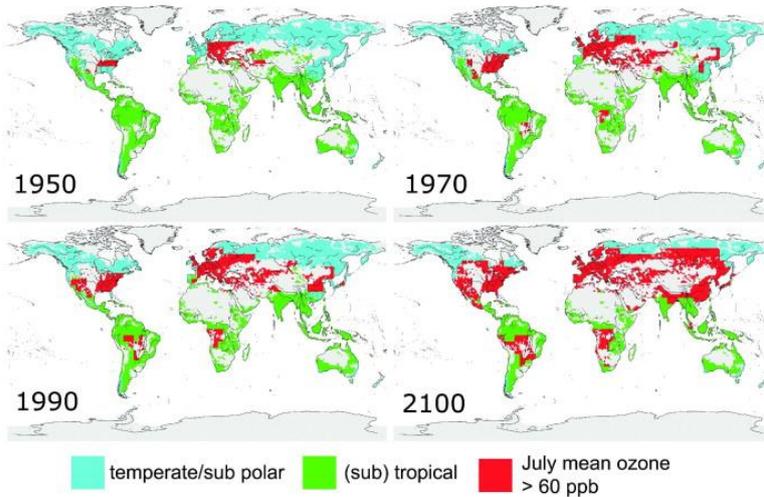


Figura 1. Modelo global de simulación de ozono troposférico.

Tomado de Fowler, Cape, Coyle, Flechard, Kuylenstierna, Hicks, Derwent, Johnson, Stevenson, 1999.

2.7. Ecuador

En el Ecuador, la Norma de Calidad del Aire Ambiente, establece un límite de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono en condiciones estándar, a no ser excedido durante ocho horas continuas de monitoreo. Este límite está en concordancia con lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (Cazorla, 2013).

Debido a las características geográficas y meteorológicas que presenta el Distrito Metropolitano de Quito, los meses de mayor concentración de ozono son agosto y septiembre, meses cercanos al equinoccio y con cielos despejados. Sin embargo, los meses con menores concentraciones - abril y mayo - tienen mayor intensidad de lluvias y días nublados (IAMQ, 2017).

Tanto es así que el ozono en el aire ambiente se incrementa de manera estacional. En el norte como en el sur de Quito, los niveles de ozono empiezan a crecer a partir del mes de julio, continúan incrementándose en agosto y hallan los valores más altos en septiembre y octubre. Por lo que se interpreta que en los meses de mayor radiación solar exista mayor producción de ozono (Cazorla, 2013).

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología del experimento

El presente proyecto, se lo realizó en el Distrito Metropolitano de Quito en la zona sur de la ciudad, en el mes de abril del 2018.

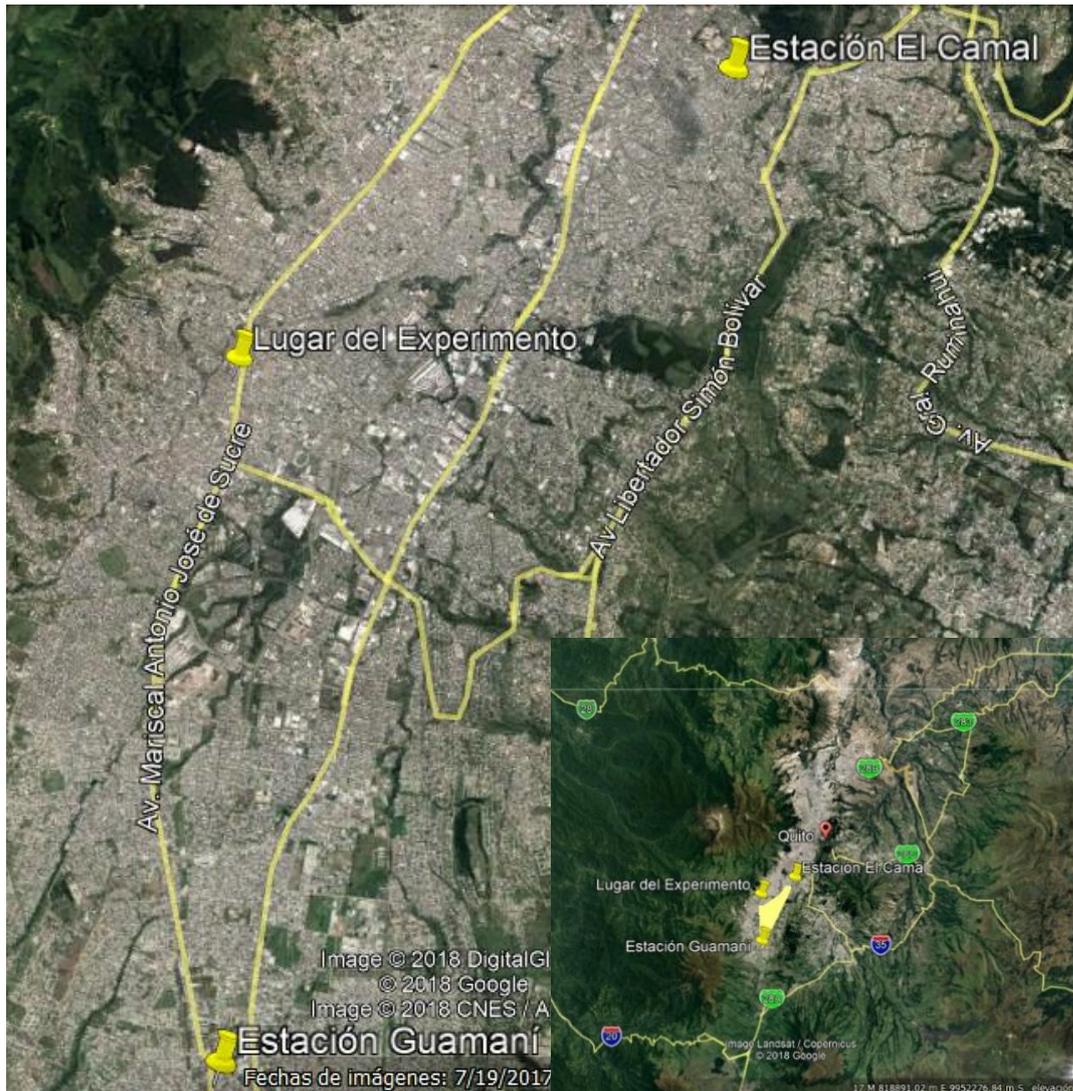


Figura 2. Localización del experimento.

Tomado de Google Earth, 2018.

3.2. Diseño Experimental

En este proyecto se realizó la experimentación con 8 réplicas con una totalidad de 24 plantas en cada caja, de 3 especies nativas arbustivas.

La construcción de las unidades experimentales son cajas de estructura de madera cubiertas con plástico de invernadero que mide 100 cm de largo, 100 cm de ancho y 100 cm de alto (1 m³), además se cuenta con el sistema de riego (manguera), cuatro ventiladores de 12 voltios y un ventilador de 110 voltios en cada de las cajas respectivamente (Figuras 3 y 4).

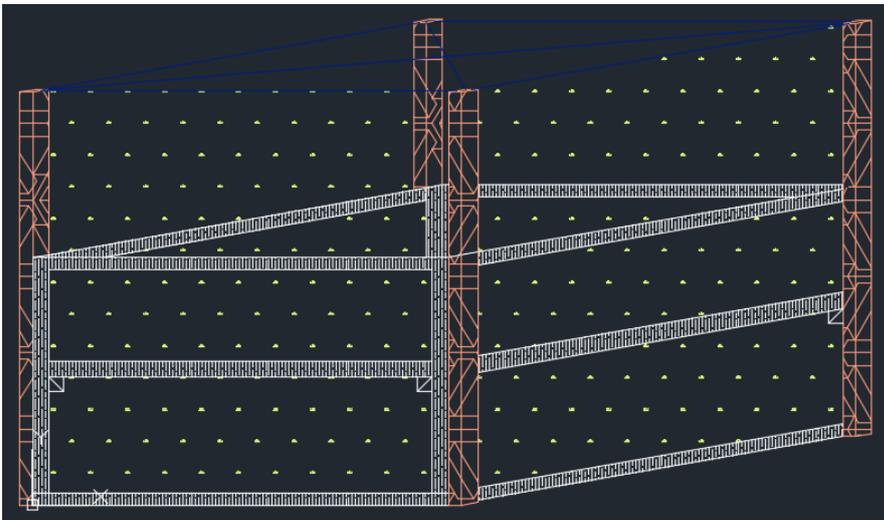


Figura 3. Diseño en AutoCad de la caja para el experimento.



Figura 4. Ventiladores.

a) Ventilador de 110 voltios.

b) Ventilador de 12 voltios.

3.2.1. Selección de concentraciones de ozono

Se analizaron las concentraciones de O₃ medidos por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de la Secretaría de Ambiente de DMQ, basados en los datos históricos de las estaciones de monitoreo de El Camal y la estación Guamaní al sur de la ciudad. (Tabla 1). Las mismas se seleccionaron porque están en proximidad de la local del experimento.

Se decidió que el experimento va a tener tres escenarios; el primero es el control ambiente, el segundo es exponer al carbón activado (C) y el tercero es del máximo que se obtuvo en el año decidiendo que sea el valor de 100 µg/m³.

Tabla 1.

Datos de O₃ de la Secretaría de Ambiente

2017 estaciones				
Meses	El Camal		Guamaní	
	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio
Enero	81,32	16,93	93,24	22,25
Febrero	106,18	20,17	98,24	22,82
Marzo	80,83	18,14	109,84	21,9
Abril	94,12	16,89	78,54	21,44
Mayo	174,41	14,32	82,07	18,35
Junio	83,33	16,69	89,71	23,8
Julio	100,87	25,24	96,33	32,45
Agosto	93,38	26,89	86,5	37,15
Septiembre	204,7	36,73	120,53	46,92
Octubre	94,3	23,07	98,83	32,24
Noviembre	106,87	20,02	103,63	29,80
Diciembre	100,34	22,65	113,05	28,80

Por lo cual se asignó una clasificación para dar reconocimiento en el experimento (Tabla 2).

Tabla 2.

Asignación de tratamientos para el experimento

Tratamiento	Abreviatura	
Tratamiento 0	T0	Este tratamiento va a estar sujeto a control ambiente, no se va a exponer a ozono adicional.
Tratamiento 1	T1	Tratamiento que va a estar sujeto a exposición al cero ozono por el filtro de carbón activado.
Tratamiento 2	T2	Tratamiento que va a estar sujeto a exposición de 100 µg/m ³ de ozono.

3.2.2. Selección de especies

La selección de plantas para el experimento es de especies nativas del Distrito Metropolitano de Quito. A su vez estas especies representativas se encuentran localizadas en las quebradas de la ciudad. Para esto se planteó que sean de rápido crecimiento, por lo cual se utilizaron especies de tipo arbustivas y se decidió tomar la Chilca (*Baccharis latifolia*), Mora de Castilla (*Rubus glaucus*) y Salvia de Quito (*Salvia quitensis*).

Chilca (*Baccharis latifolia*), es una especie nativa de la zona andina, es una planta arbustiva de crecimiento rápido, adaptado a diferentes tipos de clima (Universidad San Francisco de Quito y Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, 2008) (Figura 5).

Figura 5. Chilca (*Baccharis latifolia*).

Mora de Castilla (*Rubus glaucus*), es una especie nativa encontrada en la zona andina, es una planta arbustiva perenne que puede alcanzar los 3 metros. La planta es utilizada en cercas vivas, su fruto es emblemática de la ciudad de Quito (Jardín Botánico de Quito, 2018) (Figura 6).



Figura 6. Mora de Castilla (*Rubus glaucus*).

Salvia de Quito (*Salvia quitensis*), es una especie que ha sido encontrada únicamente en Ecuador. Es una planta arbustiva leñosa, con tallos angulares. Por sus flores vistosas son usados de forma ornamental o en cercas vivas, además de su uso medicinal (Jardín Botánico de Quito, 2018) (Figura 7).



Figura 7. Salvia de Quito (*Salvia quitensis*).

Se realizó una clasificación de las especies para el experimento dando una asignación distintiva a cada planta y que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.

Asignación de abreviaturas a las especies.

Especie	Abreviatura	Asignación
Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)	S1	S1-1; S1-24
Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)	S2	S2-1; S2-24
Salvia de Quito (<i>Salvia quitensis</i>)	S3	S3-1; S3-24

Para el cálculo de la significancia en la variación de los distintos tratamientos se utilizó un análisis ANOVA, la tabla 4 y las ecuaciones 3-11 muestran el proceso realizado según los modelos estadísticos (Juarez, 2015; Zúñiga, 2010 y Porras, 2001).

$$y_{kb} = \mu + \tau_k + \gamma_b + \varepsilon_{kb} \quad (\text{Ecuación 3})$$

y = Efecto (Variable/Respuesta)

k = tratamiento

b = bloque

τ_k = efecto por el tratamiento

γ_b = efecto del bloque

ε_{kb} = error aleatorio

Tabla 4.

