



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INFLUENCIA DEL OZONO TROPOSFÉRICO EN ESPECIES NATIVAS DEL
ECUADOR, PARROQUIA DE CONOCOTO

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

Profesora Guía

PhD. Rasa Zalakeviciute

Autor

Carlos Xavier Endara Guffanti

AÑO

2019

DECLARACIÓN DE PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Influencia del ozono troposférico en especies nativas del Ecuador, parroquia de Conocoto, a través de reuniones periódicas con el estudiante Carlos Xavier Endara Guffanti, en el semestre 201920, 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

CI: 175707679-7

DECLARACIÓN DE PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Influencia del ozono troposférico en especies nativas del Ecuador, parroquia de Conocoto, de Carlos Xavier Endara Guffanti, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Marco Vinicio Briceño León

Máster en Energías Renovables

CI: 171596731-9

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”.

Carlos Xavier Endara Guffanti

CI: 172244056-5

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el constante apoyo y preocupación; a La Pandilla por su amistad tan bonita y crucial en este periodo académico. Agradezco especialmente al amor de mi vida, mi mujercita, mi mejor amiga, mi complemento; y a su familia, que ahora son parte de mi familia.

DEDICATORIA

A mis abuelas, padres,
hermana y al amor de mi
vida.

RESUMEN

El ozono troposférico es un contaminante secundario, originado por una serie de reacciones fotoquímicas entre contaminantes primarios como: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y los óxidos de nitrógeno (NOX). De hecho, varios estudios advierten que el incremento de este contaminante atmosférico a nivel mundial podría superar en 7 partes por billón dentro de los próximos 10 años. En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se encuentra ubicada la parroquia de Conocoto, que se destaca por presentar niveles de contaminación que superan la norma de calidad de aire nacional. Durante el año 2017, se registraron las concentraciones octohorarios máximas registradas de O₃ troposférico en dos zonas de la ciudad, una de ellas Los Chillos, ubicada en la parroquia antes mencionada. En ambas estaciones de monitoreo atmosférico, las concentraciones de ozono superaron 100 µg/m³ que, son el límite normativo nacional e internacional. El O₃ es un contaminante que genera impactos significativos en la salud humana y ecosistémica, es así como la exposición a este gas afecta el crecimiento de las plantas. Por esta razón, el presente trabajo de titulación determinó los cambios morfológicos y químicos en 5 especies nativas arbustivas del Ecuador: Chilca (*Baccharis latifolia*), Iso (*Dalea coerulea*), Guarango (*Mimosa quitensis*), Mora de Quito (*Rubus glaucus*) y Ortiga (*Urtica magellanica* Juss. ex Poir) expuestas a 0 µg/m³ y a 100 µg/m³, a fin de evaluar el comportamiento de estas especies con posible potencial de revegetación en base a un monitoreo de O₃ en tiempo real. Los resultados demuestran que, en condiciones ambientales con concentraciones altas de ozono, se presencia apareamiento de manchas, necrosis y pérdida foliar, afectando al número de hojas, contenido de ácido ascórbico y clorofila, durante el crecimiento de las plantas. Demostrando que la especie vegetal más tolerante es Mora de Quito (*Rubus glaucus*), presentando efectos menores, seguida por Chilca (*Baccharis latifolia*). Según con lo encontrado, se recomienda realizar estudios con periodos experimentales de mayor tiempo para determinar la afección del ozono al crecimiento en base a la altura de la planta, y profundizar en síntomas agudos para futuras investigaciones.

ABSTRACT

Tropospheric ozone is a secondary pollutant, caused by a series of photochemical reactions between primary pollutants such as volatile organic compounds (VOCs) and nitrogen oxides (NOX). In fact, several studies warn that the increase in this global air pollutant could exceed seven parts per billion within the next 10 years. In the Metropolitan District of Quito (DMQ), the city of elevation with high solar radiation, there are a few districts that violate recommended levels of ozone concentrations. In 2017 in Los Chillos district of Conocoto parish tropospheric O₃ concentrations exceeded eight-hour limit of 100 µg/m³, suggesting possible health implications. O₃ is a pollutant that generates significant impacts on human health and ecosystem. Specifically, it affects the growth of plants. For this reason, this thesis determined the morphological and chemical changes in 5 native shrub species of Ecuador: Chilca (*Baccharis latifolia*), Iso (*Dalea coerulea*), Guarango (*Mimosa quitensis*), Mora de Quito (*Rubus glaucus*) and Nettle (*Urtica magellanica* Juss, ex Poir) exposed to 0 µg/m³ and 100 µg/m³, in order to evaluate the behavior of these species with possible potential of revegetation based on O₃ monitoring in real time. Data shows presence of spots, necrosis and losses of leaves; affection on quantity of leaves, ascorbic acid and chlorophyll in plants exposed to high ozone concentrations. Indicating Mora de Quito (*Rubus glaucus*) as the most tolerant species with less effects, followed by Chilca (*Baccharis latifolia*). According to the investigation, is recommended to analyses the effect of ozone on the height of the plant in long-term studies, and insights on acute symptoms for future investigations.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Alcance	5
1.5. Justificación.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Contaminación del aire y riesgos ambientales.....	7
2.2. Contaminación del aire en la parroquia de Conocoto	9
2.3. Ozono troposférico	10
2.3.1. Origen.....	11
2.3.2. Problemática ambiental	12
2.4. Efectos por ozono troposférico en especies vegetales	14
2.4.1. Ácido ascórbico	16
2.4.2. Clorofila	17
2.5. El ozono en la legislación	18
2.6. Plantas nativas del Ecuador	20
3. METODOLOGÍA	21
3.1. Ubicación	21

3.2. Fuentes de información	21
3.2.1. Estación de Monitoreo Atmosférico - Los Chillos.....	21
3.2.2. Aeroqual Series 500	22
3.2.3. Definición de unidades	22
3.3. Validación de datos	24
3.3.1. Monitoreo en Aire Ambiente	24
3.4. Selección de especies vegetales.....	24
3.5. Diseño Experimental	25
3.6. Diseño y construcción de invernaderos	28
3.7. Control de Microcosmos.....	30
3.7.1. Localización del Monitor	31
3.7.2. Cámara Testigo	31
3.7.3. Cámara de Exposición.....	31
3.7.3.1. Generación de Ozono	31
3.8. Experimentación.....	32
3.8.1. Dosificación y monitoreo de Ozono	33
3.8.2. Parámetros físicos y químicos	33
3.8.2.1. Morfológicos.....	33
3.8.2.1.1. Altura de planta	33
3.8.2.1.2. Número de hojas	33
3.8.2.1.3. Determinación Microscópica	34
3.8.2.2. Químicos	35
3.8.2.2.1. Ácido Ascórbico.....	35
3.8.2.2.2. Clorofila	38
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39

4.1. Aire Ambiente.....	39
4.1.1. Ozono	39
4.1.2. Temperatura	41
4.1.3. Humedad Relativa	44
4.2. Control de microcosmos.....	46
4.2.1. Cámara Testigo	46
4.2.2. Cámara de exposición	48
4.2.2.1. Generación de ozono.....	49
4.3. Experimentación.....	53
4.3.1. Dosificación de ozono.....	53
4.3.2. Parámetros	56
4.3.2.1. Morfológicos.....	57
4.3.2.1.1. Altura	57
4.3.2.1.2. Número de hojas	63
4.3.2.1.3. Manchas en hojas	71
4.3.2.1.4. Determinación Microscópica	74
4.3.2.2. Químicos.....	76
4.3.2.2.1. Ácido Ascórbico.....	76
4.3.2.2.2. Clorofila	82
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones.....	90
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS	105

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La contaminación atmosférica es concebida como la presencia en la atmósfera de sustancias nocivas en una concentración que involucra la generación de molestias o riesgos para la salud de las personas y demás seres vivos (Martínez y Díaz de Mera, 2004). Según la Organización Mundial de la Salud (2016), esta contaminación ha provocado más de 4,2 millones de muertes prematuras; de hecho, cerca del 88% de estas muertes son más recurrentes en países de ingresos bajos y medios. En América, por ejemplo, se registran alrededor de 164.000 muertes relacionadas a la exposición a altos niveles de contaminación del aire exterior (OMS, 2018).

Este tipo de contaminación registra un crecimiento de tipo exponencial, debido al excesivo desarrollo de la actividad antrópica industrial y, a las emisiones que de esta reaccionan, originando gases y partículas que en altas concentraciones pueden provocar la pérdida del equilibrio ecológico (Matus, 2017).

En el mismo sentido, el crecimiento económico y la urbanización, relacionados al impulso de distintas actividades como: la industria petrolera, la agroindustria y la movilización, ha resultado en el aumento del consumo de varios combustibles fósiles que, inciden en la producción de altos volúmenes de contaminantes que son emitidos a la atmósfera; derivando en daños potencialmente permanentes a la salud humana, los ecosistemas y a los recursos naturales (Romero, Diego & Álvarez, 2006).

Un contaminante atmosférico muy recurrente es el ozono. El ozono es un gas compuesto por tres átomos de oxígeno y cuya molécula se representa como O_3 (PNUMA, s.f.). Es una molécula inestable que se encuentra presente en la atmósfera, de forma natural; sin embargo, en altas concentraciones a nivel troposférico, este es considerado un contaminante (SEDEMA, 2016). Además, se considera como el producto de la reacción entre la luz ultravioleta y óxidos de nitrógeno junto a los compuestos orgánicos volátiles (FAO, 2005). Las emisiones

más altas de O₃ troposférico, se dan mayoritariamente en épocas de verano y al medio día, debido a que la cantidad de radiación solar es mayor (European Environment Agency, 2008).

Sus propiedades reactivas y oxidativas lo convierten en un gas de rápida reacción frente a otros compuestos (Peña & Ramírez, 2016). Tiene efectos negativos sobre la salud de los seres vivos. Por ejemplo: en personas causa irritación en el sistema respiratorio; mientras que, la decoloración, bajo rendimiento de fotosíntesis y cantidad de hojas, son características de la influencia del ozono en plantas. De acuerdo con Kumar, Middey y Rao (2017), el incremento de este gas podría superar en 7 partes por billón dentro de los próximos 10 años a nivel mundial.

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), debido a sus características geográficas y meteorológicas que, propician una mayor insolación, las reacciones que generan O₃ troposférico son más favorables. Por lo tanto, los meses con mayores concentraciones de ozono durante el año 2017 fueron agosto y septiembre (meses próximos al equinoccio y con cielos despejados) con concentraciones mayores a 70 µg/m³; obteniéndose hasta un promedio de 25,2 µg/m³ de ozono troposférico al año; mientras que, los meses con menores concentraciones de ozono fueron mayo y junio (periodo con mayor intensidad de lluvias y con cielos nublados), con un promedio de 30 µg/m³ (Secretaría de Ambiente, 2017).

1.2. Planteamiento del Problema

El ozono troposférico es un gas que no es generado directamente, sino que se origina por la presencia de la radiación solar con otros contaminantes de tipo hidrocarburífero (COVs) y óxidos de nitrógeno derivados de la combustión en general; a su vez, el ozono troposférico tiene la capacidad de reaccionar con un sin número de oxidantes producidos fotoquímicamente, actuando como precursor de este tipo de contaminantes (Otri, 2009). Las concentraciones de ozono troposférico de tipo “benigno” y las concentraciones de ozono troposférico

“perjudicial” en la atmósfera, dependen del balance que se suscite entre los procesos que producen ozono y lo eliminan.

Existe evidencia experimental y diversos estudios epidemiológicos sobre los efectos adversos en la salud de las personas, ante cortos y largos periodos de exposición a elevadas concentraciones de ozono que, generalmente se relacionan con la reducción de la capacidad respiratoria, la alteración de la función respiratoria, limitado desarrollo de la capacidad pulmonar en niños; inclusive, cáncer pulmonar e incremento de la mortalidad en general (Conselleria D’Habitatge, Obres Públiques I Vertebració del Territori, s.f.). Asimismo, se calcula que el ozono troposférico agrega un 16% al efecto total de calentamiento provocado por los principales gases antropogénicos con el efecto invernadero producido a escala global (Romero, 2015).

En México, por ejemplo, los problemas de calidad del aire son bastante alarmantes. En el año 2005 se detectó que un 27,7 por ciento de la población mexicana vivía en municipios en los que las concentraciones de ozono troposférico se ubicaron por encima de la norma nacional cuando menos un día al año (Comission for Environmental Cooperation, 2005).

En Ecuador, los problemas ambientales relacionados con la mala calidad del aire se manifiestan principalmente en las grandes ciudades, como es el caso de Quito, Guayaquil y Cuenca; donde se evidencia una gran concentración de población urbana y la presencia de un sin número de actividades industriales (FLACSO, Ministerio del Ambiente & PNUMA, 2008). De acuerdo con un estudio realizado por la OMS, para el año 2014 se logró determinar que en las grandes ciudades del Ecuador al menos un 80% de sus habitantes no respira aire de calidad, por ejemplo: Santo Domingo de los Tsáchilas fue considerada como una de las ciudades más contaminadas de nuestro país, ocupando el octavo lugar de las ciudades más contaminadas de América Latina (Global Urban Ambient Air Pollution Database, 2014).

En el mismo sentido, la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito ha pasado de tener un poco más de 200.000 habitantes con una superficie disponible igual a 1.300 ha en el año 1950 a tener más de 2.000.000 de

habitantes y un área disponible de 32.400 ha en la primera década del siglo XXI. Este crecimiento poblacional exponencial que ha sufrido la ciudad ha transformado radicalmente el paisaje urbano y ha producido un alto impacto en la vegetación nativa existente debido a las alteraciones suscitadas en este espacio físico (Oleas, Ríos-Touma, Peña & Bustamante, 2016).

Ahora, dado que el ozono es una molécula gaseosa con una gran capacidad oxidante, no solo produce un impacto en la salud de las personas, sino que también afecta a la vegetación; por ejemplo: una vez que el O₃ es absorbido por las plantas a través de los estomas, se originan una serie de reacciones en cadena que liberan radicales libres y formas activas del oxígeno que, son altamente reactivas y que pueden oxidar diversos compuestos orgánicos que forman parte de las paredes celulares y demás orgánulos de la célula vegetal; induciendo un estrés oxidativo celular y alterando así el funcionamiento general de la planta (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas - CIEMAT, 2010).

Estudios realizados en España, han evaluado la baja producción del sistema agrícola en zonas de alta concentraciones de ozono troposférico; los resultados indican una disminución de más del 30% en judías y sandías, más del 20% en hortalizas y cerca del 15% en granos y cereales (Bermejo, Alonso, Elvira, Rábago, & García Vivanco, 2009). Mientras tanto, en la República Popular China, a través de investigaciones relacionadas con el efecto del ozono troposférico sobre la agricultura, se ha logrado determinar que a mayores concentraciones de este gas se afecta directamente a diversas etapas de desarrollo de la planta, principalmente en la etapa del desarrollo del tallo, raíz; y, la más común en la morfología, textura, tamaño y color de sus hojas (Wang, Manning, Feng & Yongguan, 2007).

De igual forma, otras investigaciones desarrolladas en Cuba han detectado daños en el ajo (*Allium sativum*) y en el tabaco (*Nicotiana tabacum*) por causa de los altos niveles de O₃ troposférico, cuyos principales síntomas se reflejaron en las hojas de tamaño variable y de diferente coloración; pudiendo causar

necrosis total (tizón) en las plantas expuestas (Andreu, Cupull Pérez & Morales, 2007).

Dado que, en la actualidad se considera que el ozono troposférico es el contaminante más relevante para cultivos y vegetación natural, los efectos del O₃ han sido bien documentados en diferentes estudios realizados en invernaderos a condiciones controladas, donde se aumentan artificialmente los niveles de ozono (Kruppa & Legge, 2000).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la influencia del ozono en especies nativas del Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Medir el comportamiento del ozono en micro invernaderos a través de monitoreo.
- Determinar los efectos que produce el ozono sobre las especies vegetales seleccionadas mediante análisis químico y morfológico.

1.4. Alcance

Se realizó la experimentación en cinco especies nativas de nuestro país, en la parroquia de Conocoto durante los meses de marzo y abril del año 2019.

El presente trabajo de titulación se determinó los posibles efectos morfológicos y químicos en las especies nativas seleccionadas: Chilca (*Baccharis latifolia*), Iso (*Dalea coerulea*), Guarango (*Mimosa quitensis*), Mora de Quito (*Rubus glaucus*) y Ortiga (*Urtica magellanica* Juss. ex Poir) expuestas a una concentración que

supera el límite máximo permisible, establecido por la normativa ambiental nacional vigente.

1.5. Justificación

El incremento de la concentración de ozono troposférico es proporcional al aumento de la radiación solar. El Distrito Metropolitano de Quito por ser una ciudad localizada a más de 2 500 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una mayor incidencia de radiación ultravioleta; por lo tanto, la exposición a altas concentraciones de ozono es un factor de riesgo que puede dificultar el desarrollo de las especies vegetales.

Previamente, se han realizado estudios con el mismo enfoque, tomando en cuenta la exposición de especies vegetales en los meses de agosto, septiembre y octubre, cuando los niveles de ozono son altos. Por este motivo, se ha programado el desarrollo de este proyecto durante los meses de marzo, abril y mayo, a fin de complementar y analizar el comportamiento de distintas especies vegetales sometidas a concentraciones altas de O₃, con posible potencial de revegetación de la ciudad.

Para estudiar los efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación, se han desarrollado un sinnúmero de metodologías de experimentación que permiten determinar la sensibilidad de las especies vegetales a un contaminante específico y los parámetros biológicos que pueden verse afectados (Bermejo et. al., 2009); de este modo el presente trabajo de titulación busca a través de la experimentación estudiar la exposición a O₃ en cinco especies nativas del Ecuador, mismas que serán sometidas a una concentración de 100 µg/m³, nivel límite máximo permisible establecido por la normativa nacional. Todo esto a fin de observar los cambios morfológicos y químicos en las especies vegetales observadas.

Finalmente, debido a que los niveles más altos de O₃ en el Distrito Metropolitano de Quito han sido detectados en la estación de monitoreo “Los Chillos” (Secretaría de Ambiente, 2018), la exposición y monitoreo de ozono troposférico en la parroquia de Conocoto permitirá conocer la influencia que tiene este contaminante en el desarrollo de varias plantas nativas del país expuestas a una concentración elevada que incluso supera al nivel máximo permisible establecido por la normativa de calidad de aire.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación del aire y riesgos ambientales

La contaminación del aire es considerada como uno de los principales riesgos ambientales para la salud humana (OPS, 2016). Esta se define como la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que alteran su composición inicial y que, además, afectan el bienestar humano o a cualquier componente del medio ambiente (Oyarzún, 2010). Los contaminantes mayormente liberados a la atmósfera son: partículas en suspensión, contaminantes gaseosos y olores ofensivos.

Los principales mecanismos de contaminación atmosférica involucran a la combustión de hidrocarburos (gasolina, gas y diésel) empleados en automotores y en calefacción residencial en países industrializados; y, a la operación de plantas industriales poco eficientes en países en vías de desarrollo (Academia Nacional de Medicina, 2014). A parte de las fuentes antropogénicas, también existen las fuentes biogénicas de contaminación que corresponden a eventos naturales tales como: erosión, incendios forestales, erupciones volcánicas, descomposición de la vegetación y tormentas de polvo (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016).

Según Spiegel & Maystre (2012), entre los contaminantes gaseosos primarios más representativos se encuentran los compuestos azufrados como el dióxido de azufre (SO₂), los compuestos nitrogenados como el dióxido de nitrógeno

(NO₂), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), compuestos halogenados como el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y mercaptanos (olores). Estos compuestos a través de una serie de reacciones químicas, fotoquímicas o térmicas pueden producir contaminantes gaseosos secundarios, como es el caso de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos reactivos (HC) que en conjunto, son los precursores de ozono (O₃), nitrato de peroxiacetilo (PAN) y formaldehído (CH₂O) que resultan altamente nocivos para los seres vivos (Schewela & Goelzer, 2012).



Figura 1. Contaminación primaria y secundaria.

Tomado de (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016).

En las últimas décadas, se han reportado un sinnúmero de evidencias sobre la relación que mantienen los contaminantes atmosféricos con el aumento del número de consultas en urgencias por enfermedades respiratorias (Romero-Placeres et al., 2004). De hecho, varios estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes del aire, incluso a concentraciones inferiores a los niveles establecidos en las normas internacionales; se asocian con un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias agudas y crónicas como: asma, neumonía y cáncer de pulmón, enfermedades

cardiovasculares resultantes de la severidad en el deterioro de la función pulmonar y, a su vez mayor gravedad en la presentación de enfermedades respiratorias en niños y adolescentes (Romero-Placeres, Diego & Álvarez, 2006; OMS, s.f.).