Cálculo de ANOVA

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p
Tratamientos	k-1	SC _{trat}	CM _{trat}	$F_0 = \frac{CM_{trat}}{CM_E}$	p(F ≥ F ₀)
Bloques	b-1	SC _b	CM _b	$F_0 = \frac{CM_b}{CM_E}$	p(F ≥ F ₀)

Error	(k-1) (b-1)	SC _E	CM _E		
Total	(k*b)-1	SC _T			

$$SC_{trat} = \sum \frac{y_{k^2}}{b} - \frac{\bar{Y}^2}{N} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Y = media

N = (k*b)

$$SC_b = \sum \frac{y_{b^2}}{k} - \frac{Y^2}{N} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$SC_T = \sum \sum y_{kb^2} - \frac{Y^2}{N} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$SC_E = SC_T - SC_{trat} - SC_b \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$CM_T = \frac{SC_T}{N-1} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{k-1} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$CM_b = \frac{SC_b}{b-1} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{(k-1)(b-1)} \quad (\text{Ecuación 11})$$

3.2.3. Distribución de plantas en los tratamientos

La distribución de las plantas en cada tratamiento se lo realizó completamente al azar, estos son cualificados, por lo que se muestra en las Tablas 5-7.

Tabla 5.

Distribución de las plantas para T0

Tratamiento 0 (T0): Control Ambiente			
S2T0-7	S1T0-5	S3T0-5	S2T0-1
S1T0-3	S2T0-5	S1T0-1	S3T0-3

S3T0-8	S3T0-7	S2T0-3	S1T0-6
S2T0-6	S1T0-2	S3T0-2	S2T0-8
S1T0-7	S3T0-1	S2T0-4	S1T0-4
S3T0-6	S2T0-2	S1T0-8	S3T0-4

Tabla 6.

Distribución de las plantas para T1.

Tratamiento 1 (T1): C			
S1T1-14	S2T1-12	S3T1-12	S2T1-9
S3T1-14	S1T1-9	S2T1-13	S3T1-11
S2T1-16	S3T1-9	S1T1-11	S1T1-16
S1T1-15	S1T1-13	S3T1-16	S2T1-11
S2T1-15	S3T1-15	S2T1-14	S1T1-10
S3T1-13	S2T1-10	S1T1-12	S3T1-10

Tabla 7.

Distribución de las plantas para T2.

Tratamiento 2 (T2): 100 µg/m³			
S1T2-22	S3T2-23	S2T2-24	S3T2-22
S3T2-21	S2T2-17	S3T2-19	S1T2-21
S2T2-23	S1T2-24	S1T2-19	S2T2-19
S1T2-18	S3T2-20	S3T2-18	S1T2-20
S2T2-22	S1T2-17	S2T2-18	S3T2-24
S3T2-17	S2T2-21	S1T2-23	S2T2-20

3.3. Generación de ozono

Para la generación de ozono se utilizó un filtro de ozono de agua (Figura 8), que se maneja el principio de la descarga eléctrica por frecuencia alta (Aguilar, 2005).

El filtro adaptado es de la marca OZONOLUX que es sistema de unidades electrónicas para la generación de ozono a partir del oxígeno ambiental en un condensador dieléctrico de polos concéntricos. El generador produce 35 mg de O₃ cada hora, con una presión de 120 psi y un voltaje de entrada de 110/125 v (Ozonolux de Colombia, 2018).



Figura 8. Generador de ozono.

Por lo que para generar los 100 µg/m³, mediante la Ecuación 12, se obtiene el tiempo estimado de encendido para la obtención de las concentraciones requeridas.

$$Tiempo\ de\ generaci3n = \frac{Cantidad\ de\ ozono\ necesario\ (\mu g) * 3600\ seg}{Concentraci3n\ generada\ en\ una\ hora\ (\mu g)} \quad (Ecuaci3n\ 12)$$

Según los cálculos realizados se tiene 10.29 ≈ 10 segundos para 100 µg de ozono para un volumen de un metro cúbico que mantiene las cajas de experimentación.

3.4. Pasivos ambientales

Los pasivos ambientales fueron adquiridos por la Secretaría de Ambiente, en el cual indicaron que se debe colocar los filtros en la caja con exposición al ozono durante 48 horas. Una vez obtenidos los 7 pasivos, se colocaron 3 filtros en la caja a exposición en diferentes alturas, 1 filtro al ras con el suelo y 2 a los laterales de la caja, y el filtro que quedaba se colocó en refrigeración ya que era

el blanco. Pasado las 48 horas estos se colocaron en refrigeración para después entregar para análisis química de la cromatografía iónica al laboratorio de la Secretaría de Ambiente.



Figura 9. Colocados a diferentes alturas los pasivos ambientales.

Los medidores pasivos son ampliamente utilizados en medición de calidad de aire – ozono troposférico. Los filtros constan de un cuerpo plástico y en su interior mantiene un filtro, estos medidores se encuentran impregnado de una solución de nitrito sódico, carbonato potásico y glicerol. El ozono reacciona a la solución de nitrito generando nitrato y esta será utilizada para calcular la concentración del ozono.

La Secretaría de Ambiente DMQ utiliza el método de cromatografía iónica (Figura 10). Es un método el cual permite una separación de moléculas de acuerdo con las propiedades de carga eléctrica. Se desarrolla en 2 fases, la fase estacionaria y fase de móvil. La fase estacionaria insoluble lleva en la superficie cargas electrostáticas fijas, reteniendo contraiones móviles que se intercambian por iones a la fase móvil, siendo una disolución acuosa con cantidades moderadas de metanol u otro disolvente orgánico miscible con agua que contiene especies iónicas generalmente en forma de buffer. Los iones de ésta compiten con los analitos por los sitios activos de la fase estacionaria (Álvarez, et al. 2015).



Figura 10. Equipo de cromatografía iónica.

El fundamento básico de la cromatografía es que las moléculas cargadas se incorporan a los intercambiadores de forma reversible de modo que las moléculas pueden ser asociadas o disociadas cambiando el ambiente iónico. La separación mediante intercambiadores iónicos se realiza en dos fases: en la primera las sustancias al separarse se unen al intercambiador utilizando condiciones que originan una unión fuerte y estable; a continuación, se sustrae de la columna con buffers de diferentes pH o diferente fuerza iónica, compitiendo los componentes del buffer con el material por los sitios de unión (Álvarez, et al. 2015).

3.5. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico o vitamina C es un ácido de azúcar con propiedades antioxidantes, y ayuda a los seres vivos aumentar resistencia a los factores ambientales. Este tipo de análisis es importante para determinar la resistencia de cada especie a las concentraciones dañinas para las plantas del experimento (Universidad Complutense de Madrid, 2018).

Para la obtención del ácido ascórbico de las plantas en objeto estudio, se debe seguir el siguiente procedimiento que indica la UCM, es el siguiente:

- Preparar la disolución indicadora del contenido de vitamina C, mezclar almidón de maíz (maicena) con suficiente agua hasta formar una pasta.
- Añadir 250 ml de agua a la pasta y hervir hasta 5 minutos, hasta que se forma la disolución indicadora.
- Colocar 10 gotas de la solución hecha de almidón a 75 ml de agua, añadir la disolución de yodo (alcohol yodado) hasta observar un color púrpura.

Una vez preparada la disolución indicadora, se comienza con el análisis de las plantas:

- Añadir 5 ml de la disolución indicadora a un tubo de ensayo.
- Realizar el zumo de las hojas de las tres plantas (chilca, mora y salvia) y colocar 10 gotas en el tubo de ensayo.
- Agitar y organizar los tubos de ensayo por color, en orden del más claro al más oscuro.

Para los tubos más claros significa que mayor contenido tiene de vitamina C, la razón es que al reaccionar el complejo yodo con la vitamina C (ácido ascórbico) presente en las bebidas, la disolución indicadora pierde el color; la vitamina C se oxida por un oxidante suave como la disolución de yodo para dar a lugar a ácido deshidroascórbico y a iones yoduro (UCM, 2018).



Figura 11. Vitamina C (ácido ascórbico → ácido deshidroascórbico).

Tomado de UCM, 2018.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Registro inicial y final

El registro inicial proporciona información del estado de las plantas antes de la experimentación por lo que se tomó una serie de datos por cada especie. A su vez se realizó un registro final del experimento observando los cambios que se produjeron y en lo que se muestra las variables de cambio como son la altura, tamaño de la hoja y cantidad de hojas (Tablas 10-20). Debido que se adquirió las plantas en el mes de enero de 2018, estuvieron expuestas al aire libre por lo que se proporcionaron daños en las hojas de las plantas, debido a esto se obtuvieron datos del Red de Monitoreo de la Secretaría de Ambiente de ozono de los tres meses y radiación solar y humedad relativa en la zona de estudio (Tablas 8 y 9, Figura 12).

Tabla 8.

Datos de ozono durante de 3 meses antes del experimento (enero - marzo, 2018) en el sur de la ciudad Quito.

Horas	El Camal			Guamaní		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
0	7,89	11,28	31,68	20,06	19,09	16,36
1	7,36	13,06	40,87	18,62	19,27	19,89
2	7,58	15,91	39,78	17,78	20,43	19,73
3	7,49	13,93	40,43	18,01	19,02	19,92
4	8,35	12,99	34,64	15,59	16,48	18,55
5	5,98	8,1	19,19	10,65	12,74	13,23
6	4,14	4,72	14,18	10,35	7,87	11,87
7	5,7	6,5	28,81	15,04	12,62	18,91
8	14,6	16,04	39,81	25,43	26,71	32,35
9	27	28,28	55,5	36,45	39,15	41,57
10	37,6	41,11	66,61	45,54	51,71	51,44
11	46,2	56,81	76,38	53,77	63,87	56,23
12	50	59,71	86,14	58,26	63,82	60,57

13	49,1	49,11	90,3	54,99	63,54	60,62
14	44,9	41,71	73,31	49,68	56,72	57,63
15	38,2	35,75	72,55	41,52	48,88	50,83
16	30,9	28,33	61	33,75	37,19	41,6
17	24,5	23,23	52,49	25,65	23,3	31,77
18	13,1	16,13	40,66	13,53	12,3	19,92
19	7,36	10,32	33,2	8,26	9,14	14,71
20	4,56	6,33	24,17	6,94	9,51	12,01
21	5,19	4,91	25,18	8,51	11,32	11,61
22	5,5	7,67	33,44	9,36	13,5	13,26
23	7,89	8,75	28,84	12,07	15,92	15,58
Total	19,21	21,70	46,22	25,41	28,09	29,59

Tabla 9.

Datos de radiación solar y humedad de 3 meses antes del experimento (enero - marzo, 2018) en el sur de la ciudad Quito.

Mes	Radiación Solar		Humedad Relativa	
	W/m ²		%	
	El Camal	Guamaní	El Camal	Guamaní
Enero	201,99	184,1	70,12	75,39
Febrero	210,86	194,98	74,75	80,77
Marzo	209,71	198,93	69,87	76,11
Total	207,52	192,67	71,58	77,42

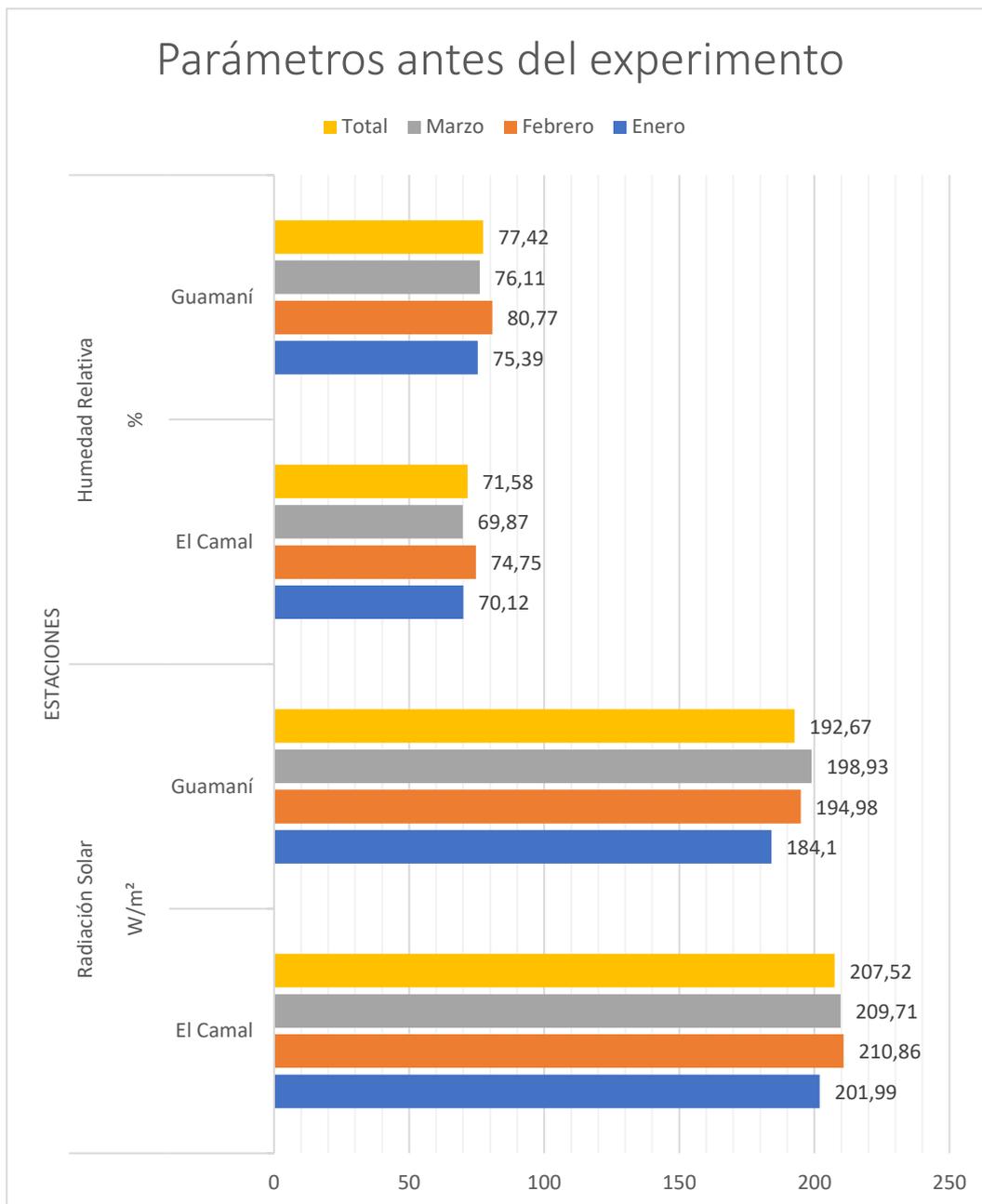


Figura 12. Parámetros de radiación solar y humedad relativa de 3 meses antes del experimento al sur de la ciudad de Quito.