Cabe destacar que, la contaminación del aire no solo afecta a la salud humana, sino también al equilibrio del medio ambiente. Estudios realizados por la Sociedad Española de Ornitología - SEO / BirdLife (2017), indican que las aves son especialmente vulnerables a la contaminación atmosférica debido a que estas especies tienen una frecuencia respiratoria más alta, además de que se encuentran mayormente expuestas al aire libre. Partículas en suspensión, O₃ y HAPs producen un daño directo en sus pulmones o estrés oxidativo en su organismo. En especial, los HAPs pueden reducir la producción y eclosión de huevos o inducir un menor crecimiento de las aves. En el mismo sentido, las hojas de los árboles pueden acumular partículas de contaminación que pueden terminar por obstruir las estomas, debilitando así su función celular.

2.2. Contaminación del aire en la parroquia de Conocoto

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra formado por 65 parroquias: 32 urbanas y 33 rurales. Conocoto es una de las 33 parroquias rurales del DMQ. Se estima que para el año 2030 el 63% de la población se ubique en el área urbana y el 37% en el área rural (Alcaldía de Quito, 2017).

Varios estudios han determinado que los principales sectores de donde proviene la contaminación atmosférica en la ciudad de Quito son: La Ferroviaria, El Trébol, Conocoto, La Armenia, Guangopolo, San Rafael y Sangolquí. En todos estos puntos se supera la norma de calidad de aire nacional (Secretaría de Ambiente, 2017).

De acuerdo con lo indicado por el Informe de la Calidad del Aire de Quito del año 2017, los contaminantes que dan origen al O₃ troposférico se desplazan hacia las afueras de la ciudad gracias a la dirección del viento, lo que favorece su reacción progresiva con la radiación ultravioleta para formar O₃. Por esta razón,

las mayores concentraciones de este contaminante se encuentran a las afueras de los centros urbanos y en zonas con mayor altura sobre el nivel del mar. De hecho, en Figura 2 se puede observar las concentraciones octohorarias máximas registradas durante el año 2017, siendo el máximo promedio octohorario alcanzado por las estaciones de Cotocollao y Los Chillos. En ambas estaciones se superan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que, son el límite normativo nacional (Secretaría de Ambiente, 2018).

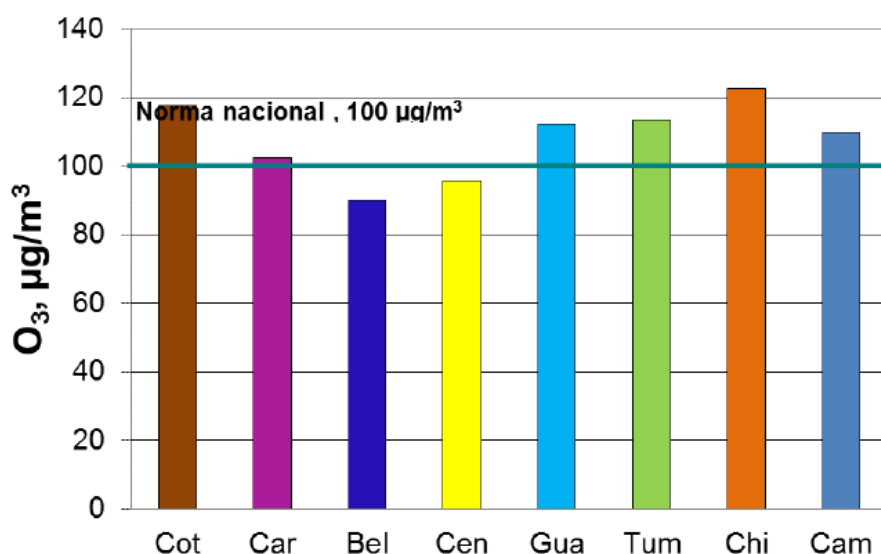


Figura 2. Concentraciones octohorarias máximas de O_3 año 2017, por estación.

Tomado de (Secretaría de Ambiente, 2018).

2.3. Ozono troposférico

Uno de los oxidantes fotoquímicos principales de nuestro planeta, debido a su abundancia y toxicidad es el ozono (O_3); este cumple dos papeles totalmente distintos según su ubicación en la atmósfera, esto es en la estratosfera o en la troposfera. El O_3 estratosférico absorbe la radiación UV proveniente del sol y evita que esta llegue a la superficie de la Tierra; en tanto que, el O_3 troposférico es un importante contaminante secundario por sus efectos nocivos sobre el medio ambiente (Gobierno de Aragón, s.f.)

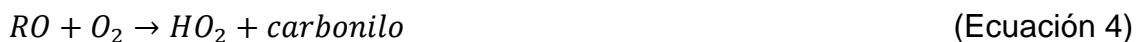
2.3.1. Origen

A concentraciones elevadas, el ozono es un gas de color azul y de olor fuerte y penetrante, con un umbral olfativo a 0,02 ppm. Su densidad es de 1,66 g/mL, es poco soluble en agua (1,09 g/L a 0°C) y es estable únicamente a temperaturas elevadas. Su carácter fuertemente oxidante, se debe a su alta capacidad de cesión electrónica, en donde uno de los tres átomos de oxígeno interviene de modo activo; mientras que, los otros dos átomos se desprenden en estado molecular (Velázquez de Castro, 1997).

El ozono troposférico es un contaminante secundario, esto significa que no es emitido por una fuente directa a la atmósfera, sino que se forma a partir de una serie de reacciones fotoquímicas (activadas por la luz solar) entre contaminantes primarios (directamente eliminados a la atmósfera). Por lo que es considerado el componente más dañino del “smog fotoquímico” (Encinas, 2011). El smog fotoquímico se forma cuando los fotones de la luz solar colisionan con moléculas de los diferentes contaminantes primarios presentes en la atmósfera; la luz solar incrementa la concentración de radicales libres que participan en los procesos involucrados en la formación del smog, resultando por ejemplo en altas concentraciones de ozono a nivel suelo (CLMNTK19, s.f.).

De manera concreta, el ozono troposférico se forma por la presencia de radicales hidroxilo libres en la atmósfera; de hecho, la mayor parte del ozono en la tropósfera se produce mediante la oxidación del monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), iniciada por radicales libres en presencia de óxidos de nitrógeno (NOX; NO + NO₂) y luz solar (Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016). La siguiente secuencia muestra de manera simple el proceso:





Dónde: RH corresponde a un hidrocarburo genérico, R es una cadena de hidrocarburo y M puede ser N₂ u O₂. El carbonilo producido en el proceso puede continuar la oxidación hasta producir O₃. Se puede apreciar en la secuencia previamente descrita que, existe consumo de COVs; mientras que, los radicales OH/HO₂ y el NO_x actúan como catalizadores.

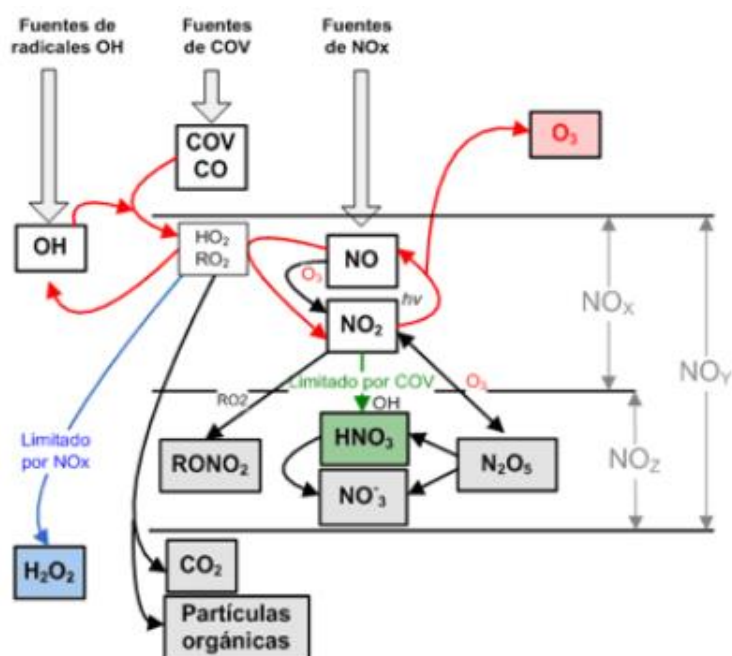


Figura 3. Formación de O₃ limitada por los COVs y los NO_x.

Tomado de (Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016).

2.3.2. Problemática ambiental

El ozono troposférico es un contaminante que genera impactos significativos en la salud humana y ecosistémica; así como en el desarrollo de cultivos, bosques e inclusive en el clima (European Environment Agency - EEA, 2018). El O₃ es un

irritante respiratorio; de hecho, existen varios estudios que demuestran que altas concentraciones de O₃, exposiciones prolongadas y altos grados de actividad física durante la exposición provocan graves efectos en la salud. Conforme a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (2000), se produce una disminución de un 5% de la función pulmonar en individuos jóvenes sanos, cuando estos han estado expuestos a concentraciones de O₃ controladas de 250 µg/m³ y 120 µg/m³ durante un promedio de 1 y 8 horas, respectivamente. Asimismo, se ha logrado registrar hasta un 20% de reducción de la función pulmonar durante los mismos intervalos de exposición controlada a 500 µg/m³ y 240 µg/m³ de O₃.

Los efectos sobre la salud humana que más destacan son: la irritación de los ojos y vías respiratorias que se presentan a manera de tos, irritación en la garganta, sensación incómoda en el pecho, dolor de cabeza y/o dificultad al respirar; todo esto a exposiciones que superan los 200 µg/m³ (OMS, 1995). El reporte "Air quality in Europe" correspondiente al año 2014, reveló que la exposición calculada a O₃ troposférico durante el año 2011 ocasionó al menos 16.000 muertes prematuras en la Unión Europea, suponiendo un umbral de exposición de 35 ppb (EEA, 2014).

De igual manera, se conoce que los contaminantes del aire tienen un impacto potencial sobre el clima, por ejemplo: el O₃ troposférico y el carbón negro son considerados como "forzadores climáticos" de corta duración que contribuyen directamente al calentamiento global (EEA, 2018). De acuerdo con lo indicado por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC (2013), los cambios en los patrones climáticos pueden alterar el transporte, dispersión, deposición y formación de contaminantes en la atmósfera; por ejemplo: a mayor temperatura mayor emisión de COVs (precursores directos de O₃); por lo tanto, mayor generación de O₃ troposférico. A su vez, este ozono afecta el crecimiento de las plantas, reduciendo así la absorción de dióxido de carbono por parte de la vegetación.

2.4. Efectos por ozono troposférico en especies vegetales

La principal vía de entrada del O_3 en las plantas son los estomas abiertos (por absorción); por lo tanto, el gradiente de CO_2 y las condiciones climatológicas, tales como: humedad, luz, temperatura y velocidad del viento, influyen directamente en la dosis de ozono que penetra en las plantas (Asensi Fabado, 2008). De manera que, la fracción de la concentración de ozono troposférico que ingresa al interior de la hoja de manera efectiva está controlada por la resistencia estomática que a su vez se encuentra condicionada por el número de estomas, el grado de apertura estomática y las características anatómicas de las células que forman el poro estomático (Bermejo et. al., 2009). Figura 4, muestra el ingreso de O_3 en la vegetación.

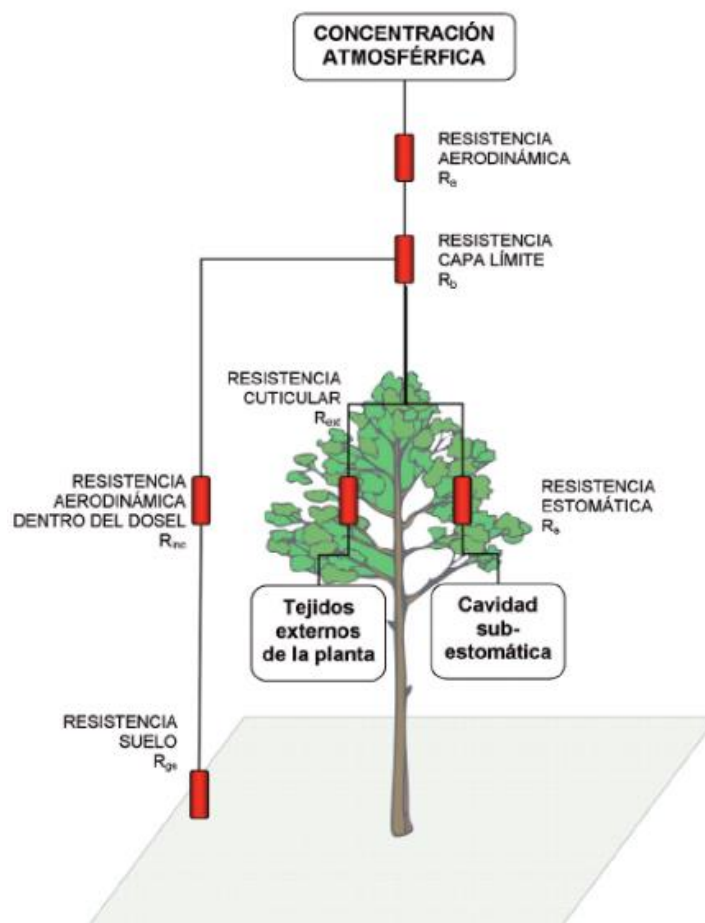


Figura 4. Depósito de ozono sobre las especies vegetales.

Tomado de (UNECE, 2009).

El ozono daña de manera exclusiva a las células del parénquima, seguidamente ataca a las células que se ubican debajo de la epidermis, lo que resulta en una plasmólisis por deshidratación y el contenido celular termina por destruirse; apareciendo en la mayoría de los casos ciertos pigmentos oscuros. Si la concentración de O₃ es elevada, la necrosis es casi inmediata (Callisaya Mamani, 2015). De acuerdo a lo indicado por el programa “Global Challenge Network on Tropospheric Ozone”, los niveles de sensibilidad que presentan las especies vegetales son muy variables. Necrosis puede darse con exposiciones a 0,2 ppm durante 4 horas; mientras que, otros estudios mencionan que con 0,02 ppm en un periodo de exposición entre 4 y 8 horas o 0,05 ppm durante 1 a 2 horas es suficiente para que existan síntomas externos de perturbación en las plantas (Department for Environment, Food & Rural Affairs - UK, 2019).

El efecto agudo más evidente de la exposición a ozono troposférico en las plantas se observa en la superficie de las hojas, los síntomas más visibles incluyen: clorosis, un moteado de tono rojo, marrón o bronce y necrosis unifacial o bifacial (Kley, Kleinmann, Sandermann, & Krupa, 1999). En primer lugar, las manchas suelen aparecer en las hojas más viejas de la planta y tienden a ubicarse entre las nervaduras (Calvo, 2003). No obstante, los síntomas visibles no son un marcador fiable del estrés por O₃, se ha detectado una disminución de la actividad fotosintética sin que las hojas mostrarán síntomas visibles (Soja & Soja, 1995).

Por otra parte, los efectos crónicos que se producen luego de una exposición prolongada desatan disminuciones en el crecimiento, productividad y calidad del material vegetal (Krupa & Manning, 1988). Los productos en los que se descompone el O₃ (principalmente radicales libres) son altamente tóxicos como la propia molécula de ozono. Para Del Valle y otros (2014), las evidencias fisiológicas del daño en plantas por causa del O₃ se traducen en la reducción de la capacidad de absorción del CO₂, relacionado a la disminución de la conductividad estomática y de la capacidad de fijación de CO₂ por parte de las células del mesófilo foliar. De manera general, la exposición a ozono afecta a la actividad de los sistemas antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos de las plantas; todas estas alteraciones resultan en una baja productividad y, por lo

tanto, esto se traduce en pérdidas ecológicas y económicas (Palomares Palacios, 2010). Figura 5 presenta los mecanismos de respuesta más comunes de las plantas ante la exposición a O_3 .

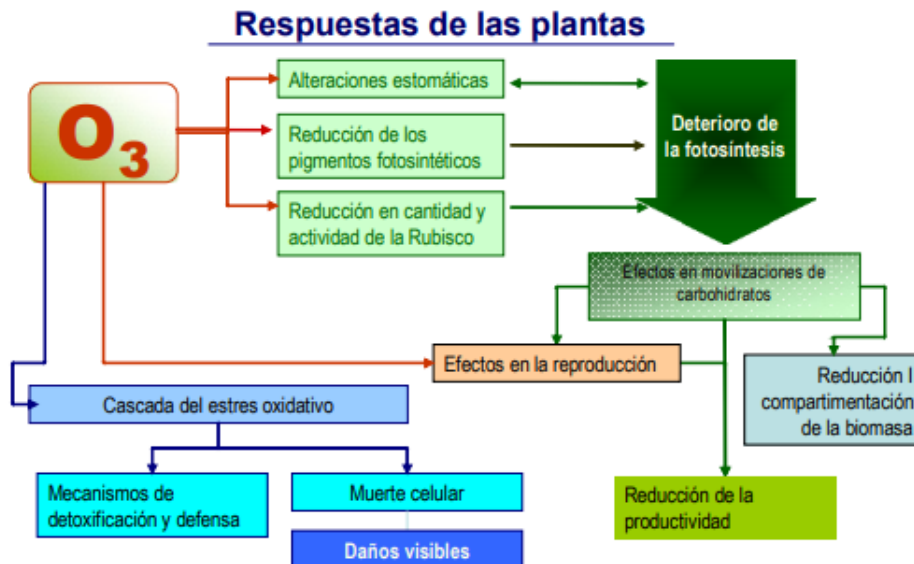


Figura 5. Esquema de las respuestas de las plantas frente a la exposición a O_3 .

Tomado de (Palomares Palacios, 2010).

2.4.1. Ácido ascórbico

La vitamina C o ácido L-ascórbico (AA) es una vitamina esencial, conocida por ser un agente antioxidante enzimático hidrosoluble que se sintetiza químicamente a partir de la glucosa, mediante una serie de reacciones enzimáticas (Serra & Cafaro, 2007).

El ácido ascórbico es una sustancia que se caracteriza por su abundancia e importancia en las plantas; además de formar parte en procesos de fotosíntesis, homeostasis del sistema redox, enzimático, entre otros. (Herrera, Velázquez, Delgado, Velasco & González, 2011). Altas concentraciones de AA proveen mayor protección contra el daño oxidativo provocado por el O_3 en los estomas (Chen & Gallie, 2005).

La relación que existe entre el ácido ascórbico y el ozono, indica que, a mayores cantidades de ácido ascórbico, los efectos del O₃ troposférico van a ser menores; ya que el ácido ascórbico actúa como antioxidante interfiriendo la acción del contaminante y las especies vegetales muestran una mayor resistencia a la exposición al O₃ troposférico (Anaya, 2003). Esto debido a que, en el interior de las hojas este gas genera un sinnúmero de especies reactivas del oxígeno (ROS), como por ejemplo radicales: superóxido, hidroxilo, peróxido de hidrógeno y oxígeno singlete que, producen un desequilibrio iónico y metabólico, denominado estrés oxidativo (Mudd, 1996; Heath & Taylor, 1997).

En las plantas, el ácido ascórbico se encuentra presente en cloroplastos, citosol, vacuolas y espacio apoplástico; participa en la defensa contra el estrés oxidativo biótico y abiótico por su función en la degradación del H₂O₂ mediante la vía del ciclo glutatión-ascorbato (Smirnoff, 1996). Además, el ácido ascórbico está involucrado en el crecimiento, desarrollo, regulación del ciclo de división celular y elongación celular. Varios estudios enfatizan que la aplicación exógena de AA en ciertos cultivos promueve el crecimiento y, por ende, un mayor rendimiento con un aumento de los pigmentos fotosintéticos (Mora, Peralta, López, García, & González, 2011).

2.4.2. Clorofila

La fotosíntesis es conocida como el proceso fotosintético más habitual que involucra a organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias (Gómez P. , 2008).

La clorofila es uno de los pigmentos fotosintéticos más importantes, ya que es la biomolécula cromófora que interviene directamente en la transformación de la energía de la luz solar en energía química (EcuRED, s.f.). Se ubica en las membranas tilacoidales y está conformada por estructuras policíclicas planas estables, compuesta por cuatro anillos pirrólicos cíclicos con un anillo de ciclopentanona fusionado al pirrol III, donde cuatro átomos de N₂ se encuentran unidos a un átomo de Mg⁺² (Rosas, 2007). Para De Las Rivas (2013), en las

especies vegetales existen dos tipos de clorofilas: la clorofila a y la clorofila b; y, por su estructura molecular, las clorofilas son capaces de absorber la radiación luminosa en las zonas azul y roja, por ello son de color verde y proporcionan este característico color a todo el reino vegetal.

Varios estudios demuestran que uno de los primeros efectos del O₃ en las plantas es la alteración de los procesos fotosintéticos, debido a que se produce una reducción en la asimilación de CO₂ que no necesariamente se relaciona a la presencia de daños manifiestos en las hojas (Palomares Palacios, 2010). El ozono genera un claro descenso en la asimilación neta de CO₂; debido a la limitación de la fotosíntesis neta que se ve reflejada con una reducción media de la cantidad de clorofila igual al 11% (Wittig, Ainsworth, & Long, 2007). Esto se acompaña del cierre de los estomas, descenso de la actividad y concentración de la enzima rubisco, baja de la eficiencia del transporte de electrones, fotoinhibición, reducción del tamaño de los cloroplastos e incluso su desintegración (Asensi Fabado, 2008).

Además de la incidencia del O₃ sobre la actividad fotosintética de las plantas, se ha evidenciado la pérdida de mecanismos de defensa de las plantas, afectando así su capacidad de detoxificación y, por ende, el incremento de los efectos nocivos (Gómez, Calderón, Saiz de Omeñaca, & Manzanera de la Vega, 2012).

2.5. El ozono en la legislación

Conforme a lo indicado por las “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre” (OMS, 2006) en base a los efectos conocidos sobre la salud de las personas, se han proporcionado valores referenciales (niveles máximos permisibles de exposición) para estos contaminantes a escala global. Es así como, el valor guía correspondiente al O₃ es de 100 µg/m³ para un promedio diario de 8 horas.

De hecho, se reconoce también como umbral de información para el ozono troposférico al promedio horario de 180 µg/m³ y, como umbral de alerta al promedio en 4 horas de 240 µg/m³ (Boldo, 2015). Asimismo, el valor objetivo

para protección humana se ha observado en un valor máximo diario de las medias móviles octohorarias igual a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no deberá superar más de 25 días por cada año civil de promedio en un intervalo de 3 años (OMS, 2016).

En Ecuador, la normativa que regula la protección del recurso aire se conoce como: Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. Esta se publicó en Registro Oficial, el pasado 7 de junio de 2011, como parte de la Reforma a la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión perteneciente al Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Se ha establecido que la máxima concentración de O_3 , obtenida mediante muestra continua en un período de 8 horas, no deberá exceder de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, más de una vez en un año (Ministerio del Ambiente - MAE, 2011).

En referencia a las especies vegetales, se conoce que existen índices para su protección. Por ejemplo: el Índice de Exposición Acumulada al Ozono (AOT40), se aplica con el fin de proteger a las especies vegetales de la erosión o dificultades de crecimiento producidas por la presencia de O_3 en la atmósfera. Este cálculo se realiza mediante la media móvil de 5 años consecutivos producto de la sumatoria de la diferencia entre las concentraciones mayores a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppm) y 80, en horas de luz (Secretaría de Ambiente, 2018). En el año 2017, el mayor índice de exposición se lo registró en Tumbaco, seguido por Guamaní y Los Chillos.

El marco regulatorio empleado a nivel internacional, se indica en Tabla 1 junto a los valores objetivo de ozono establecidos por la Directiva Europea 2002/3/CE y por el Real Decreto 1796/2003 para los años 2010 y 2020. Esto significa que el cumplimiento de dichos valores se verificará a partir de estas fechas. De momento, el valor AOT40 de $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hora}$ ha sido superado en una parte sustancial del área agrícola de la UE, con alrededor del 31% de todas las tierras agrícolas en su mayoría ubicadas en las regiones del sur del Mediterráneo y Europa Central. Mientras que, el valor objetivo a largo plazo ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{horas}$) se excedió en un 80% en el área agrícola de la mayoría de los países europeos (European Environment Agency - EEA, 2018).

Tabla 1.

Normas de calidad del aire, para la protección de la vegetación, según la Directiva calidad del aire ambiente de la Unión Europea y el CLRTAP.

Contaminante	Periodo promedio	Naturaleza jurídica y concentración	Comentarios
O ₃	AOT4, 1 hora acumulada de mayo a julio	Valor objetivo: 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{hora}$	En promedio durante 5 años ^(b)
		Objetivo a largo plazo: 6 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{hora}$	
	AOT40, 1 hora acumulada de abril a septiembre	Nivel crítico para protección de bosques: 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{hora}$	Definido por el CLRTAP

Adaptado de (Unión Europea - UE, 2008).

Nota: CLRTAP se refiere al Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia de 1983, ratificado en 2011.

2.6. Plantas nativas del Ecuador

Las plantas nativas son aquellas especies vegetales que se distribuyen de manera natural u original en un área determinada (Gobierno Municipal de Tepic, 2014). En Ecuador existen 4500 especies de plantas endémicas que se agrupan en 184 familias y 482 géneros (León-Yáñez et. al., 2011); y, según Lauren (2014), están son especies que han ido perdiendo su valor cultural, por lo que merecen ser reconocidas y valoradas, tomando en cuenta su desaparición de áreas que fueron su hábitat natural.

Es altamente recomendable incluir especies nativas en el ámbito urbano porque estas permiten recuperar espacios y la biodiversidad que las ciudades han perdido tras los procesos de urbanización; de igual manera, aportan en proyectos productivos agroforestales y de reforestación con fines comerciales, así como en proyectos de reforestación con fines de restauración ecológica (Dezzeo Aldana, 2014).

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

Como ya se mencionó, El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra formado por 65 parroquias: 32 urbanas y 33 rurales. La zona del Valle de Los Chillos, lugar en el que se encuentra asentada la parroquia de Conocoto, tiene una superficie de 51,46 km² y una población de 82.072 habitantes (GAD Parroquial de Conocoto, 2015). La parroquia rural de Conocoto, juntamente con Pintag, Amanguaña, Alangasí, Guangopolo y La Merced, forman la Administración Zonal Los Chillos. (Alcaldía de Quito, 2017)

La fase experimental se realizó en el barrio “Armenia 1”, perteneciente a la parroquia de Conocoto. Proyectando su georreferenciación en coordenadas UTM WGS 84 (782167.4, 9967660.8) zona 17 sur; mediante el software Google Earth Pro®.

3.2. Fuentes de información

3.2.1. Estación de Monitoreo Atmosférico - Los Chillos

De las nueve estaciones remotas de monitoreo que comprenden la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito - REMMAQ, una se encuentra ubicada en la Av. Ilaló, vía a El Tingo denominada “Los Chillos”; misma que cuenta con el equipamiento necesario para el monitoreo de contaminantes como: dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno, benceno, toluenos, xilenos, partículas sedimentables, PM₁₀ y PM_{2.5}; también cuenta con el monitoreo de variables meteorológicas como: dirección y velocidad del viento, humedad relativa, temperatura, presión atmosférica y precipitación. (Secretaría del Ambiente, 2018). Cuenta con el equipo THERMO 49C/49i que calcula la concentración de ozono basándose en el principio de absorción de luz ultravioleta por moléculas de ozono a una onda de 254 nm (Thermo Fisher

Scientific, 2011). La información obtenida en la estación es presentada en el sitio web institucional, en libre acceso a la comunidad.

3.2.2. Aeroqual Series 500

El equipo Aeroqual Series 500 se caracteriza por su portabilidad, adaptación a sensores de gases, material particulado, humedad relativa y temperatura; permitiendo un monitoreo de distintos parámetros en tiempo real. Es importante mencionar que el diseño del dispositivo permite conectar un sensor de gas y material particulado durante el uso, juntamente con el sensor de temperatura/humedad relativa y el cable para descarga de datos (Aeroqual, 2018).

Durante el proyecto se empleó el sensor de ozono (0-0,15 ppm), que basa su operatividad en la tecnología Gas Sensitive Semiconductor (GSS) (Aeroqual Limited, 2019), la muestra de aire pasa por una abertura donde la capacidad oxidativa de las moléculas de ozono genera cambio de la resistencia eléctrica en el óxido de tungsteno (Kenda, 2015). De igual, manera se operó el sensor de humedad relativa y temperatura.

3.2.3. Definición de unidades

Las concentraciones del gas, medidas por el equipo Aeroqual Series 500, presentaban unidades de partes por millón, a diferencia la estación REMMAQ-LCH, que reportaba en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se realizó la transformación de unidades, de ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediante la ecuación general de los gases ideales (Ecuación 8). Donde la concentración de ozono (ppm) reemplaza a volumen (ml/m^3), y la temperatura cambia de grados Celsius a Kelvin. El valor de la presión (Ecuación 9), se consideró como constante en base al promedio de la presión atmosférica en la estación REMMAQ-LCH, durante los meses de marzo y abril de los últimos 10 años (Figura 6).

$$VP\bar{M} = mRT \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$m = \frac{\bar{M} * V * P}{R * T} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

m = Cocentración de ozono $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}\right)$

\bar{M} = Peso molecular del ozono $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mol}}\right)$

V = Cocentración de ozono preeliminar $\left(\text{ppm} = \frac{\text{ml}}{\text{m}^3}\right)$

P = Presión atmosférica (atm)

R = Constante $\left(\frac{\text{ml} * \text{atm}}{\text{mol} * \text{K}}\right)$

T = Temperatura (K)

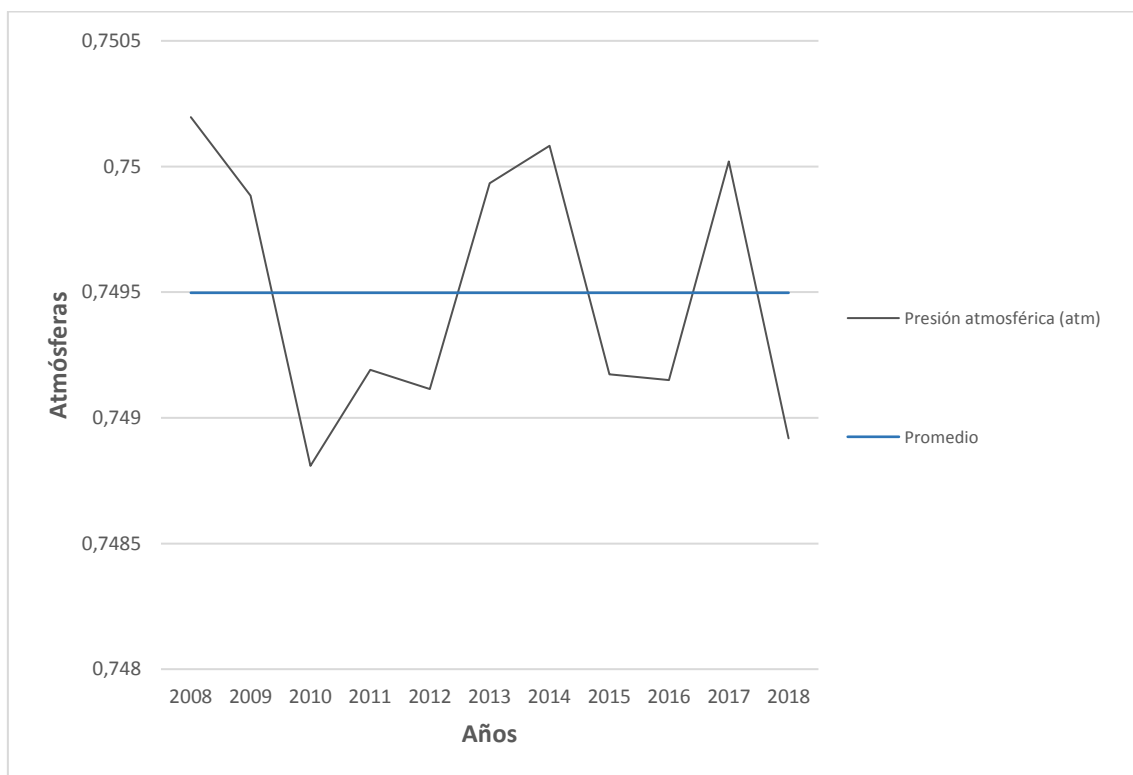


Figura 6. Presión atmosférica promedio durante los meses de marzo y abril en el periodo 2008 - 2018, estación REMMAQ-LCH.

3.3. Validación de datos

3.3.1. Monitoreo en Aire Ambiente

Como método de control de calidad de la información proporcionada por el equipo Aeroqual Series 500, se programó el monitoreo por minuto de concentración de ozono, temperatura y humedad relativa en el aire ambiente durante 40 horas, realizando un promedio por hora, contrastando con datos proporcionados por la estación REMMAQ-LCH (Lin, et al., 2015).



Figura 7. Proyección de sitio experimental y estación REMMAQ-LCH.

3.4. Selección de especies vegetales

La selección de las plantas para el experimento se ha centrado en un grupo específico: especies nativas arbustivas del Ecuador, en su mayoría localizadas en las riberas del Distrito Metropolitano de Quito (Oleas, Ríos-Touma, Peña Altamirano, & Bustamante, 2016). Las plantas de ribera forman parte vital en las funciones ecológicas del ecosistema, brindando protección a cuerpos de agua

frente a posibles contaminantes (Schuler, 1995). Proveen de materia orgánica, regulación térmica y conservación de la diversidad en microhábitats en los ríos (Brisson & Málvarez, 2002).

Las características previamente descritas, han permitido seleccionar especies vegetales de acuerdo en ciertos parámetros, como la facilidad de localización (Tabla 2).

Tabla 2.

Características de especies vegetales nativas seleccionadas.

Espece	Nombre común	Rango Altitudinal (msnm)	Región	Uso
<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	1000 - 4000	Andina (Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Sucumbíos, Tungurahua)	Reforestación, propiedades benéficas al suelo
<i>Dalea coerulea</i>	Iso	1000 - 4000	Andina (Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Pichincha, Tungurahua)	Medicinal Ornamental Reforestación
<i>Mimosa quitensis</i>	Guarango	1500 - 3000	Andina (Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua)	Reforestación
<i>Rubus glaucus</i>	Mora de Quito	2000 - 3500	Andina (Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Sucumbíos, Tungurahua)	Ornamental Reforestación
<i>Urtica magellanica</i> Juss. ex Poir	Ortiga	2500 - 3000	Andina (Cañar, Pichincha)	Medicinal

Adaptado de (Oleas, Ríos-Touma, Peña Altamirano, & Bustamante, 2016); (Missouri Botanical Garden, 2019).

3.5. Diseño Experimental

Para conseguir la fase experimental, y a fin de comparar dos tratamientos se construyó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Conforme a lo

establecido por Gutiérrez Pulido y De La Vara Salazar (2008), cuando el objetivo es comparar ciertos tratamientos o estudiar el efecto de un factor, es deseable que las posibles diferencias se deban principalmente al factor de interés y no a otros factores que no se controlan o nulifican la comparación; razón por la que en un diseño en bloques completos al azar se consideran tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloque y el error aleatorio. Se espera que cada medición sea el resultado del efecto del tratamiento, del efecto al bloque que pertenece o de cierto error que se espera que sea aleatorio. El modelo estadístico para este diseño está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde: Y_{ij} corresponde a la medición del tratamiento i y al bloque j , μ es la media global poblacional, τ_i es el efecto debido al tratamiento i , γ_j es el efecto debido al bloque j y, ε_{ij} equivale al error aleatorio.

Se realizó la exposición a cinco especies vegetales, con ocho réplicas de cada una y, a dos concentraciones de ozono troposférico. El arreglo de datos para el diseño propuesto se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3.

Diseño de bloques completamente aleatorio propuesto.

Tratamiento	Bloques				
	Spp1	Spp2	Spp3	Spp4	Spp5
T ₀	Y ₀₁	Y ₀₂	Y ₀₃	Y ₀₄	Y ₀₅
T ₁	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	Y ₄₁	Y ₅₁

Tabla 4.

Codificación para especies vegetales nativas empleadas.

Código	Especie vegetal nativa
Spp1	Chilca (<i>Baccharis latifolia</i>)

Spp ₂	Iso (<i>Dalea coerulea</i>)
Spp ₃	Guarango (<i>Mimosa quitensis</i>)
Spp ₄	Mora de Quito (<i>Rubus glaucus</i>)
Spp ₅	Ortiga (<i>Urtica magellanica</i> Juss. ex Poir)

Tabla 5.

Codificación para concentraciones de O₃ empleadas.

Código	Concentración de Ozono
T ₀	Tratamiento Blanco - 0 µg/m ³
T ₁	100 µg/m ³

Para el presente trabajo de titulación, se han definido las siguientes variables experimentales:

- Variables dependientes: Cambios morfológicos y químicos en las especies nativas arbustivas expuestas.
- Variables independientes: Concentración de ozono y número de especies nativas arbustivas.
- Variables de ruido: Radiación solar y condiciones climáticas.

La concentración de ozono fue basada en el promedio máximo octohorario de 100 µg/m³, estipulado en la Reforma del 12 de abril de 2019, del Anexo 4 del LIBRO VI del TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (Decreto Ejecutivo 3516, 2019).

Asimismo, se han planteado las siguientes hipótesis a probar:

- H_0 : El ozono no influye en los cambios morfológicos y químicos de las especies arbustivas seleccionadas.
- H_A : El ozono si influye en los cambios morfológicos y químicos de las especies arbustivas seleccionadas.

3.6. Diseño y construcción de invernaderos

Cada especie vegetal ocupó macetas pequeñas, con alto de 15 cm y diámetro de 14 cm, esta fue la base para definir el volumen del invernadero o cámara, el cual fue de 1,6 m³, con dimensiones de 1,5 metros de largo, 1 metro de ancho y 90 centímetros de alto para la estructura rectangular, y definiendo las cerchas con dos lados de 60 centímetros y 1 metro de base (Figura 8). Para 40 plantas se planteó un invernadero, modelo dos caídas o capilla, con el fin de facilitar el ingreso del aire por las cerchas posteriores optimizando la eficiencia de los ventiladores (FAO, 2012).

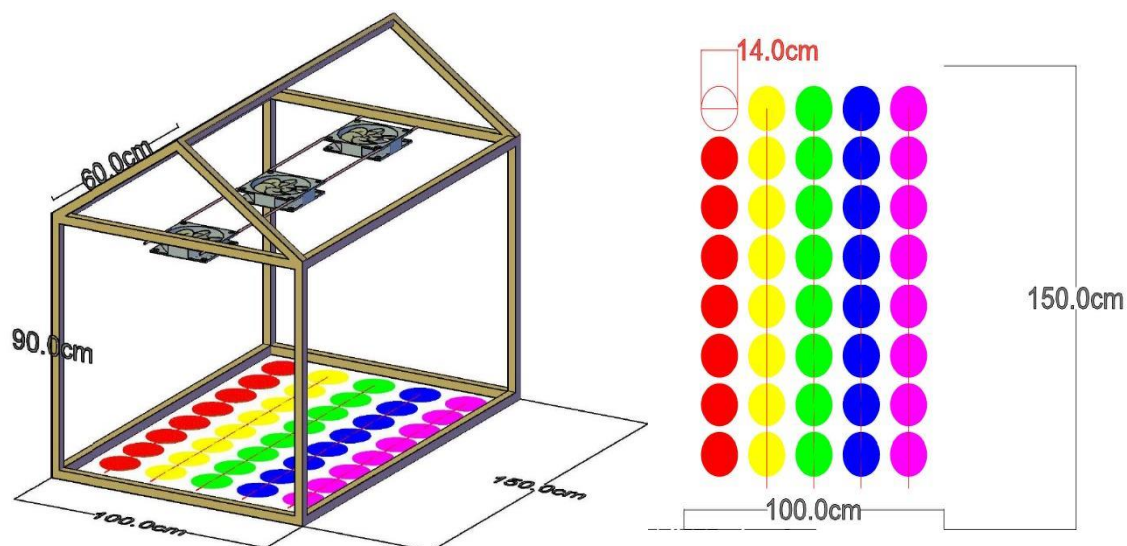


Figura 8. Dimensiones de invernaderos.

La construcción de la infraestructura se realizó mediante cortes de madera de 3 cm por 3 cm, unidos mediante tornillos y cemento de contacto (López, et al., 2015). Se cubrió todas las caras, a excepción de la cercha posterior, con polietileno de baja densidad, material comúnmente usado en la agricultura por su bajo costo y fácil adaptación (Espí, 2012). Previendo altas temperaturas y condiciones de humedad, mediante ventilación forzada (Zabeltitz, 2002), con 3 ventiladores marca SUNON de 115 voltios, funcionando 24 horas - 7 días a la semana. La implementación de ventilación forzada también permite contribuir en la homogenización y distribución del gas en el microclima, como sugiere Terán

(2018), para una mayor difusión del gas se debe instalar más ventiladores de 110 voltios. Para obtener las condiciones del testigo, se empleó filtros de carbón activo esperando reducir la concentración de gas ozono infiltrado por el ingreso del aire (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013); estos se ubicaron en ambas cerchas del invernadero y en pequeños almácigos (Figura 9).