4.1.1. Altura de las especies

Se presenta los rangos de crecimiento de las tres especies del experimento.

Tabla 10.

Resultados de la altura de chilca.

Registro de altura (cm) de la Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Crecimiento	Crecimiento %	Promedio de crecimiento cm
Tratamiento 0	S1T0-1	15	21,8	6,8	13,5	8,3
	S1T0-2	15	27,8	12,8	25,4	
	S1T0-3	15	22,4	7,4	14,7	
	S1T0-4	15	24,8	9,8	19,4	
	S1T0-5	15	23,6	8,6	17,1	
	S1T0-6	15	21,2	6,2	12,3	
	S1T0-7	15	22,8	7,8	15,5	
	S1T0-8	15	21,6	6,6	13,1	
Tratamiento 1	S1T1-9	13	29,2	16,2	10,7	18,9
	S1T1-10	13	28,4	15,4	10,2	
	S1T1-11	13	38	25	16,5	
	S1T1-12	13	25,2	12,2	8,1	
	S1T1-13	13	34,5	21,5	14,2	
	S1T1-14	13	27,7	14,7	9,7	
	S1T1-15	13	34	21	13,9	
	S1T1-16	13	38,5	25,5	16,8	
Tratamiento 2	S1T2-17	19	25,2	6,2	11,4	6,8
	S1T2-18	19	28,7	9,7	17,9	
	S1T2-19	19	26,1	7,1	13,1	
	S1T2-20	19	25	6	11,0	
	S1T2-21	21	27,2	6,2	11,4	
	S1T2-22	19	23	4	7,4	
	S1T2-23	19	28,3	9,3	17,1	
	S1T2-24	19	24,8	5,8	10,7	

Tabla 11.

Resultados de altura de mora.

Registro de altura (cm) de la Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Crecimiento	Crecimiento %	Promedio de crecimiento Cm
Tratamiento 0	S2T0-1	21,7	48,6	26,9	16,20	20,8
	S2T0-2	23,3	27,6	4,3	2,59	
	S2T0-3	21,5	54,2	32,7	19,70	
	S2T0-4	22	44,6	22,6	13,61	
	S2T0-5	20,4	25	4,6	2,77	
	S2T0-6	16	43,8	27,8	16,75	
	S2T0-7	23,4	37,6	14,2	8,55	
	S2T0-8	20,6	53,5	32,9	19,82	
Tratamiento 1	S2T1-9	21	53,6	32,6	17,9	22,8
	S2T1-10	23,5	37,5	14	7,7	
	S2T1-11	24,1	43	18,9	10,4	
	S2T1-12	23,3	49,4	26,1	14,3	
	S2T1-13	27,1	45,5	18,4	10,1	
	S2T1-14	22,1	44	21,9	12,0	
	S2T1-15	25,4	52	26,6	14,6	
	S2T1-16	22	46	24	13,2	
Tratamiento 2	S2T2-17	25	48,7	23,7	17,1	17,3
	S2T2-18	25	39	14	10,1	
	S2T2-19	21	36,7	15,7	11,4	
	S2T2-20	23,7	47,2	23,5	17,0	
	S2T2-21	25	25,8	0,8	0,6	
	S2T2-22	25	43	18	13,0	
	S2T2-23	25	51,1	26,1	18,9	
	S2T2-24	25	41,5	16,5	11,9	

Tabla 12.

Resultados de altura de salvia.

Registro de altura (cm) de la Salvia de Quito (<i>Salvia quitensis</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Crecimiento	Crecimiento %	Promedio de crecimiento Cm
Tratamiento 0	S3T0-1	17,8	19,5	1,7	6,2	3,5
	S3T0-2	16,4	19,8	3,4	12,3	
	S3T0-3	16,2	19,3	3,1	11,2	
	S3T0-4	19,2	23	3,8	13,8	
	S3T0-5	17,8	23,8	6	21,7	
	S3T0-6	22,1	23,4	1,3	4,7	
	S3T0-7	16,3	18	1,7	6,2	
	S3T0-8	15,8	22,4	6,6	23,9	
Tratamiento 1	S3T1-9	24	25,6	1,6	5,8	3,7
	S3T1-10	17,8	20,6	2,8	10,2	
	S3T1-11	21,5	28	6,5	23,7	
	S3T1-12	21,5	23,3	1,8	6,6	
	S3T1-13	19,8	27	7,2	26,3	
	S3T1-14	18,1	20,5	2,4	8,8	
	S3T1-15	21,1	28	6,9	25,2	
	S3T1-16	24	24,5	0,5	1,8	
Tratamiento 2	S3T2-17	21,2	23,9	2,7	11,4	3,0
	S3T2-18	21,3	26,6	5,3	22,5	
	S3T2-19	18,7	29,5	10,8	45,8	
	S3T2-20	19,2	17	-2,2	-9,3	
	S3T2-21	20,6	19,2	-1,4	-5,9	
	S3T2-22	18,6	18,7	0,1	0,4	
	S3T2-23	19,3	28,4	9,1	38,6	
	S3T2-24	26,3	25,5	-0,8	-3,4	

Los cambios de altura en las tres especies y los tres tratamientos son diferenciados, dando a denotarse que las tres especies en el Tratamiento 2 (ozono $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fueron las que tuvieron un menor crecimiento que los demás Tratamientos 0 y 1 (Figura 13).

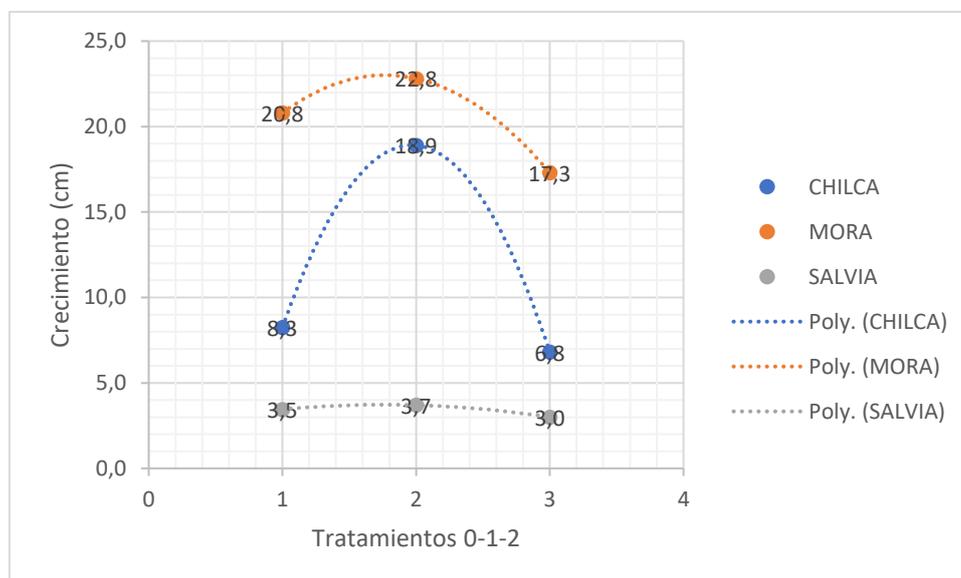


Figura 13. Comparación de crecimiento de la planta para Tratamientos 1-3.

A lo que se realizó un análisis ANOVA con Excel de un solo factor en lo que el valor de alfa (α) es de 0.05, las hipótesis formulas son: hipótesis 1 es mayor incidencia de O_3 menor crecimiento y la hipótesis 2 es menor incidencia de O_3 mayor crecimiento, por lo que los resultados fueron los siguientes que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.

Análisis ANOVA de crecimiento de las plantas en los tres tratamientos.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Chilca	3	33,95	11,31667	43,65583
Mora	3	60,9	20,3	7,75
Salvia	3	10,15	3,383333	0,125833

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	429,81	2	214,9058	12,51109	0,00723	5,143
Within Groups	103,06	6	17,17722			
Total	532,88	8				

En lo que el valor de P-value es mayor a α , se acepta la hipótesis 1 y rechazando la hipótesis alternativa, teniendo un nivel de significancia. Este análisis significa que con mayor concentración de ozono el impacto a crecimiento en altura a todas las plantas es más dañino.

4.1.2. Tamaño de las hojas

Se presenta el rango del tamaño (ancho y altura) de las hojas de las 3 especies.

Tabla 14.

Resultados de tamaño de hoja de chilca.

Registro de tamaño de hoja (cm) de la Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Aumento de tamaño	Aumento %	Promedio de aumento cm
Tratamiento 0	S1T0-1	5,5	11,6	6,1	15,0	5,1
	S1T0-2	4,8	14,2	9,4	23,0	
	S1T0-3	4,7	8,5	3,8	9,3	
	S1T0-4	5,7	10,2	4,5	11,0	
	S1T0-5	5,1	8,3	3,2	7,8	
	S1T0-6	5,5	10,4	4,9	12,0	
	S1T0-7	6	10,9	4,9	12,0	
	S1T0-8	4,9	8,9	4,0	9,8	

Tratamiento 1	S1T1-9	6,5	9,8	3,3	7,1	5,8
	S1T1-10	4,6	13,2	8,6	18,6	
	S1T1-11	4,3	14,3	10,0	21,6	
	S1T1-12	6,1	9,8	3,7	8,0	
	S1T1-13	5,4	12,9	7,5	16,2	
	S1T1-14	6,2	8,9	2,7	5,8	
	S1T1-15	5,4	10,1	4,7	10,2	
	S1T1-16	4,9	10,7	5,8	12,5	
Tratamiento 2	S1T2-17	5,6	8,4	2,8	9,0	3,9
	S1T2-18	3,5	8,3	4,8	15,5	
	S1T2-19	4,1	7,5	3,4	11,0	
	S1T2-20	5,9	11,1	5,2	16,8	
	S1T2-21	5,3	12,4	7,1	22,9	
	S1T2-22	6,8	8,2	1,4	4,5	
	S1T2-23	6,8	10,2	3,4	11,0	
	S1T2-24	4,6	7,5	2,9	9,4	

Tabla 15.

Resultados de tamaño de hoja de mora.

Registro de tamaño de hoja (cm) de la Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Aumento de tamaño	Aumento %	Promedio de aumento cm
Tratamiento 0	S2T0-1	15	19,7	4,7	7,64	7,7
	S2T0-2	15,9	16,3	0,4	0,65	
	S2T0-3	14,1	25,9	11,8	19,19	
	S2T0-4	12,7	21,5	8,8	14,31	
	S2T0-5	13,1	17,5	4,4	7,15	
	S2T0-6	11,3	25,3	14	22,76	
	S2T0-7	10,3	21,8	11,5	18,70	
	S2T0-8	15,5	21,4	5,9	9,59	

Tratamiento 1	S2T1-9	16,3	24,9	8,6	12,67	8,5
	S2T1-10	10,7	22,3	11,6	17,08	
	S2T1-11	14,1	26,7	12,6	18,56	
	S2T1-12	14,1	21,3	7,2	10,60	
	S2T1-13	14,6	24,6	10	14,73	
	S2T1-14	13	19,9	6,9	10,16	
	S2T1-15	15,7	23,4	7,7	11,34	
	S2T1-16	17,3	20,6	3,3	4,86	
Tratamiento 2	S2T2-17	13,7	21	7,3	36,14	2,5
	S2T2-18	15,1	17,6	2,5	12,38	
	S2T2-19	12,7	17,8	5,1	25,25	
	S2T2-20	16,9	16,5	-0,4	-1,98	
	S2T2-21	13,2	13,7	0,5	2,48	
	S2T2-22	12,9	14,9	2	9,90	
	S2T2-23	15,9	16,6	0,7	3,47	
	S2T2-24	13,8	16,3	2,5	12,38	

Tabla 16.

Resultados de tamaño de hoja de salvia.

Registro de tamaño de hoja (cm) de la Salvia de Quito (<i>Salvia quitensis</i>)						
	Nombre	Ante s	Despué s	Aumento de tamaño	Aumento %	Promedio de aumento cm
Tratamiento 0	S3T0-1	8,4	12,8	4,4	23,9	2,3
	S3T0-2	8,5	12,4	3,9	21,2	
	S3T0-3	10,2	10,4	0,2	1,1	
	S3T0-4	9,1	10,1	1	5,4	
	S3T0-5	9,8	12,9	3,1	16,8	
	S3T0-6	7,6	9,3	1,7	9,2	
	S3T0-7	10,1	11,6	1,5	8,2	
	S3T0-8	9,5	12,1	2,6	14,1	

Tratamiento 1	S3T1-9	10,6	12,6	2	15,0	1,7
	S3T1-10	10,2	12	1,8	13,5	
	S3T1-11	16,6	18,1	1,5	11,3	
	S3T1-12	8,5	11,7	3,2	24,1	
	S3T1-13	12,7	13	0,3	2,3	
	S3T1-14	10,2	12	1,8	13,5	
	S3T1-15	11	13,3	2,3	17,3	
	S3T1-16	11,6	12	0,4	3,0	
Tratamiento 2	S3T2-17	10,5	8,8	-1,7	34,0	-0,6
	S3T2-18	9,1	9,9	0,8	-16,0	
	S3T2-19	8,9	11,3	2,4	-48,0	
	S3T2-20	9,7	8,9	-0,8	16,0	
	S3T2-21	10,2	8,1	-2,1	42,0	
	S3T2-22	8,6	7,1	-1,5	30,0	
	S3T2-23	11,4	10,8	-0,6	12,0	
	S3T2-24	11,8	10,3	-1,5	30,0	

Los resultados demuestran varianza en el tamaño de la hoja en las tres especies, pero en la especie de Salvia tuvo mayor incidencia de menor tamaño de hoja en lo que se disminuyó el crecimiento de las hojas y la pérdida de hojas (Figura 14).

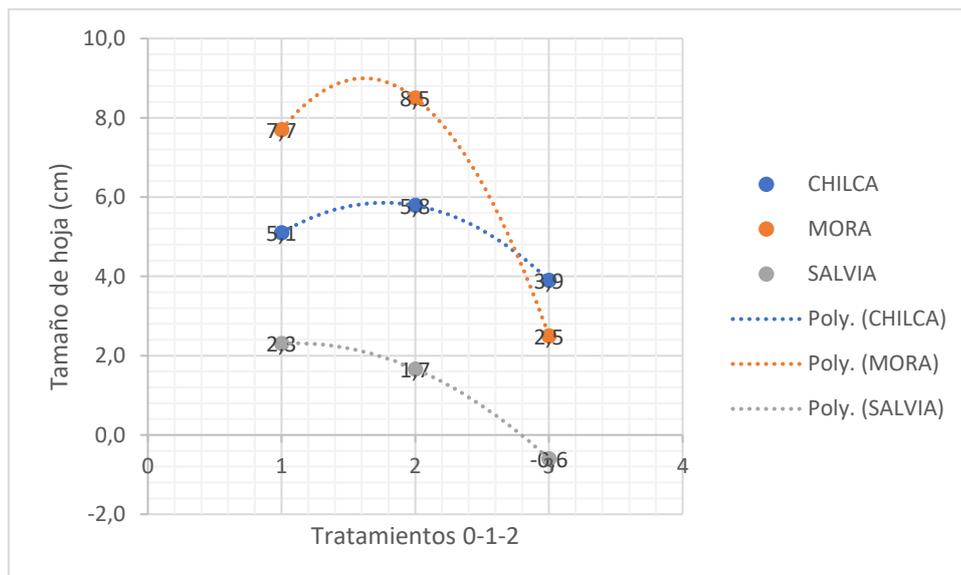


Figura 14. Comparación de promedio de tamaño de hoja en las tres especies.

A lo que se realizó un análisis ANOVA en Excel de un solo factor, el valor de P-value es mayor que α . Este análisis confirma que es significativo que en mayor incidencia de ozono menor es el tamaño de la hoja (crecimiento) (Tabla 17).

Tabla 17.

Análisis ANOVA de crecimiento de las plantas en los tres tratamientos.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Chilca	3	14,79	4,929167	0,912552
Mora	3	18,7	6,233333	10,61333
Salvia	3	3,363	1,120833	2,322552

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	42,342	2	21,17095	4,586284	0,06184	5,143
Within Groups	27,697	6	4,616146			
Total	70,039	8				

4.1.3. Cantidad de hojas

Se presenta el rango de la cantidad de hojas que posee cada planta.

Tabla 18.

Resultados de cantidad de hojas de chilca.

Registro de cantidad de hojas de la Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Cantidad de hojas	Cantidad %	Promedio de # cant.
Tratamiento 0	S1T0-1	7	20	13	16,3	10,0
	S1T0-2	4	15	11	13,8	
	S1T0-3	6	11	5	6,3	
	S1T0-4	8	20	12	15,0	
	S1T0-5	18	32	14	17,5	
	S1T0-6	5	23	18	22,5	
	S1T0-7	9	10	1	1,3	
	S1T0-8	5	11	6	7,5	
Tratamiento 1	S1T1-9	16	34	18	39,1	5,8
	S1T1-10	28	27	-1	-2,2	
	S1T1-11	17	22	5	10,9	
	S1T1-12	33	30	-3	-6,5	
	S1T1-13	19	18	-1	-2,2	
	S1T1-14	24	43	19	41,3	
	S1T1-15	27	29	2	4,3	
	S1T1-16	10	17	7	15,2	
Tratamiento 2	S1T2-17	30	41	11	15,9	8,6
	S1T2-18	5	12	7	10,1	
	S1T2-19	7	11	4	5,8	
	S1T2-20	5	11	6	8,7	
	S1T2-21	8	14	6	8,7	
	S1T2-22	25	35	10	14,5	
	S1T2-23	36	39	3	4,3	
	S1T2-24	7	29	22	31,9	

Tabla 19.

Resultados de cantidad de hojas de mora.

Registro de cantidad de hojas de la Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Cantidad de hojas	Cantidad %	Promedio de # cantidad
Tratamiento 0	S2T0-1	9	29	20	19,23	13,0
	S2T0-2	14	21	7	6,73	
	S2T0-3	14	26	12	11,54	
	S2T0-4	13	28	15	14,42	
	S2T0-5	15	20	5	4,81	
	S2T0-6	9	20	11	10,58	
	S2T0-7	11	22	11	10,58	
	S2T0-8	15	38	23	22,12	
Tratamiento 1	S2T1-9	11	27	16	13,45	14,9
	S2T1-10	25	40	15	12,61	
	S2T1-11	15	31	16	13,45	
	S2T1-12	19	29	10	8,40	
	S2T1-13	18	26	8	6,72	
	S2T1-14	9	29	20	16,81	
	S2T1-15	20	32	12	10,08	
	S2T1-16	6	28	22	18,49	
Tratamiento 2	S2T2-17	15	26	11	18,33	7,5
	S2T2-18	7	19	12	20,00	
	S2T2-19	22	31	9	15,00	
	S2T2-20	17	16	-1	-1,67	
	S2T2-21	32	24	-8	-13,33	
	S2T2-22	10	28	18	30,00	
	S2T2-23	20	30	10	16,67	
	S2T2-24	10	19	9	15,00	

Tabla 20.

Resultados de cantidad de hojas de salvia.

Registro de cantidad de hojas de la Salvia de Quito (<i>Salvia quitensis</i>)						
	Nombre	Antes	Después	Cantidad de hojas	Cantidad %	Promedio de # cantidad
Tratamiento 0	S3T0-1	37	42	5	2,7	23,0
	S3T0-2	43	65	22	12,0	
	S3T0-3	46	68	22	12,0	
	S3T0-4	25	62	37	20,1	
	S3T0-5	32	65	33	17,9	
	S3T0-6	22	33	11	6,0	
	S3T0-7	23	68	45	24,5	
	S3T0-8	43	52	9	4,9	
Tratamiento 1	S3T1-9	37	42	5	2,7	23,5
	S3T1-10	52	78	26	13,8	
	S3T1-11	49	82	33	17,6	
	S3T1-12	54	101	47	25,0	
	S3T1-13	56	64	8	4,3	
	S3T1-14	47	52	5	2,7	
	S3T1-15	49	98	49	26,1	
	S3T1-16	42	57	15	8,0	
Tratamiento 2	S3T2-17	48	16	-32	12,8	-31,3
	S3T2-18	51	44	-7	2,8	
	S3T2-19	74	25	-49	19,6	
	S3T2-20	43	12	-31	12,4	
	S3T2-21	56	25	-31	12,4	
	S3T2-22	54	17	-37	14,8	
	S3T2-23	89	40	-49	19,6	
	S3T2-24	44	30	-14	5,6	

Los resultados demuestran que la cantidad de hojas hubo disminución en el Tratamiento 2 (ozono más alto) pero en el que más abarca el cambio es en la especie de Salvia a lo que lleva a una pérdida excesiva de hojas (Figura 15).

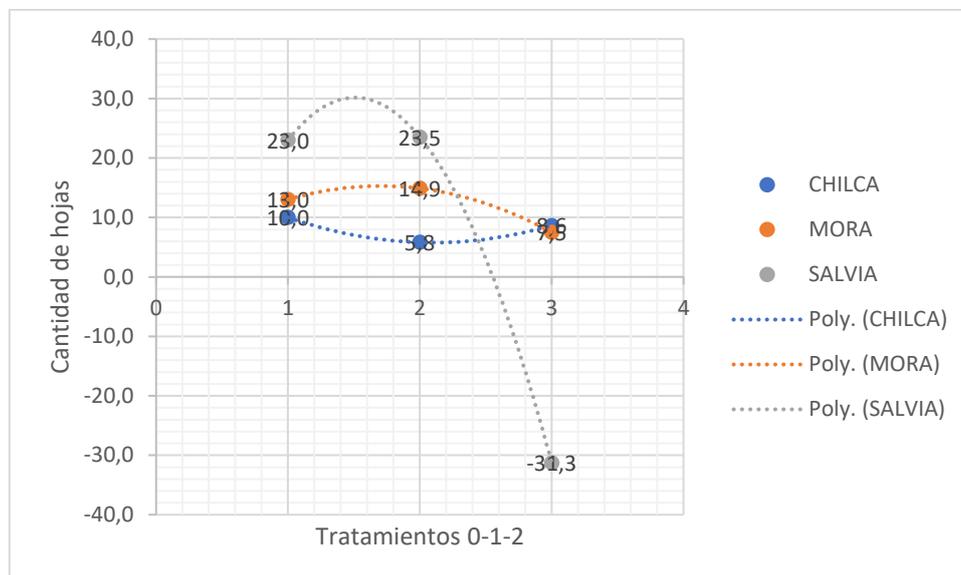


Figura 15. Comparación de promedio de tamaño de hoja en las tres especies.

A lo que se realizó un análisis ANOVA en Excel de un solo factor, en el que P-value es mayor que α , a lo que se acepta la hipótesis en este caso de mayor concentración de ozono menor en la cantidad de hojas en las especies (Tabla 20).

Tabla 21.

Análisis ANOVA de crecimiento de las plantas en los tres tratamientos.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Chilca	3	24,425	8,141667	4,585208
Mora	3	35,375	11,79167	14,69271
Salvia	3	15,25	5,083333	990,1458

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	67,6776	2	33,83882	0,100569	0,90582	5,143
Within Groups	2018,85	6	336,4746			
Total	2086,53	8				

4.2. Principio de experimento cajas cerradas

El experimento se inició con cajas cerradas, en los cuales se selló la caja con plástico de invernadero. Una vez que estaban selladas se empezó a observar que había demasiada humedad dentro de la caja (Figura 16), y a la vez que las plantas de salvia empezaron a formarse en sus flores lanas y extenderse a las hojas que estaban junto las salvias como se observa en la Figura 17.



Figura 16. Caja con humedad.



Figura 17. Daño en flor de Salvia.

Debido a la problemática de la humedad, se contempló dejar las cajas abiertas, lo que la parte superior de la caja está abierta.

Existe estudios en los que se contempla experimentos del efecto de ozono en cajas abiertas, a lo que se menciona que al utilizar cámaras abiertas proporcionan la mejor fuente de datos (WHO, 2000). Debido al rápido intercambio de aire, dichas cámaras proporcionan condiciones climáticas similares, pero no idénticas, a las de afuera y, por lo tanto, persisten algunas reservas sobre la extrapolación a las condiciones de campo. En particular, datos recientes sugieren que, debido a la turbulencia forzada, el flujo de ozono en tales cámaras es normalmente más alto que el exterior, a pesar de que la cámara no modifica la concentración de ozono (WHO, 2000).

4.3. Seguimiento de cajas abiertas

El seguimiento de las cajas abiertas se lo realizó cada cinco días (6 revisiones al mes) registrando un control de los cambios que se puede observar en las cajas como son la caída de hojas y daño en las hojas.

En la caja del Tratamiento 0 (concentraciones de ozono ambiental), se observó cambios desde la tercera semana (4 revisión), en las plantas de mora se mostraron manchas cafés en las hojas (Figura 18).



Figura 18. Manchas cafés en las hojas de mora de castilla.

En la caja del Tratamiento 1 (concentraciones de ozono cero – carbón activado), no se observó cambios visibles dentro de las cuatro semanas (6 revisiones) (Figura 19).



Figura 19. No hay cambios en las plantas.

En la caja del Tratamiento 2 (concentraciones de ozono $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – generador de ozono), se observó cambios desde más temprano en la tercera y cuarta semana (3-6 revisión), en las plantas de salvia específicamente, mostrándose las hojas con puntos blancos y marchitamiento de la flor (Figura 20). En cambio, en la misma caja a mora de castilla empezó sus cambios en la cuarta semana (5-6 revisión) donde se observó puntos blancos en sus hojas (Figura 21),

mientras que en la chilca hay cambios en la cuarta semana (6 revisión) puntos blancos pequeños visibles (Figura 22).



Figura 20. Daño en la hoja y marchitamiento de la flor en salvia.



Figura 21. Manchas blancas en la hoja de mora.



Figura 22. Manchas en hoja de chilca.

Resumiendo, con incremento de ozono dentro de las cajas de experimento se observaron los cambios morfológicos más temprano, especialmente para salvia, y tardío para mora y chilca.

Con ayuda de la Red de Monitoreo de la Secretaría de Ambiente se obtuvieron datos de radiación solar y ozono en el mes de abril de las dos estaciones más cercanas El Camal y Guamaní (Figuras 23-26).