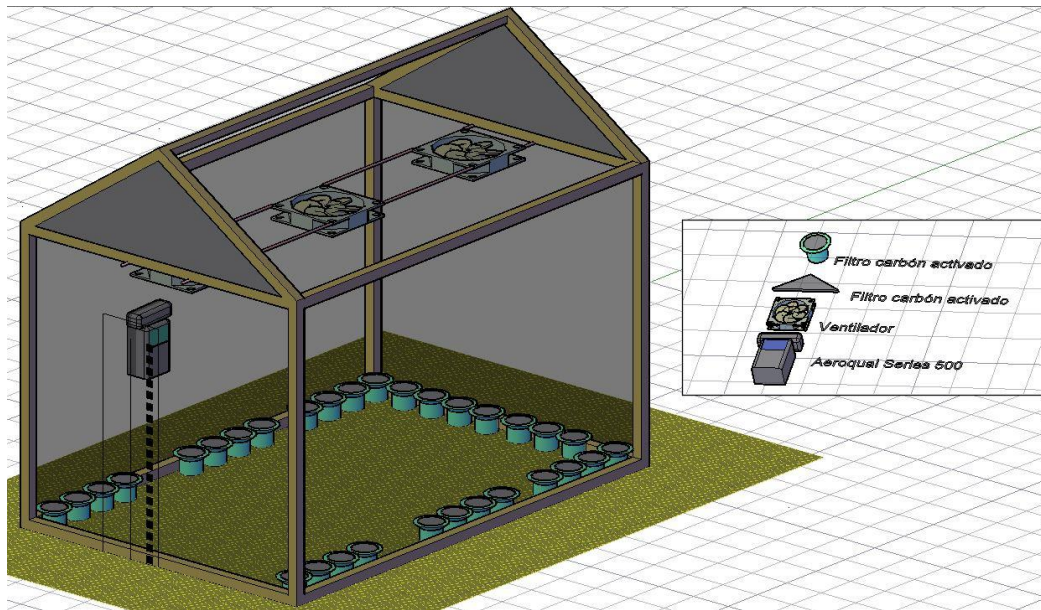


Figura 9. Diseño para cámara testigo.

La cámara sujeta al primer tratamiento contó con el equipo Mini Ozone Generator B50, como generador de ozono; mientras que, el equipo Aeroqual Series 500 monitoreaba las concentraciones de ozono, temperatura y humedad relativa (Figura 10). Es importante mencionar que ambas cámaras contaron con el monitor, en diferentes periodos.

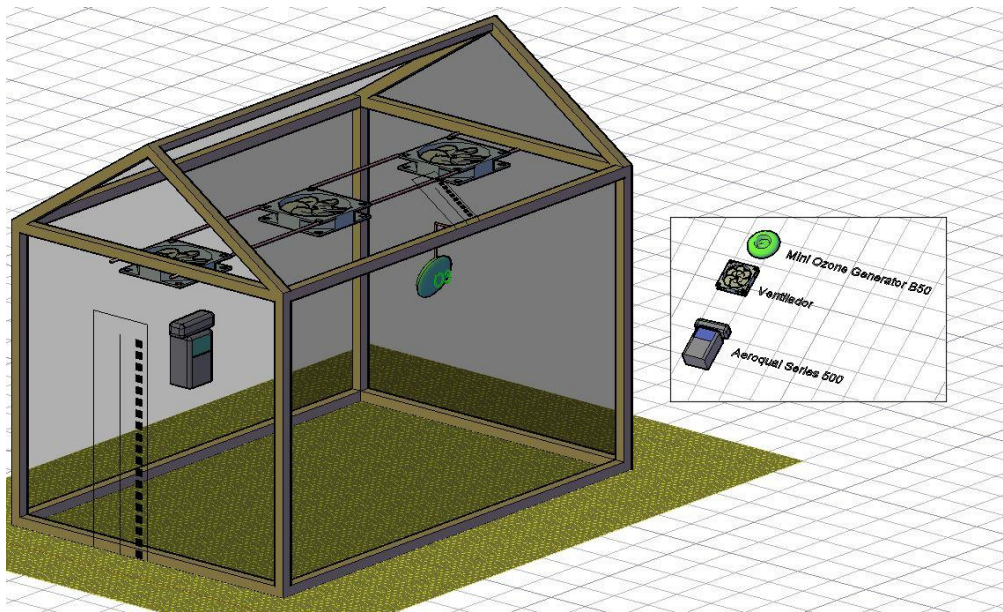


Figura 10. Diseño de cámara de Tratamiento 1.



Figura 11. Invernaderos T_0 y T_1 .

3.7. Control de Microcosmos

Previo a la experimentación con los sujetos de muestra, se llevó a cabo procedimientos para poder controlar las concentraciones de ozono deseadas, según el diseño experimental.

3.7.1. Localización del Monitor

El ozono es un gas incoloro con un distintivo olor y 1,6 veces más pesado que el aire (Health and Safety Executive, 2014); se caracteriza por ser altamente inestable y reactivo en superficies orgánicas, tales como: paredes, suelo, partículas de polvo, tejidos animales, vegetales y plástico. Por esto, Aeroqual (2018), recomienda situar el monitor portable a una altura de 40 centímetros del suelo, cerca de zonas con mayor incidencia a fugas y que no obstruyan la circulación de aire a la entrada del sensor.

3.7.2. Cámara Testigo

En la cámara testigo, se monitoreó la concentración de ozono en 54 horas durante 3 días, conociendo la efectividad del carbón activado para la absorción del gas, en contraste a los datos recopilados por la estación REMMAQ-LCH (Ecuación 11)

$$\%Remoción = \frac{\sum \left[\frac{(O_3 \text{ REMMAQ-LCH} - O_3 \text{ Aeroqual}) * 100}{O_3 \text{ REMMAQ-LCH}} \right]}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

3.7.3. Cámara de Exposición

En paralelo, en la cámara de exposición a ozono, el monitoreo fue realizado durante 24 horas, midiendo la concentración de ozono existente dentro de la cámara. Luego, se inició el procedimiento de dosificación.

3.7.3.1. Generación de Ozono

La operación del equipo Mini Ozone Generator B50, comienza con el paso de aire través de su toma de ingreso y el recorrido por campos eléctricos dieléctricos

en corona, donde el oxígeno es separado en moléculas; estas buscan estabilidad por lo que tienden a unirse y formar gas ozono (Airthereal, 2019; Potinga, 2014). El rango de dosificación diseñado en el equipo puede ir de 10 - 50 mg/h, este puede ser regulado.

Inicialmente, se estimó el tiempo necesario para la dosificación deseada, en base a un flujo de 10 mg/h y el volumen del invernadero (Ecuación 12). Considerando el tiempo de vida media del ozono en el aire, en 3 días a una temperatura de 20 grados Celsius (LENNETCH, 2019).

$$t = \frac{V * C}{F} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

t = Tiempo (s)

V = Volumen (m³)

C = Concentración deseada ($\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$)

F = Flujo ($\frac{\mu\text{g}}{\text{s}}$)

Sin embargo, durante la dosificación se observó un decaimiento de la concentración del O₃ en minutos. Por esta razón, se optó por una dosificación continua y controlada en tiempo real.

3.8. Experimentación

Después de la validación de los equipos y con condiciones óptimas dentro del invernaderos, se procedió a la fase experimental con los sujetos de muestra, en un periodo de 30 días.

3.8.1. Dosificación y monitoreo de Ozono

Dentro de la cámara de exposición, durante 8 horas diarias se mantuvo un promedio aproximado de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono, mediante una dosificación continua y controlada.

El equipo Aeroqual Series 500 fue programado para monitorear la concentración de ozono, temperatura y humedad relativa, con intervalos de 1 minuto, descargando la información en el software AEROQUAL S500 V6.5®, en tiempo real.

3.8.2. Parámetros físicos y químicos

Los siguientes parámetros fueron medidos pre y post experimentación, para cada repetición de especie vegetal. Morfológicos, en base a la altura de planta, número de hojas, determinación microscópica. Químicos, como el contenido de ácido de ascórbico y el índice de contenido de clorofila.

3.8.2.1. Morfológicos

3.8.2.1.1. Altura de planta

Mediante una cinta métrica se tomó la medida de longitud desde el nivel del suelo hasta el punto más alto del tallo sin contar el brote (Barrera, Suárez, & Melgarejo, 2004).

3.8.2.1.2. Número de hojas

Se contó la cantidad de hojas que no presentan manchas o ennegrecimiento, y aquellas que sí, permitiendo determinar el porcentaje de afección por planta. El cálculo se llevó a cabo con la ecuación impartida por Rawson & Gómez (2001).

$$\% \text{afección} = \frac{\# \text{hojas con manchas} * 100}{\# \text{total de hojas}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

3.8.2.1.3. Determinación Microscópica

Contando con una muestra foliar por especie vegetal, se cortó pequeñas secciones transversales, evitando daños en las nervaduras, utilizando un estilete y un trozo de zanahoria como base (Figura 12). Fueron colocadas en un portaobjeto, donde se tinturó la muestra con gotas de azul de metileno al 5% y se colocó un cubreobjetos (Metusala, 2017).



Figura 12. Corte transversal.

A través del microscopio CX-41 Olympus y con lente amplificador 10X se observaron las muestras tinturadas, las fotografías fueron capturadas por la cámara integrada al equipo, y analizadas mediante el método de cuadrícula, dividiendo el área de la imagen en partes iguales y calculando el porcentaje de ANM (afección a nivel microscopio) con la ecuación 14.

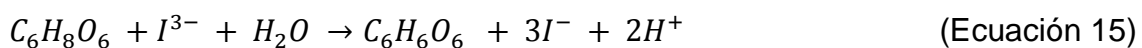
$$ANM = \frac{\# \text{partes afectadas}}{\# \text{total de partes}} * 100 \quad (\text{Ecuación 14})$$

3.8.2.2. Químicos

3.8.2.2.1. Ácido Ascórbico

Por la facilidad de acceso de materiales, reactivos e instrumentos, se optó por realizar la cuantificación de ácido ascórbico mediante titulación de yodo, con la metodología de Helmenstine (2017).

Un complejo triyoduro tiene la capacidad de oxidar vitamina C en ácido dehidroascorbico (Ecuación 15). Cuando la oxidación se ha completado, el yodo y triyoduro presente reacciona con la solución indicadora, cambiando a un color azul - negro (Mohammed, 2016).



La solución indicadora (Figura 13), se preparó diluyendo 1 gramo de almidón de papa en 100 mililitros de agua destilada caliente.



Figura 13. Solución indicadora de almidón.

Para la solución titulante, se disolvieron 5 gramos de KI y 0,268 gramos de KIO_3 en 200 mililitros de agua destilada, añadiendo 30 mililitros de H_2SO_4 a 3M. Diluyendo finalmente la solución al 46 % con agua destilada (Figura 14).



Figura 14. Solución titulante de yodo.

Recolectando hojas de todas las plantas, se formó una muestra foliar de 1 gramo por especie vegetal. La obtención del zumo se logró licuando la muestra con 50 mililitros de agua destilada, luego se filtró con una bomba de vacío y, por último, se diluyó al 10% con agua destilada (Figura 15).



Figura 15. Muestras foliares y zumos obtenidos.

Como base para el cálculo, la solución estándar se formó con 25 miligramos de ácido ascórbico y 250 mililitros de agua destilada, diluyendo el resultado al 10 % (Ecuación 16).

$$\frac{Sln\ Ie}{AAe} = \frac{Sln\ Im}{AAm} \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde:

Sln Ie = Solución indicadora utilizada en solución estándar (ml)

AAe = Ácido ascórbico en solución estándar (gr)

Sln Im = Solución indicadora utilizada en zumo (ml)

AAm = Ácido ascórbico en zumo (gr)

Se titularon muestras formadas por 10 mililitros del zumo, 0,25 mililitros de la solución indicadora y 0,15 mililitros de agua destilada (Figura 16).



Figura 16. Titulación de ácido ascórbico.

El mismo procedimiento se realizó con la solución estándar, donde se necesitó 1 mililitro de la solución indicadora para titular 0,01 gramos de ácido ascórbico (Ecuación 17).

$$AA\ m = \frac{Sln\ Im * 0,01}{1} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

Sln Im = Solución indicadora utilizada en zumo (ml)

AAm = Ácido ascórbico en zumo (gr)

Para la concentración:

$$C = \frac{AAm}{Vm} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

C = Concentración de ácido ascórbico $\left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)$

Vm = Volumen de zumo (ml)

AAm = Ácido ascórbico en zumo (gr)

3.8.2.2.2. Clorofila

El equipo CCM-220 Plus emplea la absorbancia óptica en distintas longitudes de onda (653 nm y 931 nm) para estimar el contenido de clorofila en el tejido foliar a muestrear; el valor obtenido es representado en CCI, o Índice del Contenido de Clorofila (OPTI-SCIENCES, 2019). Se determinó el CCI de todas las especies vegetales realizando mediciones de cada planta, y promediando estos valores.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Aire Ambiente

Los datos recopilados entre los días 26 y 27 de febrero, son presentados en media horaria.

4.1.1. Ozono

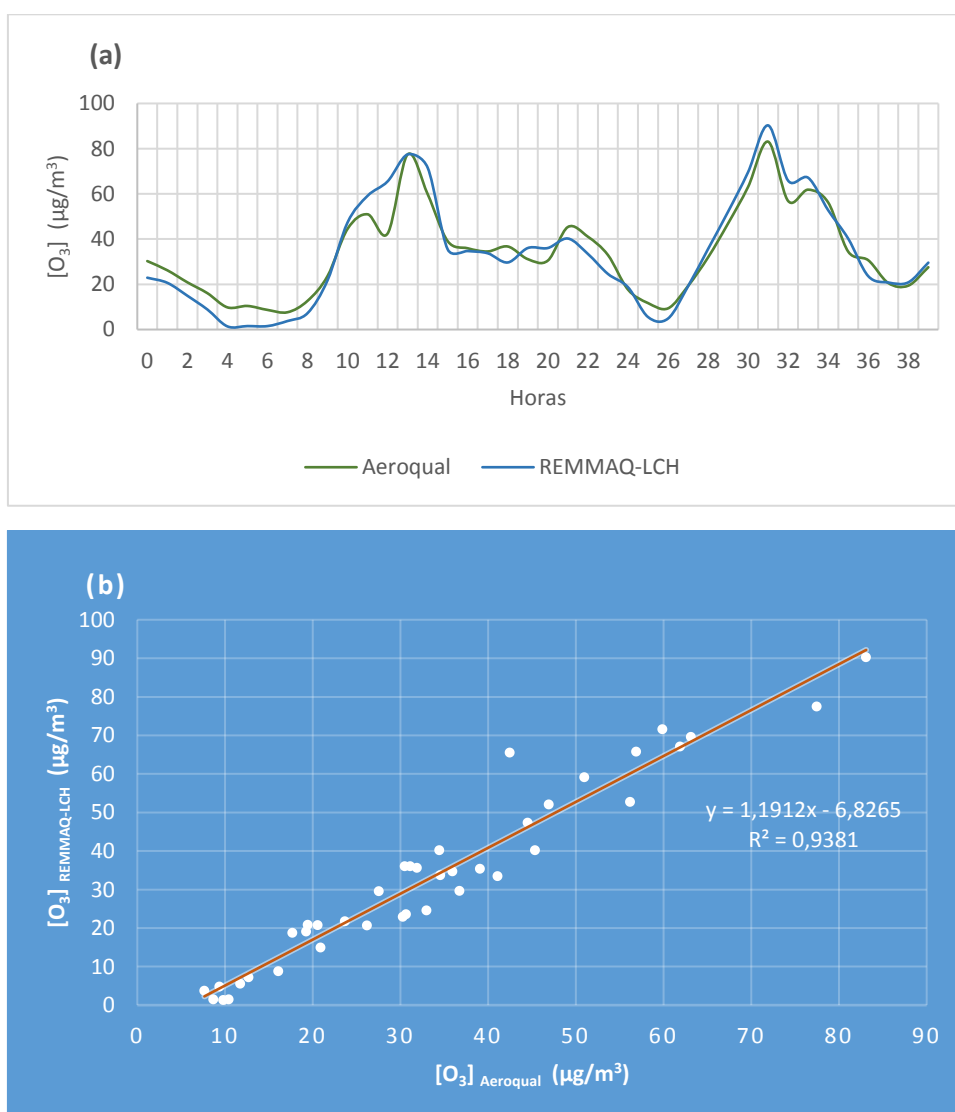


Figura 17. (a) Serie temporal, y (b) Gráfico de dispersión, de promedios horarios $[O_3]$, medidos por el monitor Aeroqual y estación REMMAQ-LCH, entre los días 26 de febrero y 27 de febrero del 2019.

Las 40 horas del monitoreo corresponden al periodo de 00:00 a 18:00 horas del 26 de febrero, y de 00:00 a 20:00 horas del 27 de febrero, a 13:00 horas del primer intervalo ambos equipos de medición presentan concentraciones máximas de ozono iguales a $77,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que en el día 27 de febrero a las 12 horas, se observan concentraciones máximas de, $83,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $90,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes al monitor Aeroqual y estación REMMAQ-LCH; esto observable en la serie temporal, en Figura 17.

En la misma figura, el gráfico de dispersión muestra alta correlación ($R^2=0,938$), entre la serie de datos monitoreados por ambos equipos. Esto es corroborado por Lin, et al., (2015); su estudio contrasta la evaluación de sensores de gas ozono y dióxido de nitrógeno del monitor Aeroqual series 500 frente a la estación de monitoreo de calidad del aire Edinburgh St. Leonard; concluyendo que, sus mediciones altamente similares en la concentración de ozono se debieron por la correlación de valor $R^2 = 0,91$, entre las tecnologías Gas Sensitive Semiconductor y absorción de luz ultravioleta.

4.1.2. Temperatura

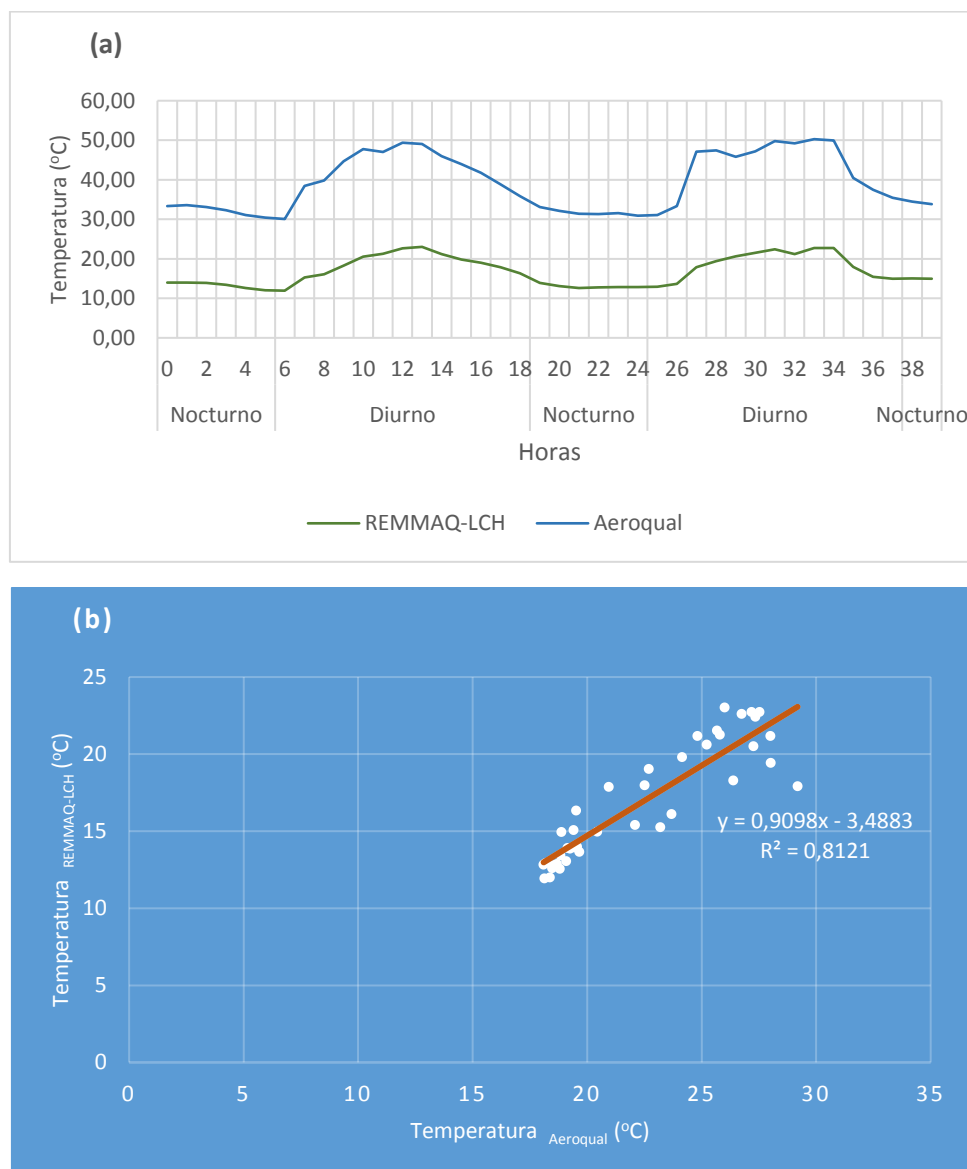


Figura 18. (a) Serie temporal, y (b) Gráfico de dispersión, de promedios horarios de la temperatura, medidos por el monitor Aeroqual y estación REMMAQ-LCH, entre los días 26 de febrero y 27 de febrero del 2019.

La serie temporal, en Figura 18, permite observar una diferencia constante de temperaturas, sin coincidir en ninguna de ellas durante el período de monitoreo. Sin embargo, por la gráfica de dispersión, el valor de correlación es alto, validando el sensor de temperatura.

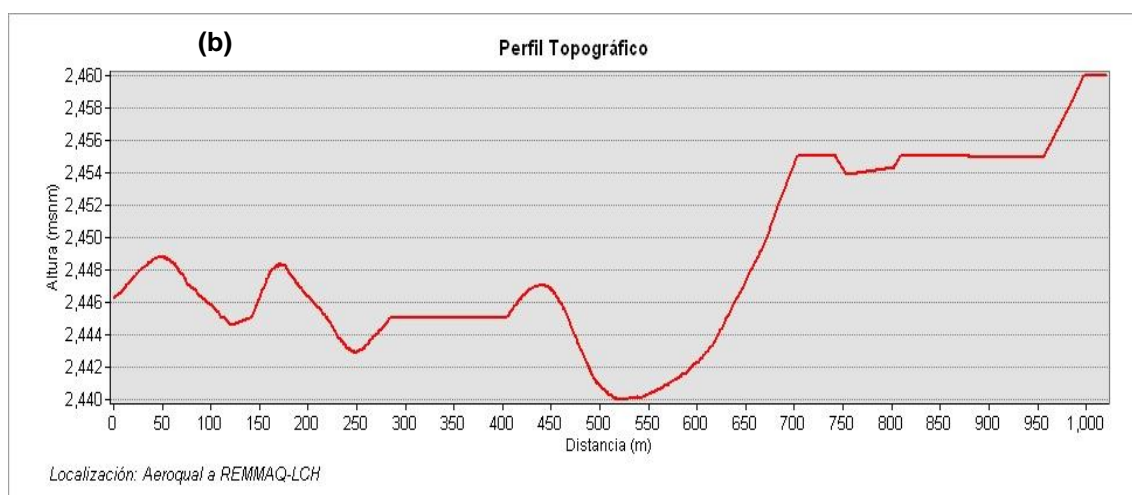
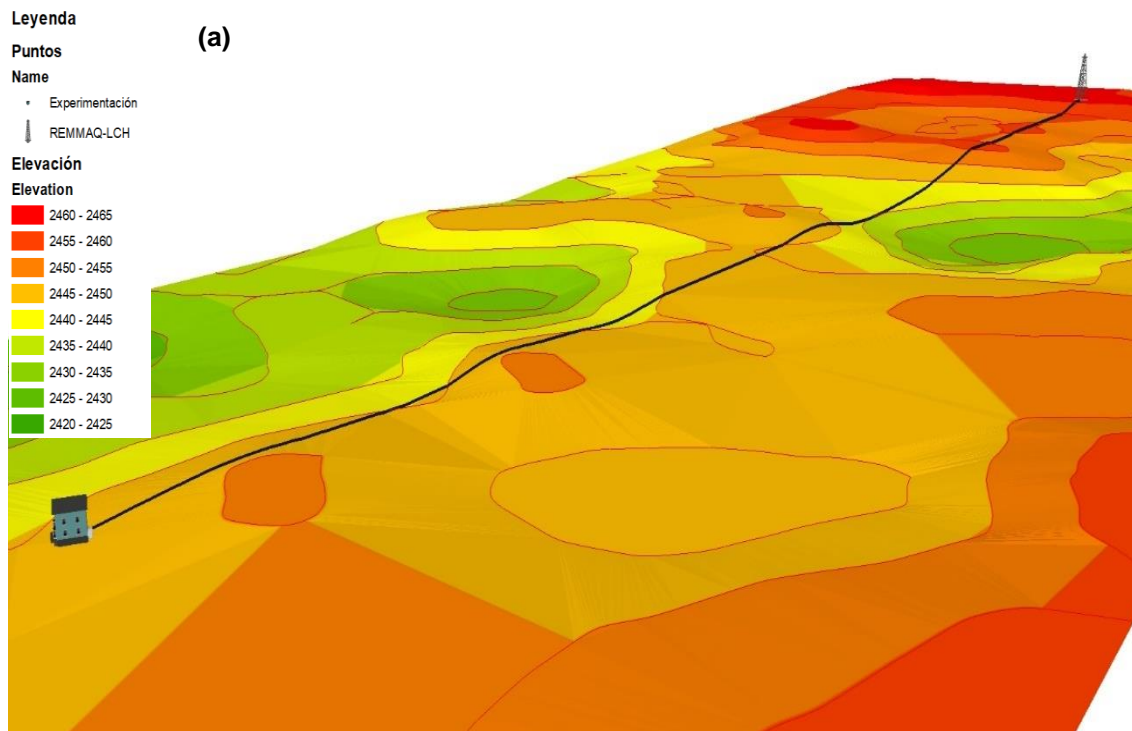


Figura 19. (a) Topografía, y (b) Perfil topográfico, distancia de sitio experimental a estación REMMAQ-LCH.

Como se observa en Figura 19, el sitio experimental se encuentra a 2.446 msnm, mientras que la estación de monitoreo atmosférico a 2.460 msnm, la diferencia de alturas es igual a 14 metros, dando a entender que la temperatura baja en el sitio más alto (REMMAQ-LCH), podría ser la causa de la proporcionalidad inversa de, *mayor altitud - menor temperatura* (University Corporation For Atmospheric Research - UCAR, 2019). Sin embargo, esto no justifica el cambio

de temperatura; en Ecuador el gradiente térmico troposférico determina un descenso de 5 °C por cada 1.000 metros de ascenso altitudinal (Organización de los Estados Americanos - OEA, 1994).

La varianza de temperatura puede ser por la localización del sensor de temperatura y el monitor Aeroqual sobre la cubierta plástica de las cámaras (Figura 20). Ya que, en los microcosmos de las cámaras se genera el efecto de invernadero. Los rayos solares pasan libremente por el plástico, calentando la superficie del suelo, emitiendo calor. El aire cercano al suelo aumenta su temperatura, el empieza a subir, produciendo un efecto de convección con el aire frío, el cual queda estancado hasta calentarse, representando un proceso cíclico (Austrialian Government, 2019)



Figura 20. Ubicación de Aeroqual Series 500 para monitoreo de aire ambiente.

4.1.3. Humedad Relativa

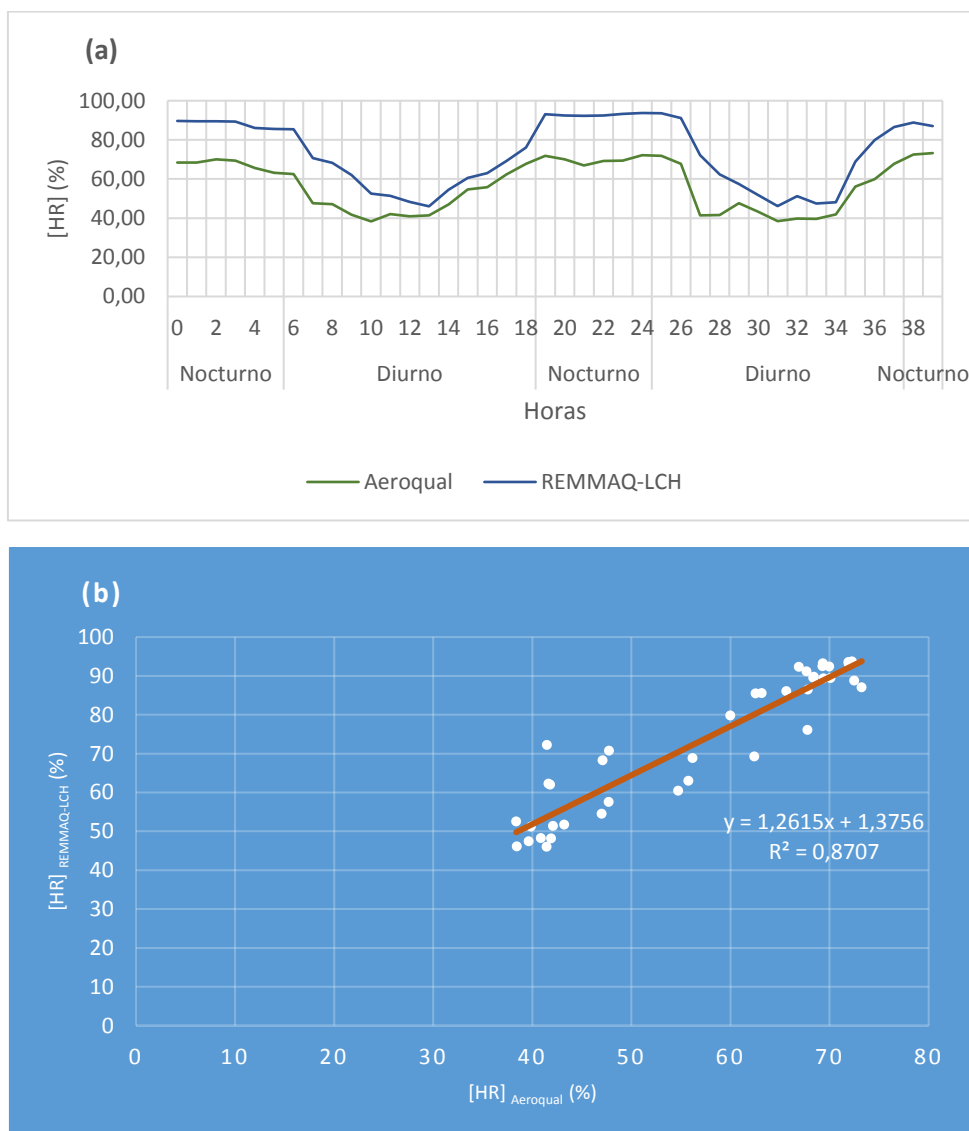


Figura 21. (a) Serie temporal, y (b) Gráfico de dispersión, de promedios horarios [HR], medidos por el monitor Aeroqual y estación REMMAQ-LCH, entre los días 26 de febrero y 27 de febrero del 2019.

La serie temporal, en Figura 21, se observa mayor exposición de este parámetro en estación REMMAQ-LCH, con 91% a 93% durante 5 horas consecutivas. La presencia de humedades altas se debe al monitoreo realizado durante la época del año con mayor incidencia a precipitaciones en Ecuador (Cazarola & Juncosa, 2015).

Ambos equipos, siguiendo el mismo patrón, presentan valores altos durante el período nocturno, horario donde las temperaturas tienden a ser las más bajas (Figura 18). También, en la noche la diferencia entre humedades monitoreadas es mayor, a diferencia del día.

Al igual que la concentración de ozono y temperatura; el gráfico de dispersión entre humedades relativas presenta un valor de alta correlación de, $R^2 = 0,87$.

4.2. Control de microcosmos

4.2.1. Cámara Testigo

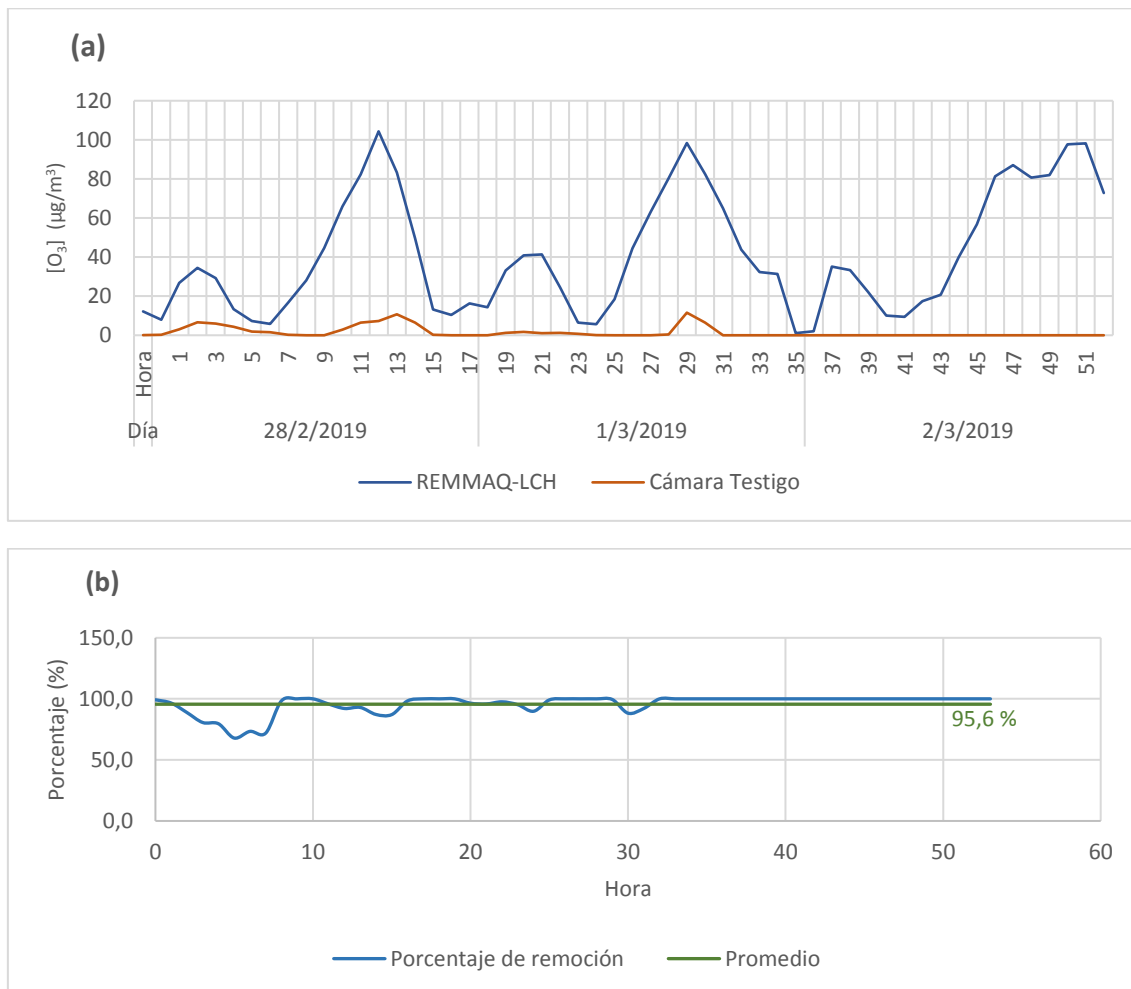


Figura 22. (a) Serie temporal, de promedio horarios $[O_3]$, y (b) Serie temporal, de disminución porcentual $[O_3]$, medidos en cámara testigo y estación REMMAQ-LCH, desde los días 28 de febrero hasta 2 de marzo del 2019.

Los promedios horarios de concentraciones de ozono, medidos por REMMAQ-LCH, indican valores muy cercanos y que superan al límite máximo permisible. Los días 28 de febrero y 1 de marzo, durante las 12 primeras horas transcurridas, presentan concentraciones de ozono, iguales a $104,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $98,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Simultáneamente, en cámara testigo se observa

concentraciones de $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que, el día 2 de marzo la concentración es nula y constante. Resaltando una gran diferencia de valores en condición de aire ambiente y cámara testigo. Representado también, en la serie temporal, de disminución porcentual $[\text{O}_3]$, donde la remoción de ozono en promedio es del 95,6% (Figura 22).

Esto muestra una óptima eficiencia del carbón activo para obtener condiciones nulas y bajas de gas ozono. Como lo recomienda el Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo, (2013), en las notas técnicas de prevención para la calidad de aire interior, a través del uso de filtros de carbón activo en las fotocopiadoras para disminuir en un 90% la emisión de ozono. Esto puede variar, dependiendo a los agentes presentes o añadidos para la mezcla de filtros a base de carbono y sus propiedades para descomponer al ozono (Takeuchi & Toshiki, 1993).

4.2.2. Cámara de exposición

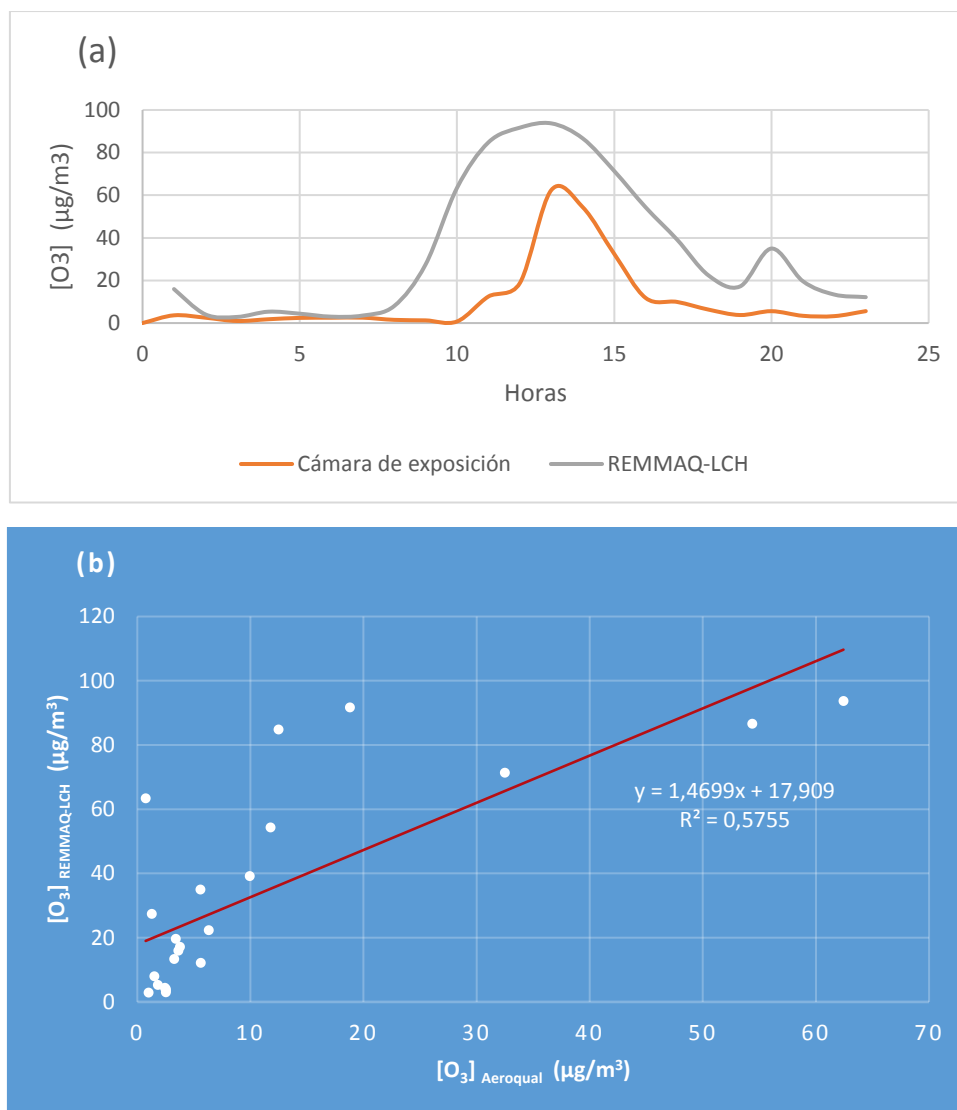


Figura 23. (a) Serie temporal, y (b) gráfico de dispersión, de promedios horarios [O₃], medidos en cámara de exposición y estación REMMAQ-LCH, el día 3 de marzo de 2019.

Ambas series temporales muestran concentraciones de ozono bajas durante la noche, en el aire ambiente, a partir de las 6:00 horas el ozono tiende a incrementar, llegando al valor máximo reportado a las 13:00 horas, posteriormente comienza su descenso (Figura 23).