A su vez se demuestra que en el mes de abril tuvo concentraciones de 46,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación El Camal y 48,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Guamaní.

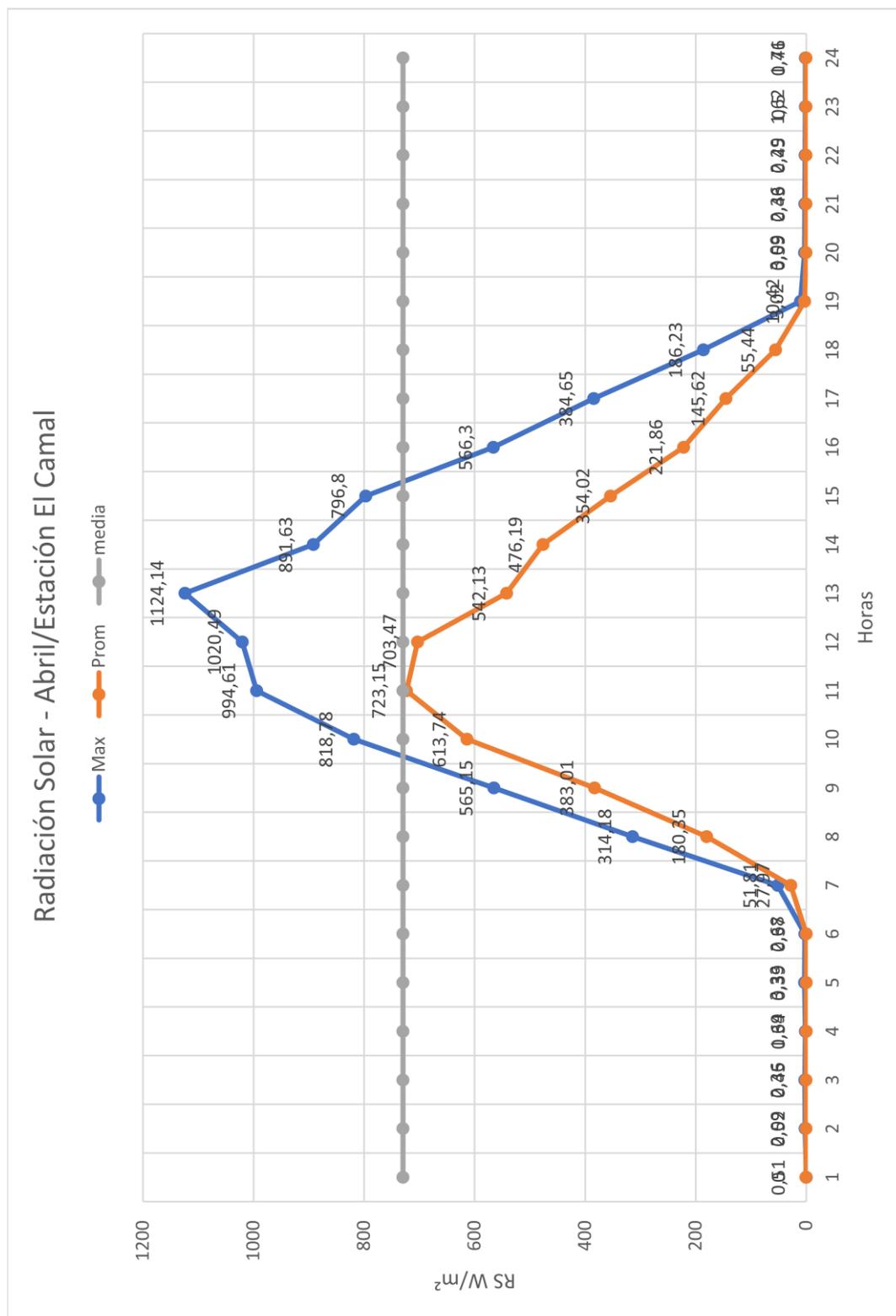


Figura 23. Radiación solar durante el mes de abril – estación El Camal.

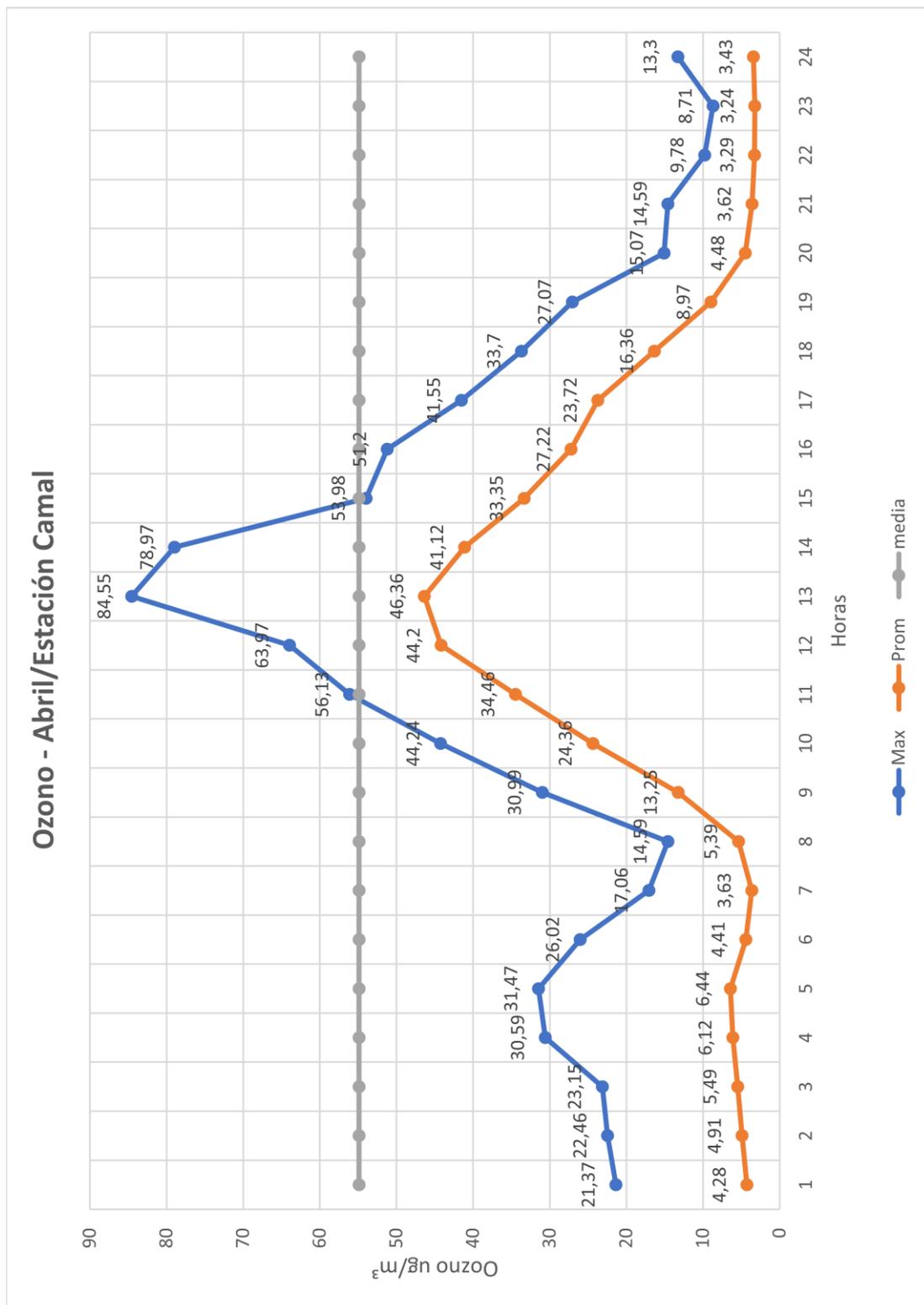


Figura 24. Ozono durante el mes de abril.

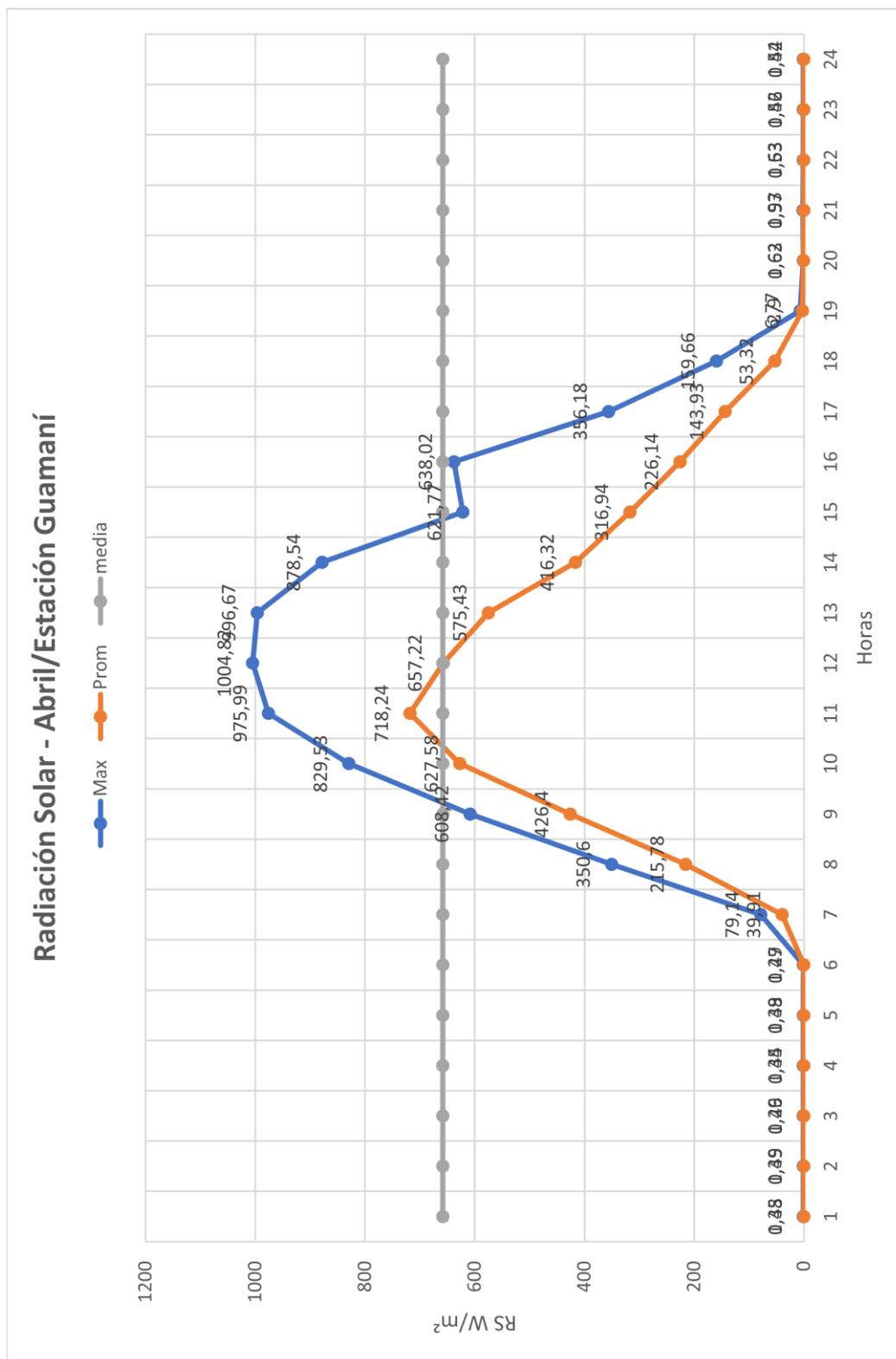


Figura 25. Radiación solar durante el mes de abril – estación Guamaní.