Esta anomalía es común en los invernaderos, especialmente aquellos sin cubierta superior. Debido al rápido intercambio de aire, las condiciones ambientales internas suelen ser similares, mas no idénticas a las externas (Colls, Weigel, & Geissler, 1993). Altas velocidades del viento y bruscas turbulencias son factores que alteran la concentración de ozono dentro de los invernaderos, usualmente con valores superiores a los del ambiente exterior (Pleijel et al., 1994; Palomäki, et al., 1998). Esto puede explicar la moderada relación ($R^2 = 0,575$) entre los valores $[O_3]$ de cámara de exposición y aire ambiente, expresados en el gráfico de dispersión de la figura mencionada previamente.

4.2.2.1. Generación de ozono

Se estimó el tiempo necesario para generar ozono a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en base a la concentración inicial de cada prueba. Aquellas cuya presencia de ozono, al comienzo es nula, requieren 54 segundos para alcanzar el valor máximo permisible, por otro lado, si existe ozono remanente, los tiempos varían entre 41,05 y 46,84 segundos (Tabla 6).

Tabla 6.

Tiempos para generar ozono a una concentración conocida.

Prueba Código	Concentración $[O_3]$ deseada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de generación Segundos
1	100	46,84
2	100	41,05
3	100	54
4	100	54
5	100	54

Sin embargo, los tiempos calculados son irregulares ante el tiempo empleado durante los ensayos (Figura 24) se diferencian entre minutos, mas no segundos como están estipulados en la tabla anterior.

La misma figura indica varios decaimientos del ozono. En las pruebas 1 y 2, con condiciones de ventilación forzada y natural (cercha posterior abierta), presentan 12 minutos de disminución continua. Por otro lado, en ensayos cuyo microclima consignó únicamente de ventilación forzada, pruebas 3 y 4, el ozono decae entre 8 y 9 minutos. Finalmente, la prueba 5, no constó de ningún tipo de ventilación, este presenta el decaimiento más largo, igual a 20 minutos.

Según LENNTECH (2019), la temperatura es un punto importante para determinar el decaimiento del ozono, siendo inversamente proporcional a la solubilidad con el aire, aumentando su inestabilidad. Hardin, et al., (2010), preformó ozonización en grano almacenado con un sistema cíclico cerrado, encontrando una constante de decaimiento de $2,97 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, calculando un tiempo de vida media de 23,4 segundos. Estudios que evalúan el comportamiento del gas en función de condiciones ambientales controladas, sugieren que, a mayor ventilación interna, humedad y temperatura, el tiempo de vida media puede disminuir hasta 39 minutos, debido a baja estabilidad y alta reactividad molecular por fuertes turbulencias (McClurkin et.al, 2013).

En el manual del equipo monitor, Aeroqual Series 500, se especifica pautas para medir el ozono, recomendando el empleo de invernaderos de vidrio o fluoro polímero, para mediciones precisas. Materiales orgánicos, plásticos, polvo y baldosas, los cuales se encuentran presentes en las cámaras del presente estudio; reaccionan rápidamente con las moléculas del gas, provocando una inmediata descomposición (Aeroqual, 2018).

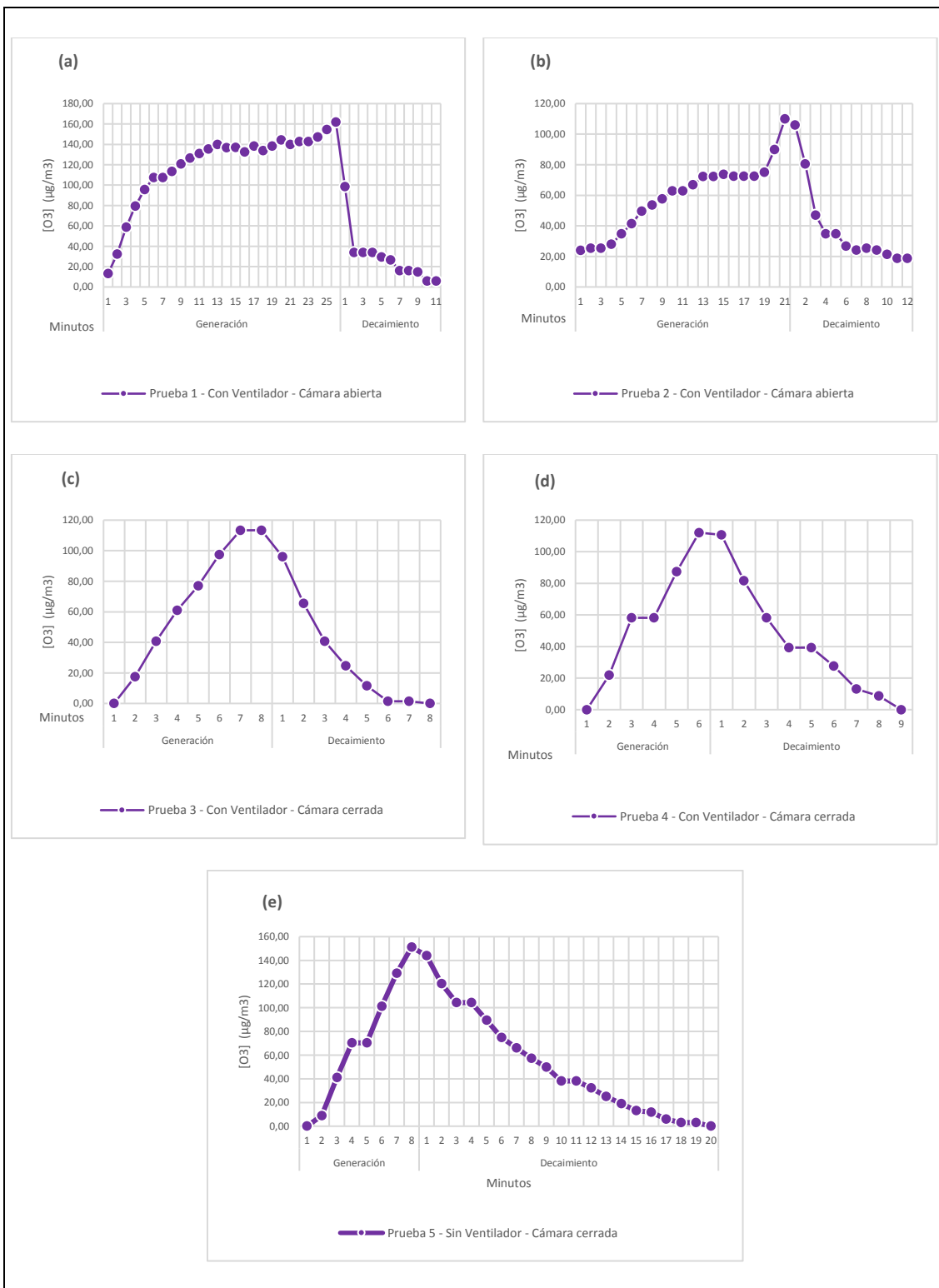


Figura 24. Pruebas generación de ozono medidos en cámara de exposición; (a) Prueba 1, y (b) Prueba 2, cámara abierta con ventilación interna; (c) Prueba 3, y (d) Prueba 4, cámara cerrada con ventilación interna; y (e) Prueba 5, cámara cerrada sin ventilación.

En vista a las irregularidades presentadas en el comportamiento del ozono dentro de la cámara de exposición, se optó por mantener una generación continua con el fin de controlar la dosificación y concentración del gas. Este método se aplicó durante la experimentación con las especies vegetales.

Figura 25, presenta una dosificación de ozono controlada durante 60 minutos, manteniendo un promedio horario $[O_3]$, igual a $100,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cumpliendo con la concentración deseada para este ensayo.

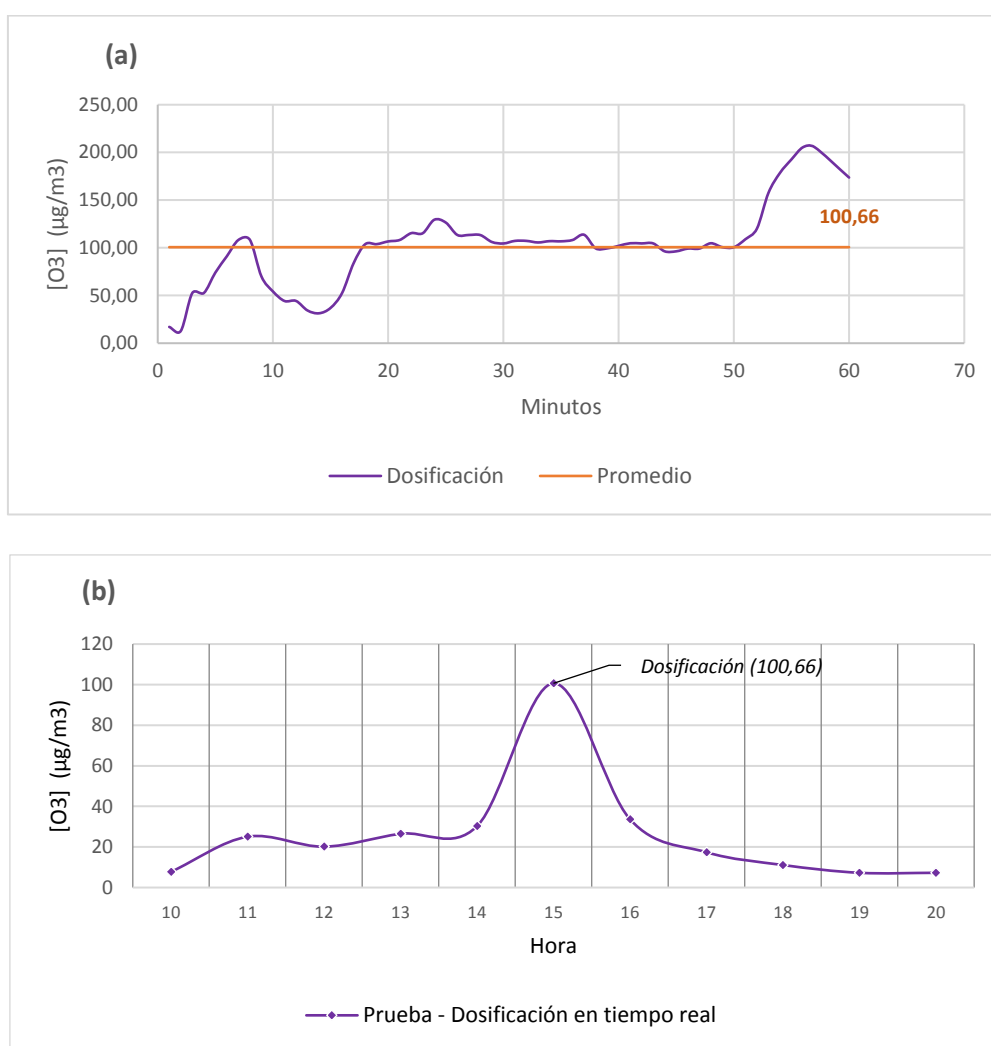


Figura 25. Prueba generación de ozono continua, (a) Serie temporal por minutos, y (b) series temporal horaria, de dosificaciones continuas $[O_3]$, medidos en cámara de exposición, el día 5 de marzo de 2019.

4.3. Experimentación

4.3.1. Dosificación de ozono

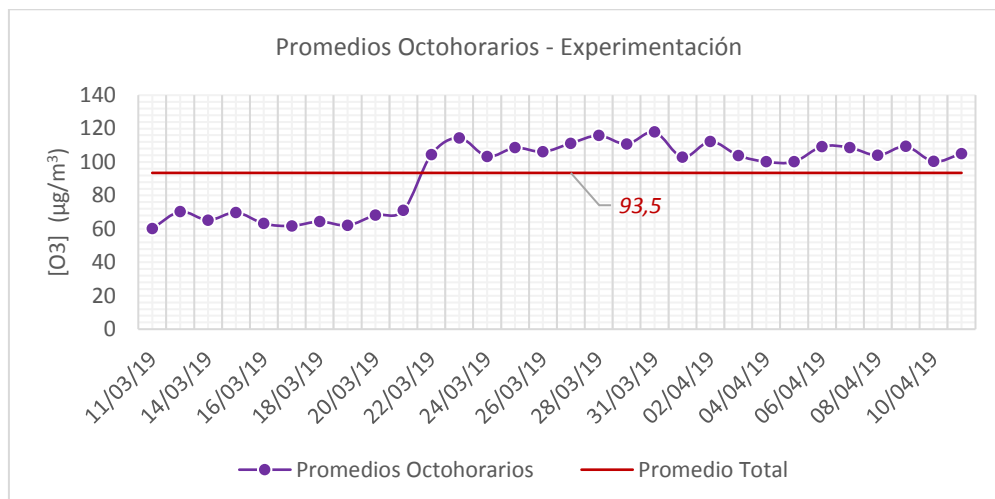


Figura 26. Serie temporal, máximos promedios octohorarios concentración de ozono por día, expuestos a especies vegetales en cámara de exposición, desde los días 11 de marzo hasta 11 de abril de 2019.

Mediante la herramienta “*Tabla en Tiempo Real*” del software AEROQUAL S500 V6.5®, se realizó el monitoreo paralelamente a la dosificación, los datos obtenidos fueron promediados en Microsoft Excel. Esto permitió controlar las concentraciones expuestas a los sujetos de muestra en la cámara de exposición, correspondientes al primer tratamiento (T_1).

La dosificación se llevó a cabo durante 30 días, desde el 11 de marzo de 2019 hasta el 11 de abril de 2019. Los primeros diez promedios octohorarios no excedieron al límite máximo permisible ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$), debido al control e inyección de ozono realizado en 4 horas diarias. Al no ser representativo, se aumentó a 8 horas. Así que, a partir del 22 de marzo, los valores promedios se mantuvieron por encima del límite permisible de ozono, reponiendo las anteriores concentraciones bajas. Durante el periodo de exposición de ozono a las especies vegetales, se logró mantener un promedio global octohorario de $93,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 26).

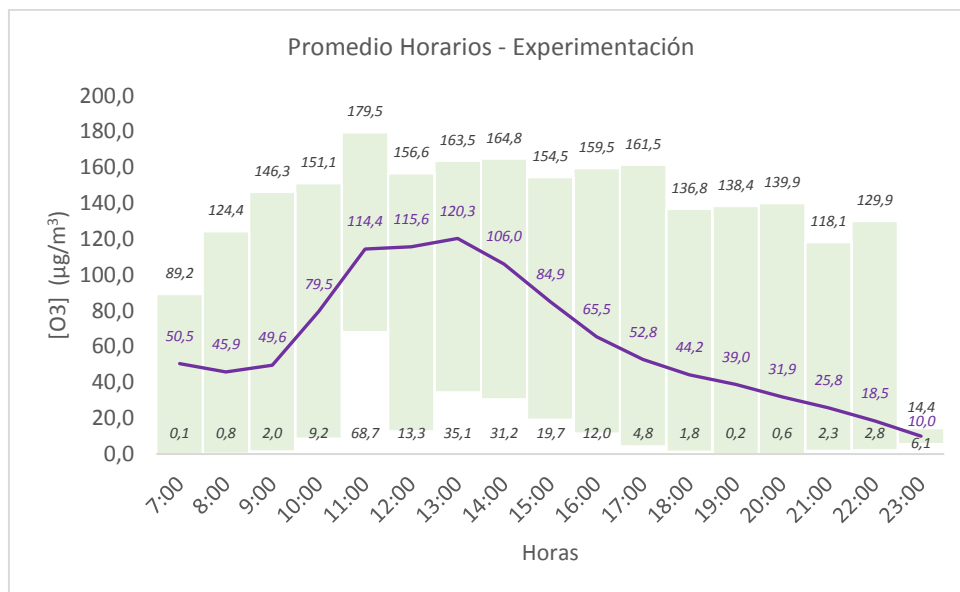


Figura 27. Serie temporal, de máximos, mínimos y medias [O₃] por hora, expuestos a especies vegetales en cámara de exposición, desde los días 11 de marzo hasta 11 de abril de 2019.

En Figura 27, se presenta la exposición de ozono del tratamiento correspondiente durante el ensayo en una serie temporal horaria, desde las 7h00 hasta las 23h00, este intervalo incluye todos los periodos de dosificación empleados, con valores mínimos, máximos y medios de [O₃]. En base al promedio horario, las concentraciones de ozono dentro del invernadero tienden a incrementar, semejante a la radiación solar (Figura 28); posiblemente a causa de la formación de ozono troposférico por reacciones químicas en el aire, entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, bajo la influencia de radiación ultravioleta (Secretaría del Ambiente, 2018); y su ingreso e interacción con el microclima del invernadero. En el aire ambiente, se observa un comportamiento muy similar entre las concentraciones de ozono monitoreadas por la estación REMMAQ-LCH (Figura 29), y las radiaciones solares emitidas durante el mismo periodo. Las concentraciones de ozono expuestas a las plantas sobrepasan al límite máximo permisible, entre las 11h00 y 14h00, concordado al tiempo donde existió mayor radiación solar, con el valor más alto registrado de concentración de ozono, 179,5 µg/m³, y el más bajo igual a 0,1 µg/m³.

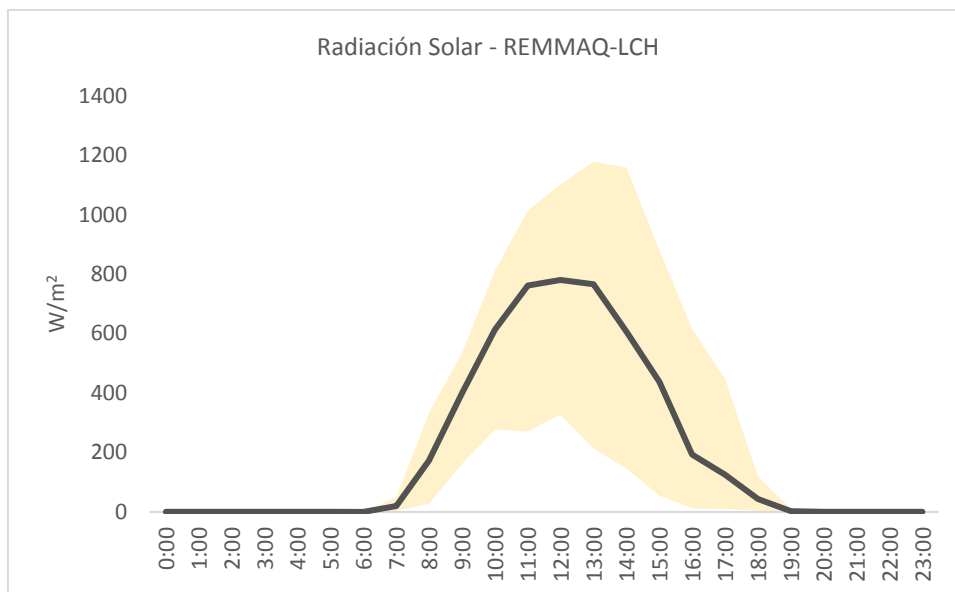


Figura 28. Serie temporal, de máximos, mínimos y medias de radiación solar (W/m^2) por hora, medidos en REMMAQ-LCH, desde los días 11 de marzo hasta 11 de abril de 2019.

Adaptado de: (Secretaria del Ambiente, 2019).

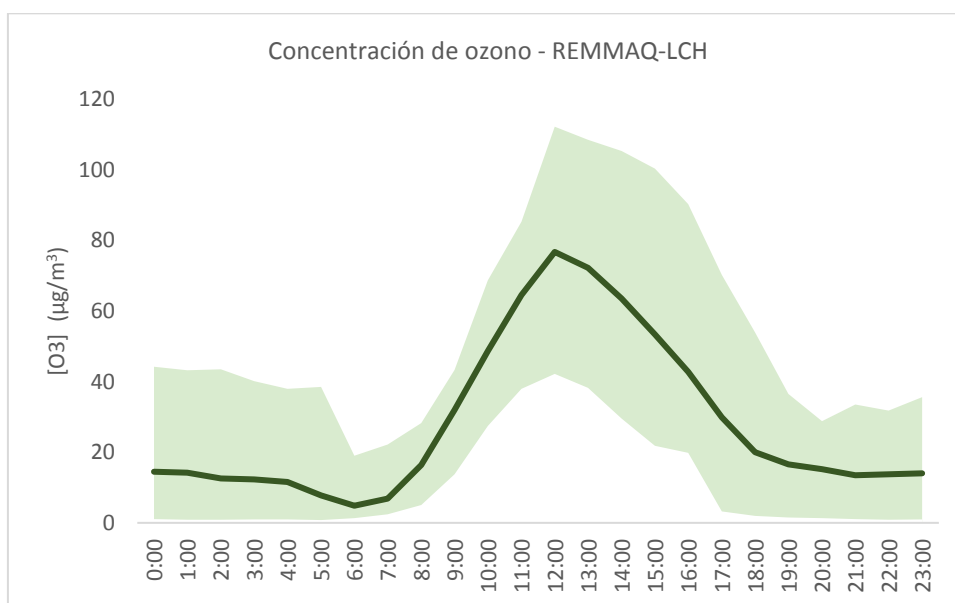


Figura 29. Serie temporal, de máximos, mínimos y medias $[\text{O}_3]$ por hora, medidos en REMMAQ-LCH, desde los días 11 de marzo hasta 11 de abril de 2019.