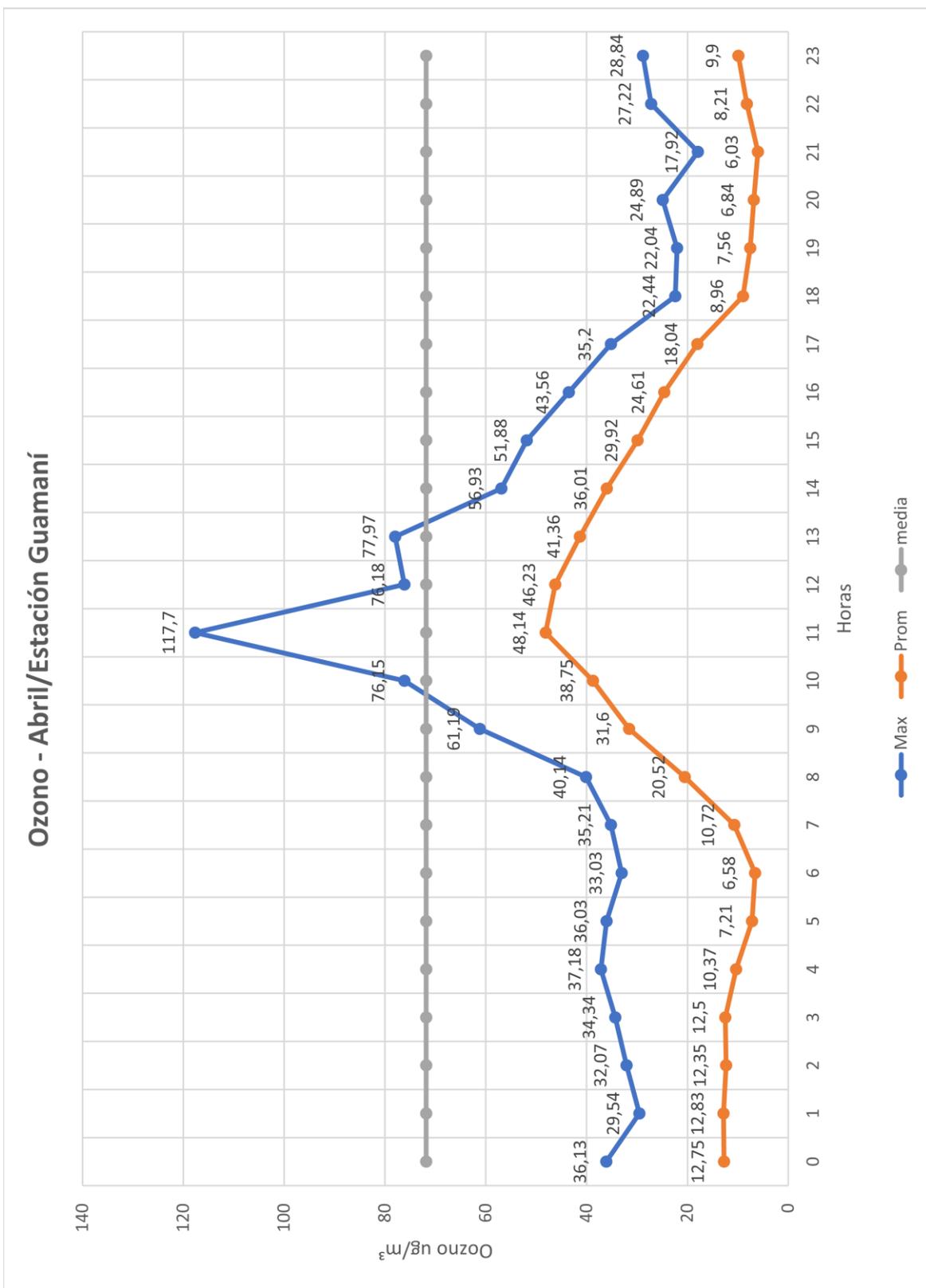


Figura 26. Ozono durante el mes de abril.

Se realizó un promedio de todas las estaciones del mes de abril para verificar las variaciones dentro de los parámetros que se tiene en diferentes partes de la ciudad (Tabla 22).

Tabla 22.

Variación de parámetros en las estaciones del mes de abril de toda la ciudad de Quito.

Mes de abril 2018 – promedios				
Estación	Humedad relativa	Ozono	Lluvia	Radiación solar
	%	µg/m³	Mm	W/m²
Belisario	74,51	14,8	0,2	181,96
Carapungo	77,53	19,56	0,1	206,19
Centro	-	12,97	-	-
Cotocollao	76,76	-	0,2	210,38
El Camal	71,84	15,4	0,2	184,79
Guamaní	78,03	19,45	0,3	184,4
Los Chillos	74,73	21,31	0,2	198,16
San Antonio	80,44	-	0,1	230,37
Tumbaco	75,11	24,21	0,1	-

Las variaciones de los parámetros en el Distrito Metropolitano de Quito mantienen diferentes magnitudes por las zonas irregulares, como el caso de San Antonio se tiene la medición de radiación solar más alta (230,37 W/m²) pero no tiene valor de medición de ozono, en cambio en Tumbaco tiene mayor cantidad de ozono (24,21 µg/m³) pero no tiene medición de radiación solar; esto quiere decir que ambos poseen características de ambiente seco por lo que se podría notar que a mayor radiación mayor concentración de ozono.

Es resumen, la zona del sur de la ciudad mantiene un rango de humedad alta y un rango de precipitación mayor, en cambio las zonas de los valles y San Antonio tienen un ambiente caliente y son los que más incidencia tiene de radiación solar y ozono, por lo que causa mayor daño en las plantas, a lo que se debe determinar

primero la cantidad de ácido ascórbico de las plantas para realizar procesos de revegetación de la zona.

4.4. Variación de concentraciones de ozono - Pasivos Ambientales

Los pasivos fueron analizados por la Secretaría de Ambiente por cromatografía iónica. Los resultados de los filtros pasivos que se encontraban en la caja del Tratamiento 2 en donde se administraba los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono son los que se muestra en la Tabla 23, estos análisis se los realizó al mes del experimento.

Tabla 23.

Análisis de los filtros pasivos por la Secretaría de Ambiente

Pasivos ambientales			
Muestras	Tiempo de Exposición (horas)	Altura cm	Concentración Ozono $\mu\text{g}/\text{m}^3$
M1 Mitad	48	Nivel del suelo	19,3
M2 Frente	48	10	5,5
M3 Frente	48	23	70,7
M4 Frente	48	30	7,7
M5 costado	48	23	14,9
M6 costado	48	23	8,8

Los análisis muestran variación de concentración de ozono a lo que la difusión en la caja debe ser mayor, con ayuda de más ventiladores para que sea más distribuido el ozono. Afuera de la caja se mantiene concentraciones de 19.45 y 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con lo que se compara con las mediciones que se mantuvieron dentro del mismo rango dentro de la caja.

En la caja en el punto de la mitad es 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero se conoce que en 3 días se reduce la concentración de ozono generado (no es constante), también se tiene la mezcla con el aire de afuera, y en condiciones naturales la concentración tiene pico en la mitad del día y después baja, entonces el punto promedio de ese pico en el mes de abril se acerca a los 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, entonces los resultados son significantes.

4.5. Análisis estructural microscópico de las hojas

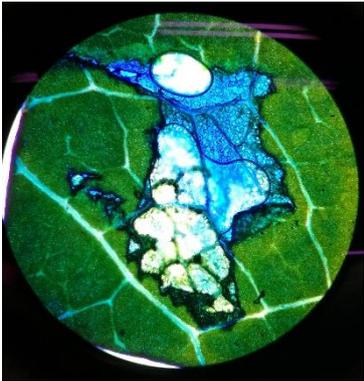
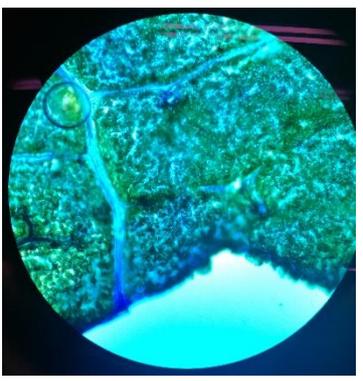
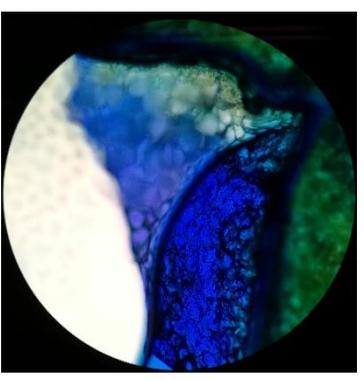
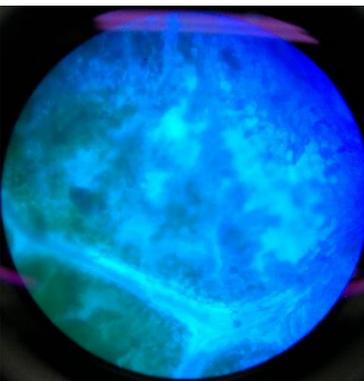
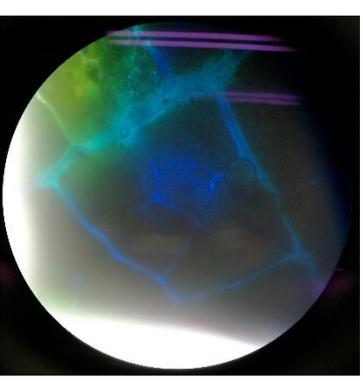
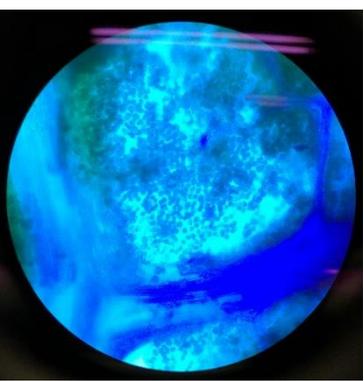
El análisis estructural de las hojas de las especies se lo realizó en el laboratorio de la Universidad de Las Américas, con ayuda del microscopio Olympus marca CX31. El microscopio CX31 tiene un campo claro de observación binocular, posee un tratamiento antihongos que ayuda a proteger las partes ópticas (Mauricio Mossé Instrumental Científico, 2018)

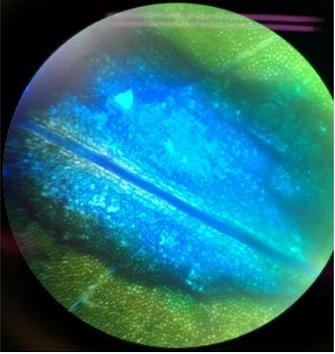
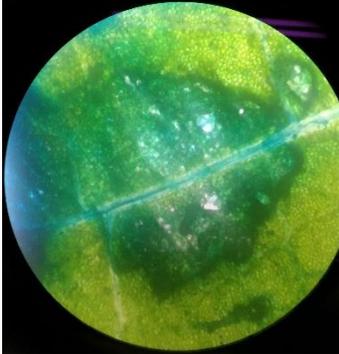
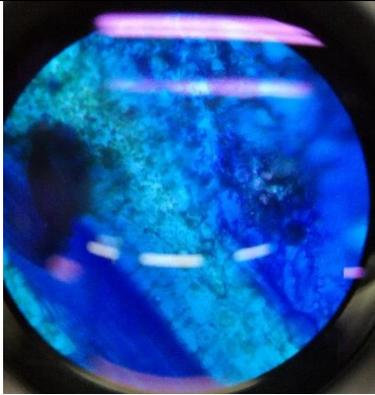
Se desarrolló el análisis de las hojas a partir de cortar una parte de la hoja, capa delgada para observar mejor la muestra. Se colocó la muestra en un portaobjetos y se añadió una gota de azul de metileno, se esparció la gota por la muestra y posterior se colocó el cubreobjetos con cuidado sobre la muestra de hoja.

Se lo llevó directamente al microscopio binocular y se ajustó el lente para dar una lectura microscópica y se tomó una captura de la imagen observada en el microscopio (Tabla 24).

Tabla 24.

Análisis estructural microscópica de las hojas de las 3 especies.

Chilca		
Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2
		
La estructura de la hoja no presenta daño morfológico, notación de puntos negros.	La estructura de la hoja no presenta daños, es de color verde.	La estructura de la hoja presenta daños, notación de cambio de coloración a negro.
Mora de Castilla		
Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2
		
La estructura de la hoja no presenta daño morfológico, notación de partes negras.	La estructura de la hoja no presenta daños, es de color verde.	La estructura de la hoja presenta daños, notación de cambio puntos negros.

Salvia		
Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2
		
La estructura de la hoja no presenta daño morfológico, notación de partes negras.	La estructura de la hoja no presenta daños, es de color verde.	La estructura de la hoja presenta daños, notación de cambio de coloración a negro (secciones de la hoja).

El análisis microscópico sugiere que en la especie salvia las concentraciones elevadas de ozono troposférico presenta mayor impacto a la estructura celular. Significando, que las especies como salvia son especies de lugares más limpias, con mejor calidad del aire, por esto se encuentran en los parques más grandes o afuera de la ciudad. Y no son adecuadas para regeneración en las ciudades con los problemas de calidad del aire como altas concentraciones de ozono.

4.6. Ácido ascórbico

Se determinó el ácido ascórbico de las tres especies: chilca, mora de castilla y salvia, en lo que se observó cambios de coloración por la reacción con la disolución indicadora (yodo) con el almidón (Tabla 25).

Tabla 25.

Cambio de tonalidad y reacción del ácido ascórbico.

Disolución indicadora	Chilca	Mora de Castilla	Salvia
			
Disolución indicadora de tonalidad azul oscuro/púrpura.	La coloración es más clara.	La coloración es media.	No cambio la coloración desde la adición de la disolución indicadora

Se analizó que el contenido de ácido ascórbico está en mayor concentración en la especie de la Chilca, concentración media en la Mora y sin efecto en la Salvia.

Los resultados del análisis de ácido ascórbico en las plantas nativas mostraron una variación fuerte. Esto podría significar que las especies con alto ácido ascórbico son más resistentes a estreses ambientales como altos niveles de contaminación. Esto se valida con nuestros resultados del experimento (ver numeral 4 sección 4.1.1-4.1.3 y 4.5, donde se discuta los daños morfológicos)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se comprobó que el ozono troposférico tiene efectos negativos en los cambios morfológicos y a su vez resistencia en las 3 especies de plantas que se utilizó para la experimentación. Además, cuando mayor es la cantidad de ozono generado mayor afectación tiene en la planta.

Según observación y seguimiento, el Tratamiento 2 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ozono generado), se pudo determinar que tuvo mayor afectación en los cambios morfológicos y fisiológicos de las tres especies en la experimentación. Las plantas tuvieron un menor crecimiento de altura, de igual manera los resultados demuestran varianza en el tamaño de la hoja y la cantidad de hojas. Pero en la especie de Salvia tuvo incidencia en menor tamaño de hoja en lo que se disminuyó el crecimiento de las hojas y la excesiva pérdida de hojas.

El análisis microscópico sugiere que en la especie Salvia en las concentraciones elevadas de ozono troposférico presenta mayor impacto. Significando, que las especies como Salvia son especies de lugares más limpias, con mejor calidad del aire, por esto se encuentran en los parques más grandes o afuera de la ciudad. Y no son adecuadas para regeneración en las ciudades con los problemas de calidad del aire como altas concentraciones de ozono troposférico.

Las especies Mora de Castilla (*Rubus glaucus*) tuvo resistencia media y Chilca (*Baccharis latifolia*) tuvo resistencia mayor, en el cual los parámetros de medición antes y después del experimento existió un menor porcentaje de daño morfológico.

5.2. Recomendaciones

Los análisis de ácido ascórbico en las plantas nativas mostraron una variación fuerte. Esto podría significar que las especies con alto ácido ascórbico son más

resistentes a estrés ambiental como altos niveles de contaminación y se sugiere continuación de experimentación con diferentes especies nativas de ácido ascórbico alto y bajo y su resistencia al agotamiento ambiental como contaminación por ozono – problema de Quito y otras zonas altoandinas.

Se recomienda para mayor difusión en la caja de generación de ozono de experimentación se debe colocar más ventiladores de potencia alta, se sugiere ventiladores de 110 voltios para que sea más distribuido el ozono.

Se recomienda realizar el experimento en septiembre debido a alta radiación y fotólisis, cuando se tiene más alta concentración ambiental de O_3 y ver los aspectos extremos de ambiente, ya que en el experimento realizado las especies fueron tratamiento medio fueron expuestos a $54 - 71\mu\text{g}/\text{m}^3 O_3$ y en ambiente húmedo.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2005). Fuente de alimentación para la generación de ozono en aplicaciones de desinfección de agua. Recuperado el 20 de mayo de 2018 de https://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/173MC_jar.pdf
- Álvarez, Constanzo, Díaz, Gerez, Hollman, Hurtado, Lucero, Macuso, Ruggieri y Strack. (2015). CROMATOGRAFIA DE INTERCAMBIO IONICO. Recuperado el 3 de junio de 2018 de <http://ufq.unq.edu.ar/Docencia-Virtual/BQblog/Cromatografia%20de%20intercambio%20ionico.pdf>
- Ballester, F. (2005). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD. Recuperado el 12 de diciembre de 2018 de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005
- Calderón, D., Hernández, J., Castilla, L., Hernández, E., Barragán, G., Rodríguez, R. y Villegas, G. (2000). El ozono como molécula reactiva. Concepto actual. *Perinatol Reprod Hum*, 14, 125-123
- Cazorla, M. (2013). Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012. *Avances*, 5 (2), C67-C78
- Cazorla, M. (2015). *Air quality over a populated Andean region: Insights from measurements of ozone, NO, and boundary layer depths. Atmospheric Pollution Research* 7, 66-74
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). El mosaico de América del Norte: Panorama de los problemas ambientales más relevantes. Recuperado el 10 de mayo de 2018 de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2349-north-american-mosaic-overview-key-environmental-issues-es.pdf>

- Cooper, O., Parrish, D., Ziemke, J., Balashov, N., Cupeiro, M., Galbally, I., Gilge, S., Horowitz, L., Jensen, N., Lamarque, J., Naik, V., Oltmans, S., Schwab, J., Shindell, D., Thompson, A., Thouret, V., Wang, Y., and Zbinden, R. (2014). *Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review*. *Elem Sci Anth*. 2-29. DOI: <http://doi.org/10.12952/journal.elementa.000029>
- Feng, Z., Paoletti, E., Bytnerowicz, A. y Harmens, H. (2015). Ozone and plants. *Environmental Pollution*, 202, 215-216.
- Feng, Z., Sun, J., Wan, W., Hu, E. y Calatay, V. (2014). *Evidence of widespread ozone-induced visible injury on plants in Beijing, China*. *Environmental Pollution*, 193, 296-301.
- Fowler, D., Cape, J.N., Coyle, M., Flechard, C., Kuylenstierna, J., Hicks, K., Derwent, D., Johnson, C., Stevenson, D., 1999. *The global exposure of forests to air pollutants*. *Water Air Soil Pollut*. 116, 5–32.
- Hoshika, Y., Pecori, F., Conese, I., Bardelli, T., Marchi, E., Manning, W., Badea, O., Paoletti, E. (2013). *Effects of a three-year exposure to ambient ozone on biomass allocation in poplar using ethylenediurea*. *Environmental Pollution*, 180, 299-303
- IAMQ. (2017). Informe de la Calidad de Aire-2016 Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 19 de marzo de 2018 de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf
- Jardín Botánico de Quito. (2018). Plantas Nativas de la Hoya de Quito: *Rubus glaucus*. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de <http://plantasnativas.visitavirtualjbq.com/index.php/emblematicas/1-rubus-glaucus>
- Jardín Botánico de Quito. (2018). Plantas Nativas de la Hoya de Quito: *Salvia quitensis*. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de <http://plantasnativas.visitavirtualjbq.com/index.php/emblematicas/5-salvia-quitensis>

- Juarez, C. S. (2015). *Análisis de varianza de un factor ANOVA*. Recuperado el 22 de julio de 2018 <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/34186>
- Mauricio Mossé Instrumental Científico. (2018). Microscopio Olympus CX31. Recuperado el 10 de mayo de 2018 de http://www.mauriciomosse.com.ar/bioq_mi_olympuscx31.php
- Ministerio del Ambiente. 2014. Programa nacional de restauración forestal con fines de conservación ambiental, protección de cuencas hidrográficas y beneficios alternos. Recuperado el 30 de noviembre de 2017 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/REFORESTACION.pdf>
- Mosquera, N. (2017). ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA DETERMINAR EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO Y LA COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS DE PROTECCIÓN ECOLÓGICA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PERÍODO 2001- 2015 (Tesis de pregrado). Recuperado el 15 diciembre de 2017 de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13385/1/T-ESPE-057338.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado el 4 de abril de 2018 de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- Ozonolux de Colombia. (2018). Purificador Acrílico Mini Ozonolux XXI. Recuperado el 22 de abril de 2018 de <https://1027-co.all.biz/purificador-acrlico-mini-ozonolux-xxi-g1515>
- Percy, K., Legge, A., y Krupa, S. (2003). *Tropospheric ozone: A continuing threat to global forests?* Recuperado el 10 de mayo de 2018 de [https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(03\)03004-3](https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/S1474-8177(03)03004-3)

- Porras, A. M. (2001). *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS*. Proyecto Sur.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*. 82. 5
- Secretaría de Ambiente. (2017). Reportes de Calidad de aire y Metreología. Recuperado el 8 de mayo de 2018 de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/datos-horarios-historicos#ozono-o3>
- Universidad San Francisco de Quito y Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. (2008). LA BIODIVERSIDAD DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, UN TESORO POR EXPLORAR. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/biodiversidad/Documents/DC4AC5Las%20plantas%20y%20animales%20nativos%20del%20DMQ.pdf
- Universidad Complutense Madrid (UCM). (2018). "OBSERVANDO" EL CONTENIDO DE VITAMINA C. Recuperado el 12 de mayo de 2018 de <http://webs.ucm.es/info/analitic/Asociencia/Vitamina%20C.pdf>
- Wan, W., Manning, W.J., Wang, X., Zhang, H., Sun, X., Zhang, Q. (2014). *Ozone and ozone injury on plants in and around Beijing, China*. *Environmental Pollution*, 191, 215-222.
- WHO Regional Office for Europe. (2000). *Effects of ozone on vegetation: critical levels*. Recuperado el 2 de mayo de 2018 de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/123099/AQG2ndEd_12ozonelevel.pdf?ua=1
- Zea, J., León, G., y Eslava, J. (2000). El ozono estratosférico y la capa de ozono. Recuperado el 19 de marzo de 2018 de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revisita_meteorologia_colombiana/numero02/02_07.pdf

Zúñiga, E. (2010). DISEÑO EN PARCELAS DIVIDIDAS. Recuperado el 22 de julio de 2018 de http://estadistica.260mb.com/Efrain_DPD.pdf?i=1

ANEXOS

Anexo 1. Figuras

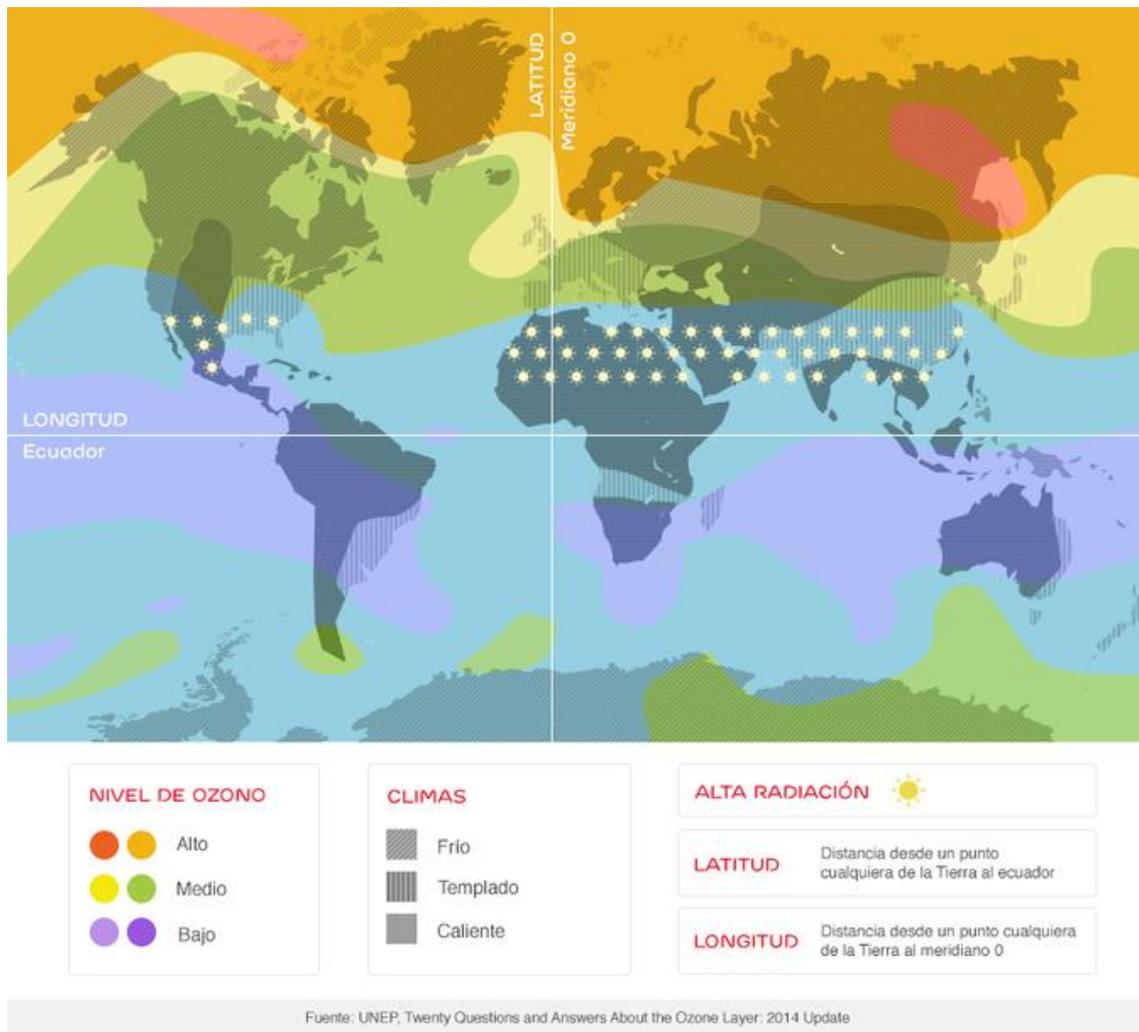


Figura A 1. Cantidad de ozono total en los dos hemisferios.

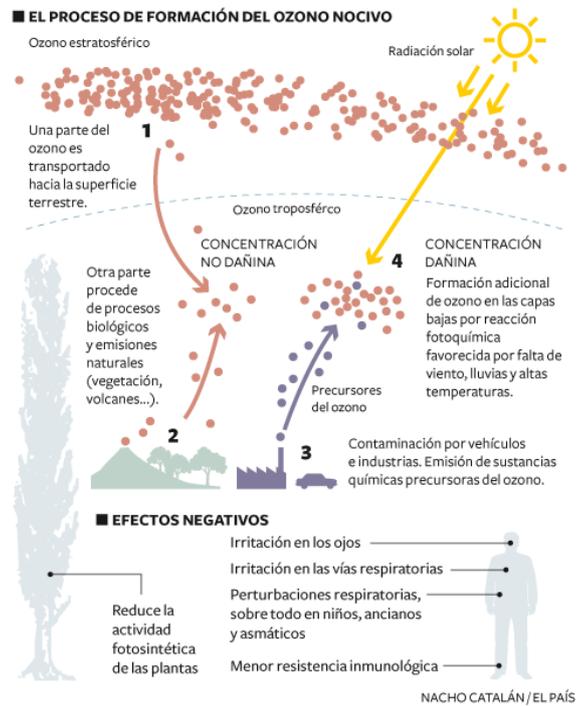


Figura A 2. Formación de ozono y efectos.