Adaptado de: (Secretaria del Ambiente, 2019).

4.3.2. Parámetros

Una vez recopilados los datos morfológicos y químicos en altura de la planta, se procedió a realizar un promedio general de los valores obtenidos antes y después de la experimentación, según a la especie aplicable. Se aplicó en la altura de la planta, el número y la cantidad de manchas en hojas, la concentración de ácido ascórbico y el índice de cantidad de clorofila; a excepción de la determinación microscópica. Algunas especies vegetales presentaron pérdida de hojas, por lo que se tomó en cuenta este factor como un nuevo parámetro de análisis. Con el fin de facilitar el análisis, los valores previos y posteriores a la experimentación de todos los parámetros fueron procesados para presentar el incremento o disminución por varianza porcentual mediante gráficos de columnas, y exponerlos también con el análisis de varianza por un diseño de bloques completamente aleatorio (Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar, 2008). A continuación, se procederá a describir los resultados obtenidos, utilizando los nombres comunes correspondientes para cada especie vegetal.

4.3.2.1. Morfológicos

4.3.2.1.1. Altura

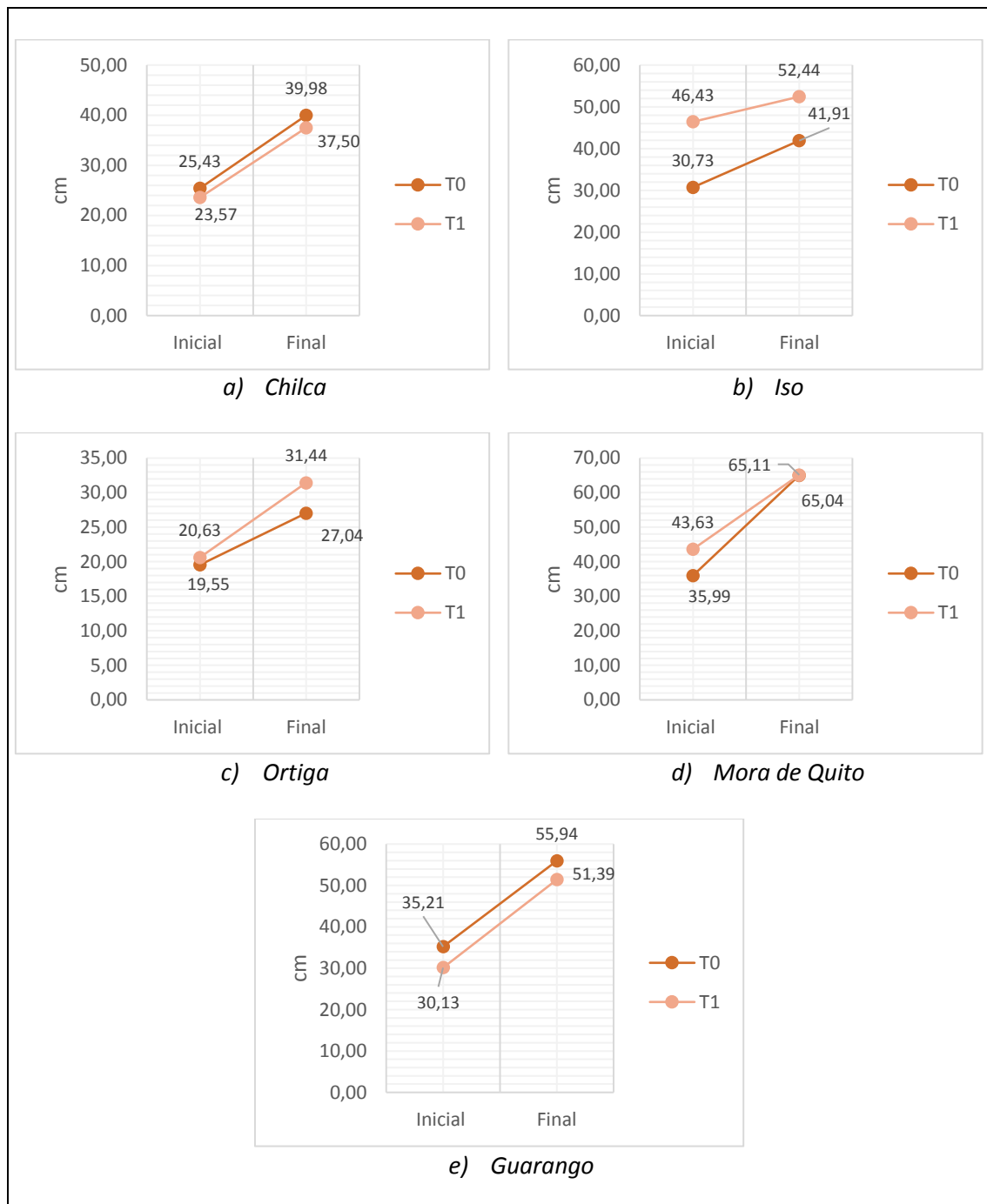


Figura 30. Serie de alturas promedios, previas y posteriores a la experimentación de especies vegetales sujetas a T₀ y T₁.

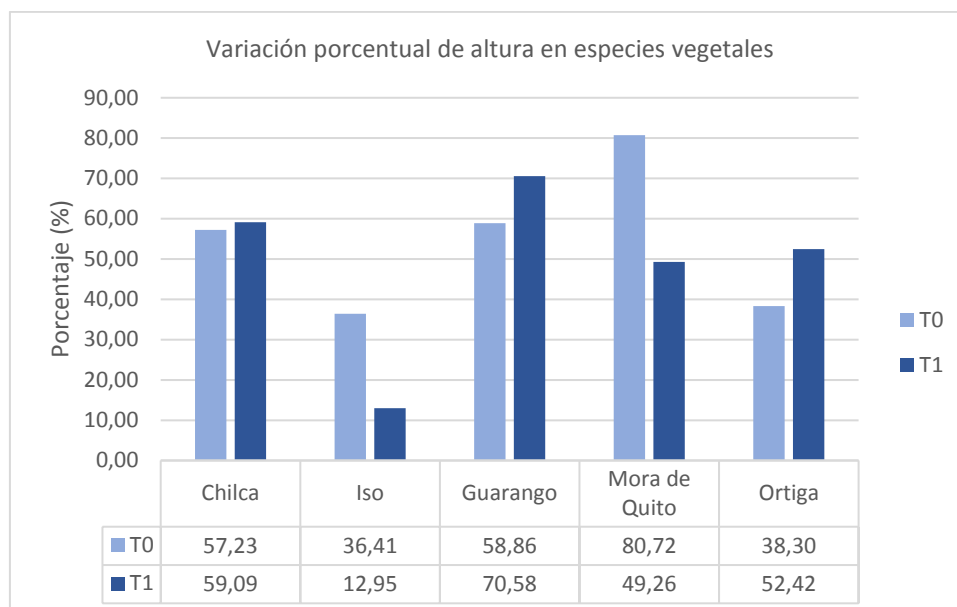


Figura 31. Variación porcentual, altura de planta en tratamiento testigo (T_0) y de exposición a $[O_3]$ (T_1).

Como se puede observar en Figura 30, todas las plantas tienden a crecer en diferentes ritmos, sin embargo, no presentan estancamientos. La especie vegetal Chilca muestra alturas promediadas, al inicio y final, muy similares en ambos ensayos, al igual que Guarango, el desarrollo es casi paralelo. En Figura 31, se puede apreciar que el tratamiento con condiciones nulas de ozono (T_0) presenta porcentajes de crecimiento, iguales a 57,23% y 58,86% para Chilca y Guarango respectivamente, mientras que en el tratamiento de exposición de ozono en altas concentraciones los valores son de 59,09% y 70,58%. También se observa valores mayores en el Tratamiento 1, en comparación al testigo, así mismo esta característica se encuentra en Ortiga, siendo la más representativa, donde hay un 52,42% crecimiento en T_1 y 38,30% en T_0 .

Por otro lado, Mora de Quito tiene a su inicio alturas distintas; 43,63 centímetros en T_1 y 35,99 centímetros en T_0 , y al finalizar la experimentación su altura en ambos tratamientos se encuentra entre los 65 cm, variando por milímetros, cumpliendo con mayor porcentaje de crecimiento el testigo, con 80,72%, siendo la especie con el mejor desarrollo de altura. Iso cumple con el mismo principio, en segundo lugar, presentando 36,41% en T_0 y 36,41% en T_1 .

Mediante la utilización de un Diseño de Factor Categórico Individual, se realizó un análisis ANOVA. Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la altura de las especies (cm). Se realizaron varias pruebas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la altura (cm) de las especies arbustivas nativas expuestas. Las pruebas-F en la tabla ANOVA, permiten identificar los factores significativos. El diseño de bloque aleatorio consistió en 80 corridas experimentales, ejecutado en 5 bloques (Spp₁, Spp₂, Spp₃, Spp₄ y Spp₅).

Tabla 7.

Diseño base para Concentración de O₃ vs. Altura de la especie.

Factores	Niveles	Unidades
Concentración de Ozono [O ₃]	2	(µg/m ³)
Bloque (Especies arbustivas nativas)	5	Spp _n

Variable Dependiente	Unidades
Altura de la especie	(cm)

El estudio del efecto de los tratamientos de [O₃] sobre la altura de las especies observadas inicia con el planteamiento de la hipótesis a probar:

H₀: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada no tienen un efecto significativo sobre la altura de los individuos expuestos. H_A: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada si tienen un efecto significativo sobre la altura de los individuos expuestos.

Tabla 8.

Análisis de varianza para altura de la especie - Suma de cuadrado Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					

A: Concentración de Ozono	117,128	1	117,128	1,41	0,2391
B: BLOQUE (Spp)	3520,77	4	880,193	10,58	0,0000
RESIDUOS	6154,87	74	83,174		
TOTAL (CORREGIDO)	9792,77	79			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de altura de las especies en contribuciones debidas a varios factores; puesto que, se ha escogido la suma de cuadrado Tipo III (por emisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que el valor-P del factor tratamientos de concentración de ozono, es mayor que 0,05, se puede concluir que este factor no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la altura de las especies observadas. En contraste, debido a que el factor bloqueo por especies (Spp_n) es menor que 0,05, se puede concluir que este factor si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la altura de las especies observadas con un intervalo de confianza igual a 95%.

Igualmente, para cada factor significativo, se ha realizado una Prueba de Rangos Múltiples (LSD) de Fisher, con el propósito de conocer cuales medias son significativamente diferentes de otras. Como se observa en el análisis ANOVA, la concentración de ozono es un factor no significativo, es decir, que no afecta al crecimiento de Chilca, Iso, Guarango, Mora de Quito y Ortiga; por lo tanto, el siguiente análisis estadístico se realizó en relación con el factor bloque (especies nativas arbustivas) con valor significativo en el análisis de varianza, con el objetivo de realizar una comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, tomando 16 casos por cada bloque.

Tabla 9.

Pruebas de Múltiple Rangos para Altura de la especie por bloque.

BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	16	8,6	2,27999	X
5	16	9,15	2,27999	X
1	16	12,9375	2,27999	X
3	16	20,9938	2,27999	X

4	16	25,2688	2,27999	X
---	----	---------	---------	---

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		4,3375	6,42477
1 - 3	*	-8,05625	6,42477
1 - 4	*	-12,3313	6,42477
1 - 5		3,7875	6,42477
2 - 3	*	-12,3938	6,42477
2 - 4	*	-16,6688	6,42477
2 - 5		-0,55	6,42477
3 - 4		-4,275	6,42477
3 - 5	*	11,8438	6,42477
4 - 5	*	16,1188	6,42477

Nota: * indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra a un lado de los 6 pares de medias (Tabla 9) indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza igual a 95%. De igual manera, se han identificado 2 grupos homogéneos, según la alineación de las X en la columna "Grupos Homogéneos", esto quiere decir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten en una misma columna las X. En base a esta premisa, se concluye que Guarango y Mora de Quito (Spp₃ y Spp₄) son las especies arbustivas nativas que muestran una diferencia estadísticamente significativa con relación a las dosis aplicadas en los tratamientos (T₀ y T₁).

Se puede observar en Figura 32 que los bloques 1, 2 y 5 (Spp₁, Spp₂ y Spp₅) se solapan, esto demuestra que tanto Chilca, Iso y Ortiga registran una igualdad de efecto con relación a los tratamientos a los que han sido expuestos. De igual manera, los bloques 3 y 4 (Spp₃ y Spp₄) se solapan, indicando que tanto Guarango como Mora de Quito también presentan una igualdad de efecto con relación a los tratamientos a los que han sido expuestos.

Se puede apreciar que las especies con mayor altura fueron Guarango (Media LS = 20,9938) y Mora de Quito (Media LS = 25,2688). Asimismo, la especie que menor altura alcanzó durante los tratamientos fue Iso (Media LS = 8,6).

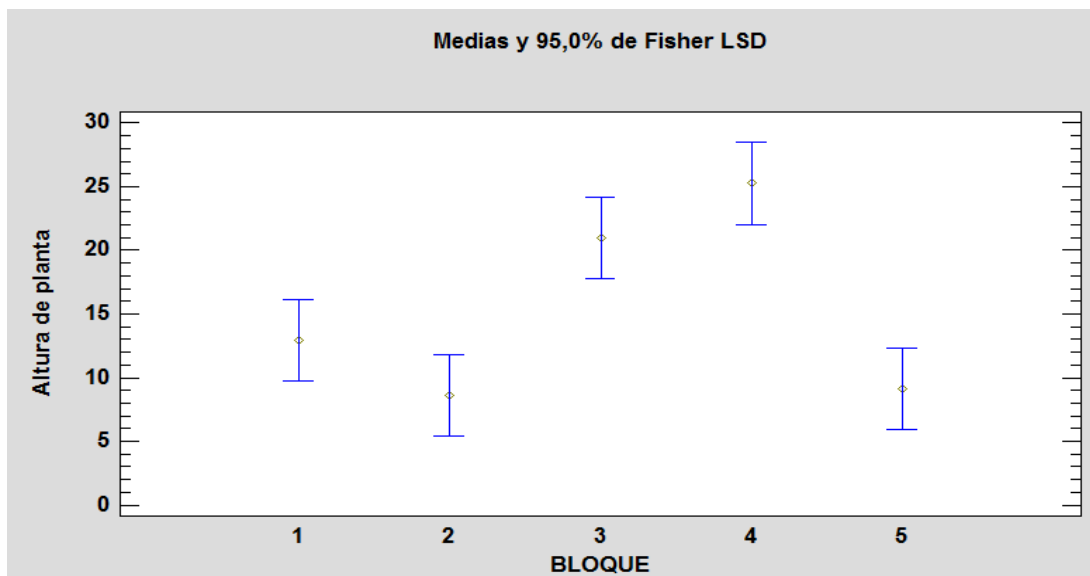


Figura 32. Gráfica de medias Altura de la especie vs. Bloque (especies nativas arbustivas).

Krupa & Manning, (1988), sugieren que los efectos crónicos de la exposición a O_3 conducen a disminuciones del crecimiento, productividad y calidad del material vegetal.

El análisis estadístico realizado para la variable respuesta “altura de las especies” indicó que las concentraciones de ozono dosificadas no produjeron un efecto estadísticamente significativo sobre las especies observadas. Esta inferencia puede relacionarse con el tiempo de experimentación que fue de 30 días a una concentración elevada; según el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas - CIEMAT (2010), los efectos de exposición crónica se originan con concentraciones de ozono bajas o medias durante largos periodos de tiempo; mientras que, los efectos de exposición aguda son el resultado de la exposición a altas concentraciones de ozono durante periodos cortos de tiempo.

En todos los casos se reportó un aumento gradual de la altura de las especies arbustivas nativas empleadas, por lo que se considera que el tiempo de experimentación y la dosis empleada no permitieron observar el efecto crónico directo que el ozono tiene sobre este factor.

4.3.2.1.2. Número de hojas

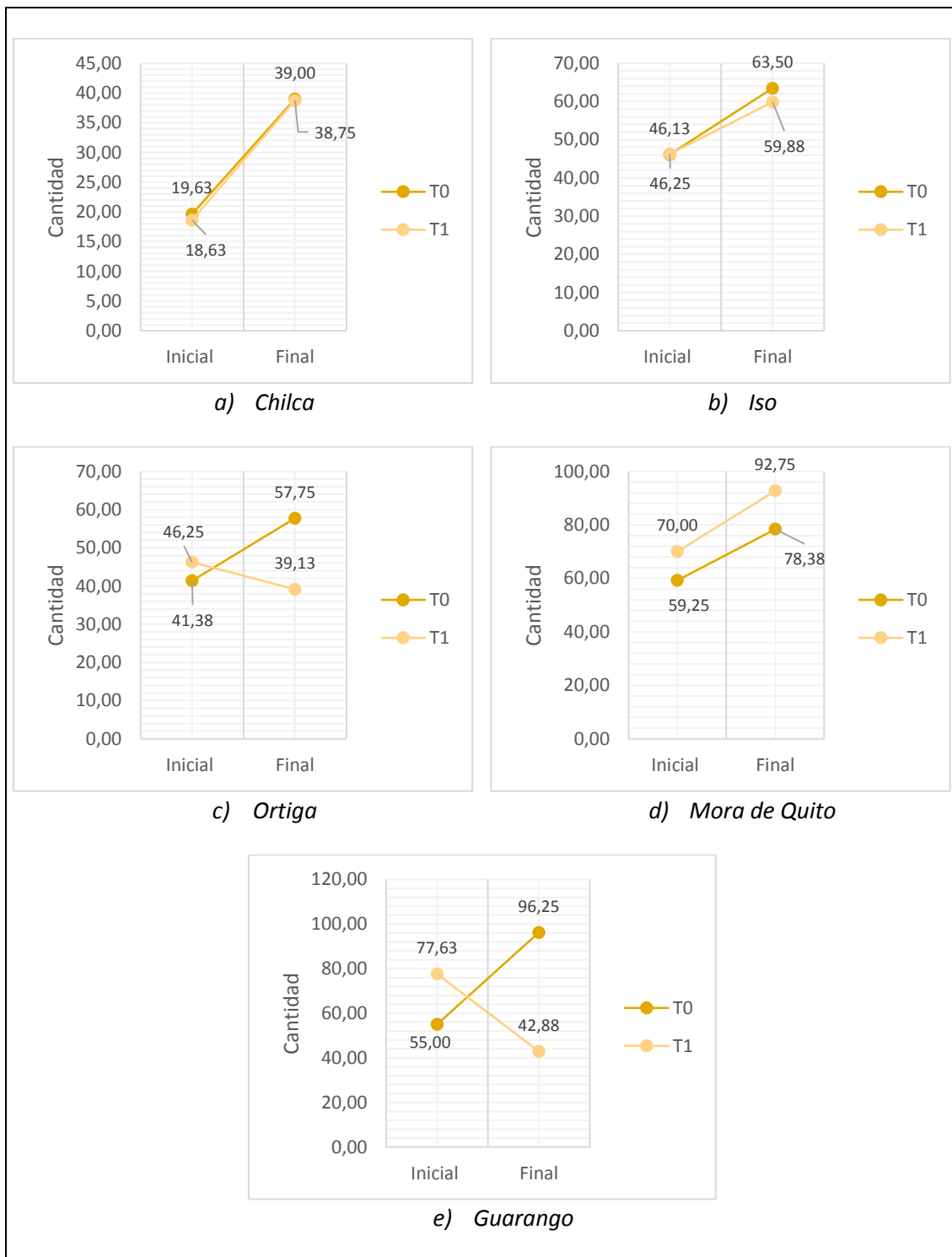


Figura 33. Serie de cantidad de hojas promediadas, previas y posteriores a la experimentación de especies vegetales sujetas a T₀ y T₁.