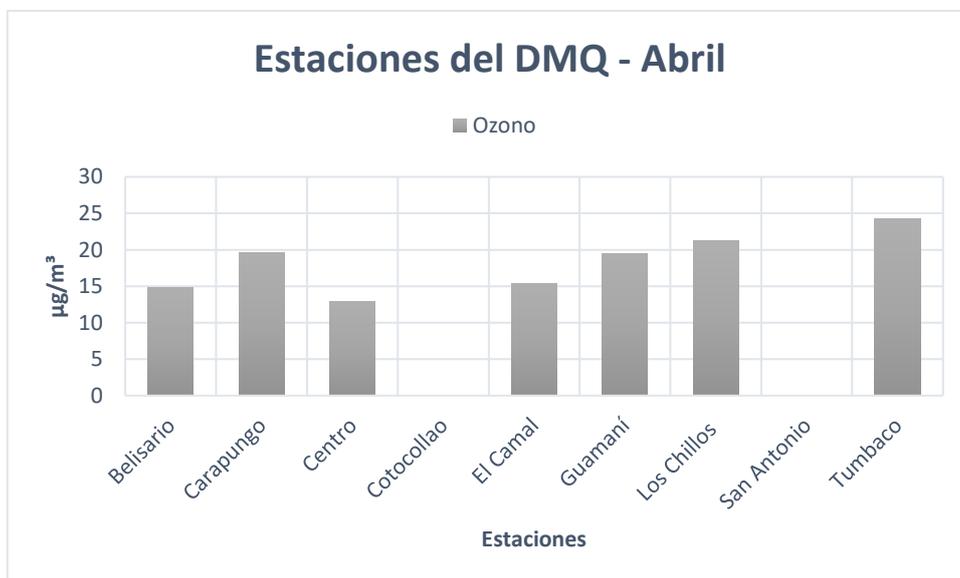


Figura A 3. Ozono del mes de abril - estaciones del DMQ.



Figura A 4. Disolución indicadora (maicena + alcohol yodado).



Figura A 5. Zumos de las hojas de las tres especies.

- a) zumo de chilca.
- b) zumo de mora.
- c) zumo de salvia.



Figura A 6. Disolución indicadora con zumos de la hoja de la planta.

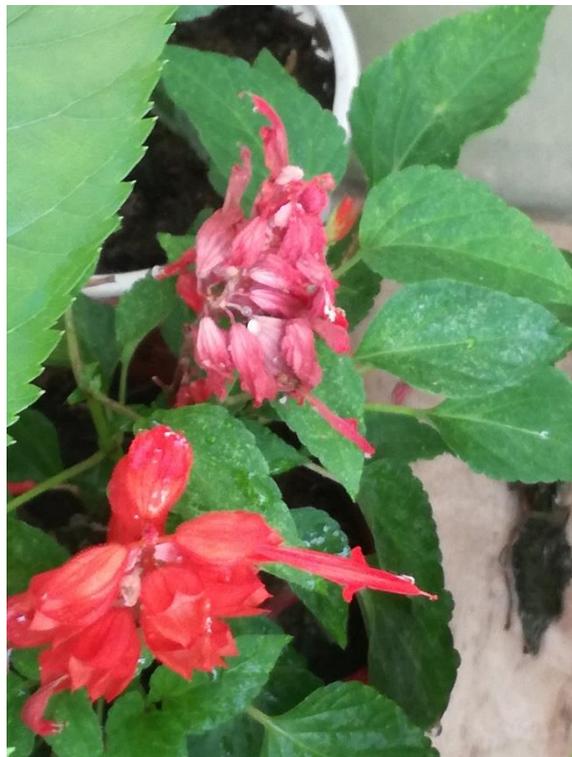


Figura A 7. Daños en salvia expuesta a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono.



Figura A 8. Puntos blancos en hojas y marchitamiento de flor en salvia.

Anexo 2. Tablas

Tabla A 1. Registro Inicial de Chilca.

Registro inicial de la Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)						
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	tamaño h
1	S1T0-1	7	3,9	1,5	15	5,5
2	S1T0-2	4	3,6	1,3	15	4,8
3	S1T0-3	6	3,5	1,2	15	4,7
4	S1T0-4	8	4,3	1,4	15	5,7
5	S1T0-5	18	3,8	1,3	15	5,1
6	S1T0-6	5	4,2	1,3	15	5,5
7	S1T0-7	9	4,0	2,0	15	6
8	S1T0-8	5	3,7	1,1	15	4,9
9	S1T1-9	16	4,8	1,6	13	6,5
10	S1T1-10	28	3,5	1,1	13	4,6
11	S1T1-11	17	3,2	1,1	13	4,3
12	S1T1-12	33	4,2	1,8	13	6,1
13	S1T1-13	19	3,8	1,5	13	5,4
14	S1T1-14	24	4,2	2,0	13	6,2
15	S1T1-15	27	3,8	1,5	13	5,4
16	S1T1-16	10	3,6	1,3	13	4,9
17	S1T2-17	30	4,2	1,4	19	5,6
18	S1T2-18	5	2,5	1,1	19	3,5
19	S1T2-19	7	2,8	1,4	19	4,1
20	S1T2-20	5	4,4	1,5	19	5,9
21	S1T2-21	8	4,2	1,2	21	5,3
22	S1T2-22	25	5,1	1,6	19	6,8
23	S1T2-23	36	5,1	1,7	19	6,8
24	S1T2-24	7	3,4	1,2	19	4,6

Tabla A 2. Registro final de Chilca.

Registro final de Chilca (Baccharis latifolia)						
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	tamaño h
1	S1T0-1	20	7,8	3,9	21,8	11,6
2	S1T0-2	15	9,7	4,5	27,8	14,2
3	S1T0-3	11	6,0	2,6	22,4	8,5
4	S1T0-4	20	7,3	2,9	24,8	10,2
5	S1T0-5	32	5,8	2,6	23,6	8,3
6	S1T0-6	23	7,8	2,6	21,2	10,4
7	S1T0-7	10	7,8	3,1	22,8	10,9
8	S1T0-8	11	6,3	2,5	21,6	8,9
9	S1T1-9	34	7,5	2,3	29,2	9,8
10	S1T1-10	27	9,3	3,9	28,4	13,2
11	S1T1-11	22	9,7	4,6	38	14,3
12	S1T1-12	30	6,9	2,8	25,2	9,8
13	S1T1-13	18	9,7	3,2	34,5	12,9
14	S1T1-14	43	6,1	2,8	27,7	8,9
15	S1T1-15	29	7,0	3,1	34	10,1
16	S1T1-16	17	7,6	3,2	38,5	10,7
17	S1T2-17	41	6,1	2,3	25,2	8,4
18	S1T2-18	12	6,5	1,9	28,7	8,3
19	S1T2-19	11	5,0	2,5	26,1	7,5
20	S1T2-20	11	7,9	3,3	25	11,1
21	S1T2-21	14	8,7	3,7	27,2	12,4
22	S1T2-22	35	6,1	2,1	23	8,2
23	S1T2-23	39	7,5	2,8	28,3	10,2
24	S1T2-24	29	5,6	2,0	24,8	7,5

Tabla A 3. Registro inicial de Mora.

Registro inicial de Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)						
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	tamaño h
1	S2T0-1	9	9,9	5,0	21,7	15
2	S2T0-2	14	9,8	6,1	23,3	15,9
3	S2T0-3	14	9,3	4,8	21,5	14,1
4	S2T0-4	13	8,1	4,6	22	12,7
5	S2T0-5	15	8,5	4,6	20,4	13,1
6	S2T0-6	9	7,1	4,2	16	11,3
7	S2T0-7	11	6,8	3,5	23,4	10,3
8	S2T0-8	15	10,2	5,3	20,6	15,5
9	S2T1-9	11	10,9	5,4	21	16,3
10	S2T1-10	25	6,9	3,9	23,5	10,7
11	S2T1-11	15	9,7	4,5	24,1	14,1
12	S2T1-12	19	9,5	4,7	23,3	14,1
13	S2T1-13	18	9,6	5,0	27,1	14,6
14	S2T1-14	9	8,2	4,8	22,1	13
15	S2T1-15	20	10,5	5,2	25,4	15,7
16	S2T1-16	6	11,6	5,7	22	17,3
17	S2T2-17	15	8,6	5,1	25	13,7
18	S2T2-18	7	9,6	5,5	25	15,1
19	S2T2-19	22	8,16	4,52	21	12,7
20	S2T2-20	17	11,0	5,9	23,7	16,9
21	S2T2-21	32	7,9	5,4	25	13,2
22	S2T2-22	10	8,5	4,3	25	12,9
23	S2T2-23	20	10,3	5,6	25	15,9
24	S2T2-24	10	8,5	5,3	25	13,8

Tabla A 4. Registro final de Mora.

Registro final de Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)						
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	tamaño h
1	S2T0-1	29	12,8	6,9	48,6	19,7
2	S2T0-2	21	10,6	5,7	27,6	16,3
3	S2T0-3	26	17,4	8,5	54,2	25,9
4	S2T0-4	28	14,3	7,2	44,6	21,5
5	S2T0-5	20	11,5	6,0	25	17,5
6	S2T0-6	20	16,8	8,5	43,8	25,3
7	S2T0-7	22	14,5	7,3	37,6	21,8
8	S2T0-8	38	14,4	7,0	53,5	21,4
9	S2T1-9	27	15,6	9,3	53,6	24,9
10	S2T1-10	40	14,5	7,7	37,5	22,3
11	S2T1-11	31	16,8	9,9	43	26,7
12	S2T1-12	29	13,9	7,4	49,4	21,3
13	S2T1-13	26	15,7	9,0	45,5	24,6
14	S2T1-14	29	12,4	7,5	44	19,9
15	S2T1-15	32	15,0	8,4	52	23,4
16	S2T1-16	28	13,6	7,0	46	20,6
17	S2T2-17	26	13,3	7,7	48,7	21
18	S2T2-18	19	10,9	6,7	39	17,6
19	S2T2-19	31	11,9	5,925	36,7	17,8
20	S2T2-20	16	10,1	6,4	47,2	16,5
21	S2T2-21	24	8,8	4,9	25,8	13,7
22	S2T2-22	28	9,6	5,4	43	14,9
23	S2T2-23	30	10,8	5,8	51,1	16,6
24	S2T2-24	19	9,9	6,4	41,5	16,3

Tabla A 5. Registro inicial de Salvia.

Registro inicial de Salvia (<i>Salvia quitensis</i>)							
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	Flor	tamaño h
1	S3T0-1	37	4,8	3,6	17,8	rojo	8,4
2	S3T0-2	43	5,3	3,2	16,4	morada	8,5
3	S3T0-3	46	6,6	3,6	16,2	rojo	10,2
4	S3T0-4	25	5,5	3,6	19,2	rojo	9,1
5	S3T0-5	32	5,41	4,36	17,8	rojo	9,8
6	S3T0-6	22	4,4	3,2	22,1	rojo	7,6
7	S3T0-7	23	6,5	3,6	16,3	lila	10,1
8	S3T0-8	43	5,7	3,8	15,8	rojo	9,5
9	S3T1-9	37	5,6	5,0	24	rojo	10,6
10	S3T1-10	52	5,9	4,2	17,8	rojo	10,2
11	S3T1-11	49	5,4	11,2	21,5	rojo	16,6
12	S3T1-12	54	5,5	3,0	21,5	rojo	8,5
13	S3T1-13	56	6,2	6,5	19,8	rojo	12,7
14	S3T1-14	47	6,2	4,0	18,1	morada	10,2
15	S3T1-15	49	6,0	5,0	21,1	rojo	11
16	S3T1-16	42	6,6	5,0	24	rojo	11,6
17	S3T2-17	48	6,3	4,2	21,2	rojo	10,5
18	S3T2-18	51	5,3	3,8	21,3	rojo	9,1
19	S3T2-19	74	4,5	4,4	18,7	rojo	8,9
20	S3T2-20	43	5,6	4,1	19,2	rojo	9,7
21	S3T2-21	56	6,2	4,0	20,6	rojo	10,2
22	S3T2-22	54	5,1	3,5	18,6	rojo	8,6
23	S3T2-23	89	5,8	5,6	19,3	rojo	11,4
24	S3T2-24	44	6,1	5,7	26,3	rojo	11,8

Tabla A 6. Registro final de Salvia.

Registro final de Salvia (<i>Salvia quitensis</i>)							
No.	Nombre	# hojas	altura h	ancho h	tamaño	Flor	tamaño h
1	S3T0-1	42	7,4	5,4	19,5	Rojo	12,8
2	S3T0-2	65	7,7	4,7	19,8	morada	12,4
3	S3T0-3	68	6,4	3,9	19,3	Rojo	10,4
4	S3T0-4	62	6,0	4,1	23	Rojo	10,1
5	S3T0-5	65	7,2	5,7	23,8	Rojo	12,9
6	S3T0-6	33	5,4	3,9	23,4	Rojo	9,3
7	S3T0-7	68	7,0	4,6	18	Lila	11,6
8	S3T0-8	52	7,6	4,5	22,4	Rojo	12,1
9	S3T1-9	42	4,6	4,0	25,6	Rojo	12,6
10	S3T1-10	78	7,1	4,9	20,6	Rojo	12
11	S3T1-11	82	7,8	6,3	28	Rojo	18,1
12	S3T1-12	101	7,4	4,3	23,3	Rojo	11,7
13	S3T1-13	64	7,1	5,9	27	Rojo	13
14	S3T1-14	52	7,8	4,2	20,5	morada	12
15	S3T1-15	98	7,6	5,7	28	Rojo	13,3
16	S3T1-16	57	6,5	5,1	24,5	Rojo	12
17	S3T2-17	16	4,8	4,0	23,9	Rojo	8,8
18	S3T2-18	44	5,8	4,1	26,6	Rojo	9,9
19	S3T2-19	25	6,3	5,0	29,5	Rojo	11,3
20	S3T2-20	12	5,4	3,6	17	Rojo	8,9
21	S3T2-21	25	5,1	3,0	19,2	Rojo	8,1
22	S3T2-22	17	4,4	2,7	18,7	Rojo	7,1
23	S3T2-23	40	6,2	4,6	28,4	Rojo	10,8
24	S3T2-24	30	5,8	4,5	25,5	Rojo	10,3