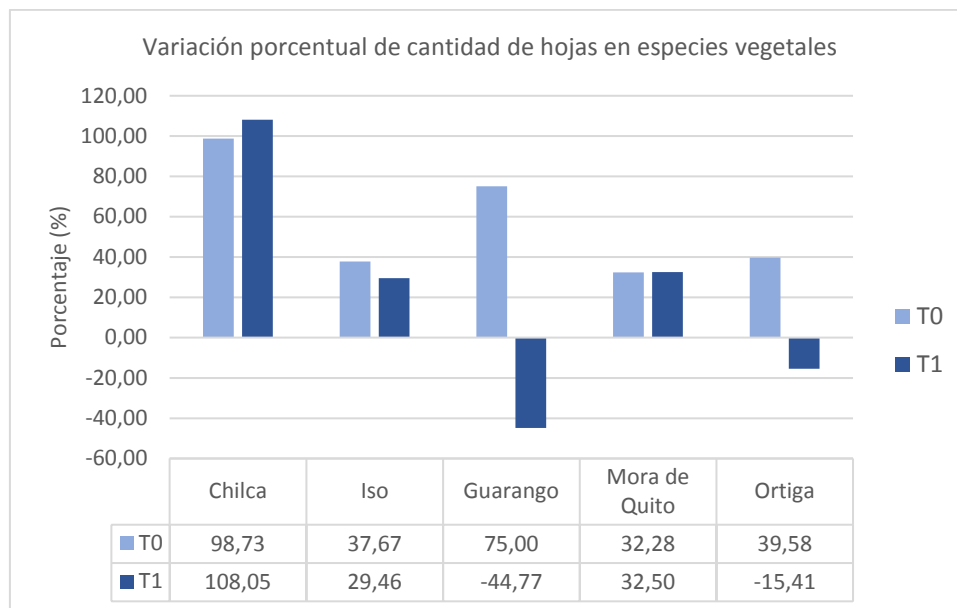


Figura 34. Variación porcentual, cantidad de hojas en tratamiento testigo (T₀) y de exposición a [O₃] (T₁).

Dentro este parámetro se observa comportamientos distintivos por especie. El promedio de la cantidad de hojas, pre-experimentación en Chilca es similar en ambos tratamientos (≈ 19 hojas); de igual manera al final del ensayo (≈ 39 hojas). Este caso es similar con Mora de Quito, presentando al comienzo 70 hojas en T₀ y ≈ 59 hojas en T₁; finalizando con ≈ 92 y ≈ 78 hojas, respectivamente (Figura 33). En la variación porcentual de ambas plantas el tratamiento 1 predomina al testigo, donde Chilca muestra un aumento de 108,05% en cantidad de hojas, y Mora de Quito un 32,50%; cómo se puede ver en Figura 33.

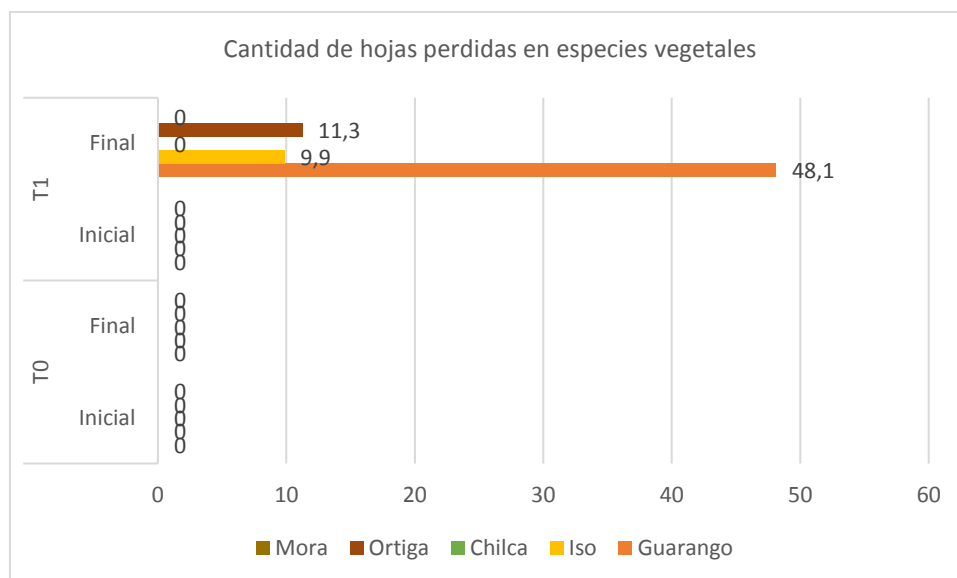


Figura 35. Promedios de pérdida de hojas, previos y posteriores a la experimentación de especies vegetales en T₀ y T₁.

De acuerdo con Iso, comienza con valores similares en los dos tratamientos, cerca de 46 hojas, sin embargo, los datos finales son de ≈ 63 hojas en el blanco y ≈ 59 hojas bajo el tratamiento 1. Este comportamiento se valida en Figura 33; el porcentaje de aumento de hojas es 37,67% en T₀, y 29,46 % en T₁.

Un dato importante es la pérdida de hojas en el tratamiento de exposición a ozono, que presentó esta planta a fechas finales del periodo de experimentación. Sin embargo, la cantidad de hojas presentes al concluir el ensayo es mayor a la cantidad inicial (Figura 33), esto es completamente distinto en especies Ortiga y Guarango, ya que presentan una pérdida del 15,41% y 44,77% de cantidad de hojas iniciales (Figura 34). Esto también se observa en Figura 35, donde el promedio de pérdida de hojas en Iso, Ortiga y Guarango es aproximadamente de 9, 11 y 48 hojas, respectivamente.



Figura 36. Iso (*Dalea coerulea*) al finalizar tratamientos, T₁ (izquierda) y T₀ (derecha).



Figura 37. Ortiga (*Urtica magellanica* Juss. ex Poir) al finalizar tratamientos, T₁ (izquierda) y T₀ (derecha).



Figura 38. Guarango (*Mimosa quitensis*) al finalizar tratamientos, T₁ (izquierda) y T₀ (derecha).

Mediante la utilización de un Diseño de Factor Categórico Individual, se realizó un análisis ANOVA. Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para el número de hojas de las especies (unidad). Se realizaron varias pruebas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el número de hojas (unidad) de las especies arbustivas nativas expuestas. Las pruebas-F en la tabla ANOVA, permitirán identificar los factores significativos. El diseño de bloque aleatorio consistió en 80 corridas experimentales, ejecutado en 5 bloques (Spp₁, Spp₂, Spp₃, Spp₄ y Spp₅).

Tabla 10.

Diseño base para Concentración de O₃ vs. Concentración de ácido ascórbico.

Factores	Niveles	Unidades
Concentración de Ozono [O ₃]	2	(µg/m ³)
Bloque (Especies arbustivas nativas)	5	Spp _n

Variable Dependiente	Unidades
Número de hojas	(unidad)

El estudio del efecto de los tratamientos de [O₃] sobre el número de hojas en las especies observadas inicia con el planteamiento de la hipótesis a probar:

H₀: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada no tienen un efecto significativo sobre el número de hojas en los individuos expuestos.

H_A: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada si tienen un efecto significativo sobre el número de hojas en los individuos expuestos.

Tabla 11.

Análisis de varianza para Número de hojas - Suma de cuadrado Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración de Ozono	7821,01	1	7821,01	14,61	0,0003
B: BLOQUE (Spp)	4477,5	4	1119,38	2,09	0,0904
RESIDUOS	39605,7	74	535,212		
TOTAL (CORREGIDO)	51904,2	79			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del número de hojas de las especies en contribuciones debidas a varios factores; puesto que, se ha escogido la suma de cuadrado Tipo III (por emisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la

significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que el valor-P del factor tratamientos con concentración de ozono, es menor que 0,05, se puede concluir que este factor si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de hojas de las especies observadas con un intervalo de confianza igual a 95%. En el mismo sentido, debido a que el factor bloqueo por especies (Spp_n) es mayor que 0,05, se puede concluir que este factor no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la cantidad de hojas de las especies observadas.

Como se observa en el análisis ANOVA, el factor bloque (especies nativas arbustivas) es no significativo, es decir, que no afecta al número de hojas en Chilca, Iso, Guarango, Mora de Quito y Ortiga; por lo tanto, el siguiente análisis estadístico se realizó en relación con el factor concentración de ozono (tratamientos T_0 y T_1), significativo en el análisis de varianza, con el objetivo de realizar una comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, tomando 40 casos por cada factor de tratamiento.

Tabla 12.

Pruebas de Múltiple Rangos para número de hojas de la especie por concentración de ozono.

Concentración de Ozono	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T_1	40	2,925	3,65791	X
T_0	40	22,7	3,65791	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
$T_0 - T_1$	*	19,775	10,3076

Nota: * indica una diferencia significativa.

Se ha colocado 1 asterisco junto a un lado del par de medias, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza igual a 95%. De igual manera, se han identificado 2 grupos homogéneos, según la alineación de las X en la columna "Grupos Homogéneos", esto quiere decir

que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten en una misma columna las X. En base a esta premisa, se concluye que los tratamientos T₀ y T₁ muestran una diferencia estadísticamente significativa con relación a las dosis aplicadas (0 y 100 µg/m³).

Se puede observar en Figura 39 que los tratamientos T₀ y T₁ no se solapan, por lo que se entiende que se produce un efecto a causa de los niveles de concentración de O₃ dosificados durante la experimentación, generando una respuesta diferente en ambos tratamientos.

Las especies empleadas en el tratamiento 1 (Media LS = 2,925) mostraron un menor número de hojas; a diferencia del tratamiento 0, cuyas especies expuestas lograron un mayor número de hojas al final de la experimentación (Media LS = 22,7).

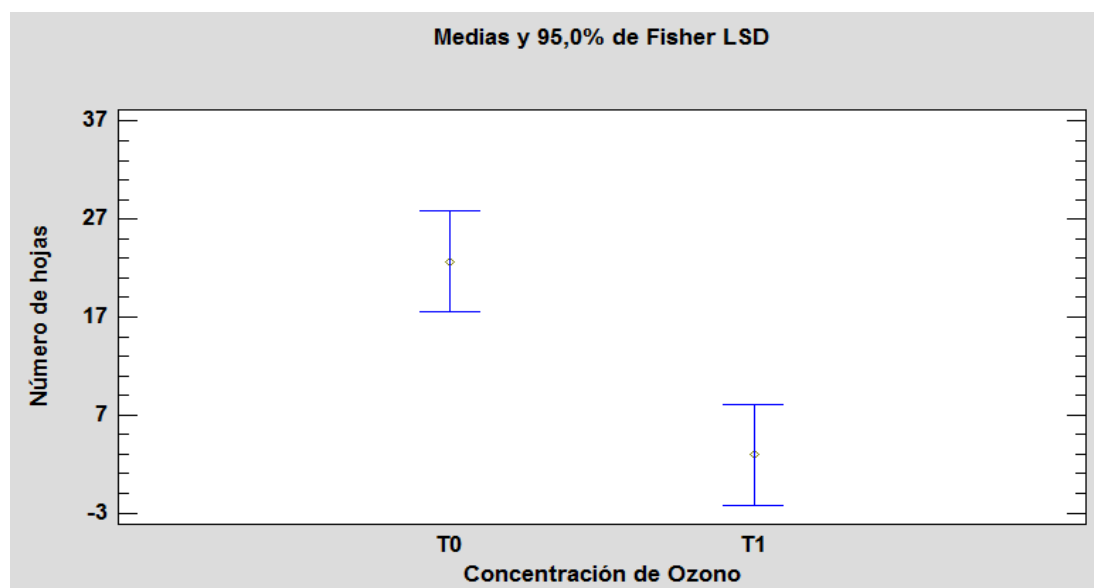


Figura 39. Gráfica de medias Número de Hojas vs. Bloque (especies nativas arbustivas).

Los síntomas de exposición a ozono se desarrollan inicialmente en las hojas que han alcanzado su madurez (Wang et al., 2007). A juzgar por Andreu y otros (2007), cuando los daños producidos por el O₃ se extienden se produce la

defoliación de las copas de los individuos que son sensibles, que suele darse desde la base de la copa hacia la parte superior.

El análisis estadístico realizado para la variable respuesta “número de hojas” indicó que las concentraciones de ozono dosificadas produjeron un efecto estadísticamente significativo sobre las especies observadas, esta deducción ratifica lo indicado por estudios relacionados. Las especies arbustivas nativas expuestas mostraron un menor número de hojas a dosis altas.

4.3.2.1.3. Manchas en hojas

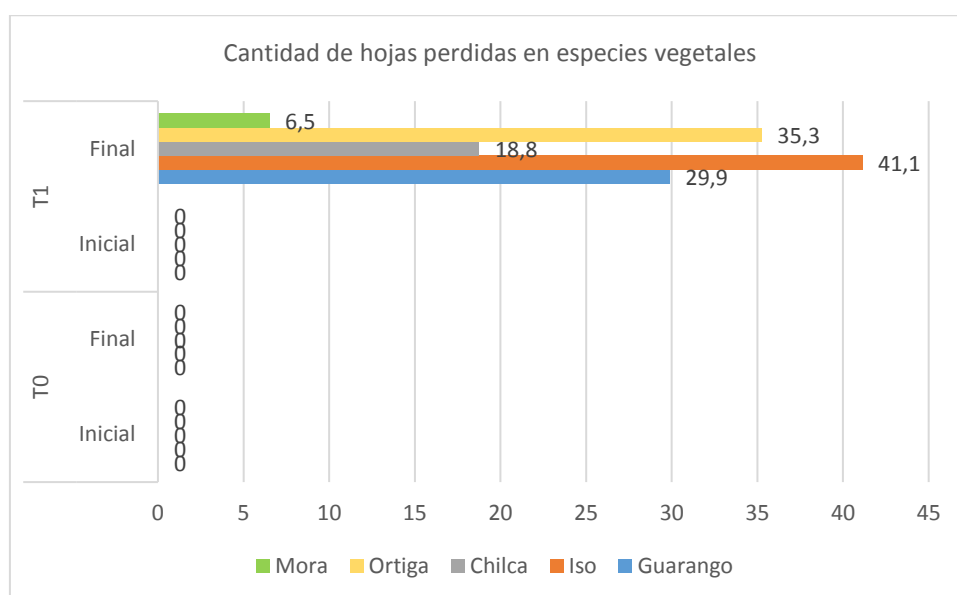


Figura 40. Promedios de cantidad de hojas con manchas, previos y posteriores a la experimentación de especies vegetales en T₀ y T₁.

La presencia de manchas en las hojas se encontró únicamente al finalizar el tratamiento bajo exposición de ozono, en cantidades distintas. En Figura 39, se observa la cantidad más alta en la planta Iso, en un promedio de 41 hojas con manchas. Seguido por Ortiga con 35 hojas afectadas, Guarango cerca de 30, y las especies menos afectadas, Chilca y Mora con 19 y 6 hojas aproximadamente.

Figura 41, permite observar el porcentaje de afección total en la planta con base en la relación entre hojas sanas y aquellas que contienen manchas, al igual que en cantidad de hojas, este parámetro solo presenta información existente en T₁. La especie con mayor afección, Ortiga, cuenta con 91,61% de afección a nivel microscópico. Continuando con Guarango en 66,73%, Iso con 62,50%, Chilca con 56,45%; finalmente el valor más bajo, Mora de Quito, únicamente con un porcentaje de afección de 6,9%.

Asensi (2008) refiere que los principales efectos agudos que el ozono ejerce sobre las plantas son: estrés oxidativo, disminución de la fotosíntesis y síntomas visibles, como: manchas, necrosis y daños foliares.

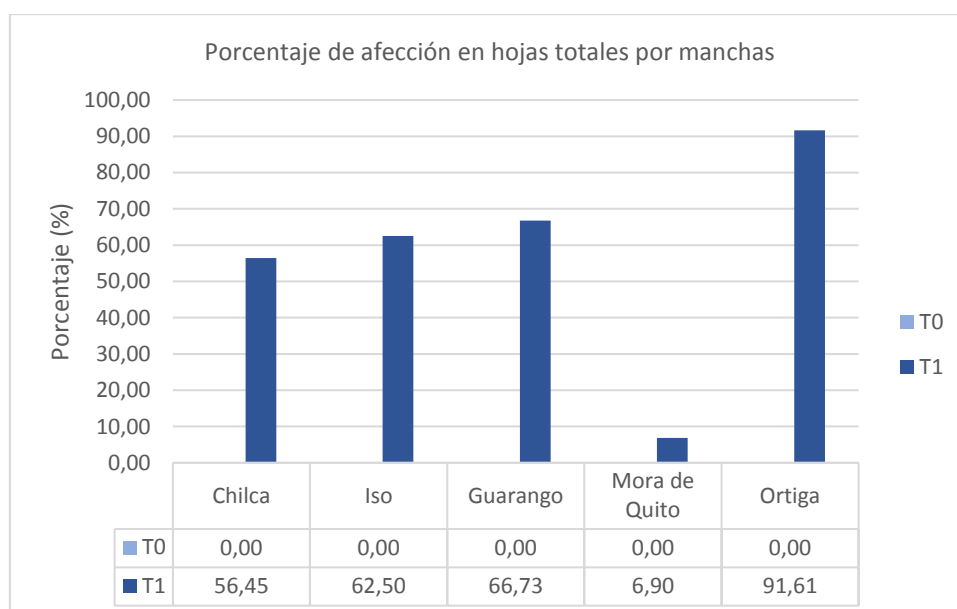












Figura 41. Variación porcentual, manchas en tratamiento testigo (T₀) y de exposición a [O₃] (T₁).

Tabla 13.

Manchas en las hojas de las especies vegetales sujetas a tratamientos.

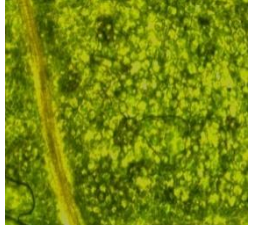
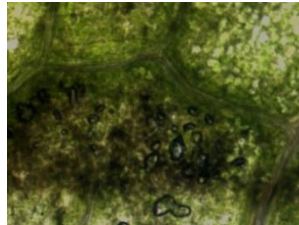

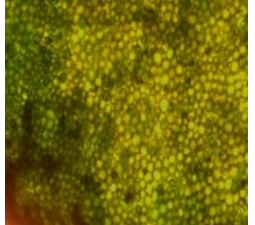
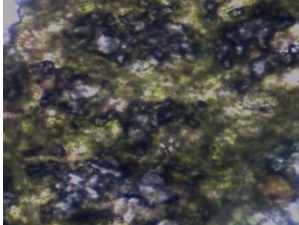
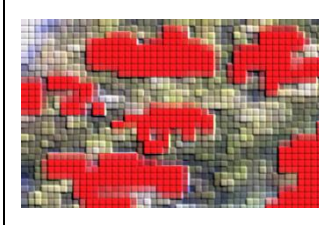

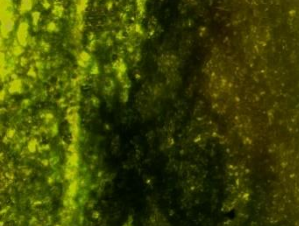
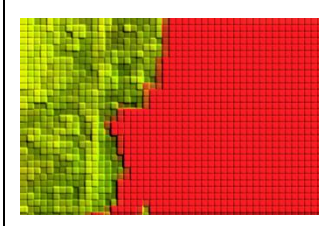
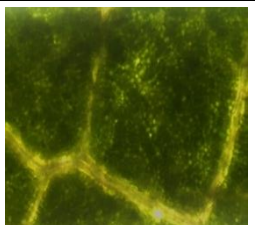
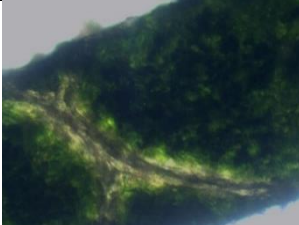

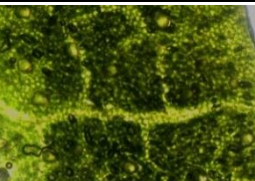
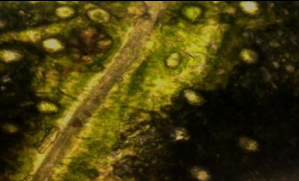
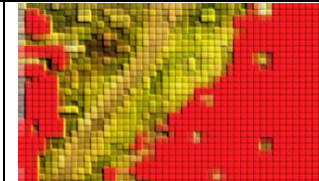
Especie Vegetal	Testigo*		Tratamiento 1*		
Chilca					
Iso					
Guarango					
Mora de Quito					
Ortiga					

Nota: *Testigo, indica condiciones nulas de ozono; *Tratamiento 1: condiciones bajo exposición de ozono.

4.3.2.1.4. Determinación Microscópica

Tabla 14.

Cambios en las hojas de las especies vegetales bajo tratamientos, en nivel microscópico.

Especie Vegetal	Testigo	Tratamiento 1	Método Cuadrícula*
Chilca			
Iso			
Guarango			
Mora de Quito			
Ortiga			

Nota: *Método cuadrícula, indica el método empleado para el cálculo de %ANM (Afección a nivel microscópico).

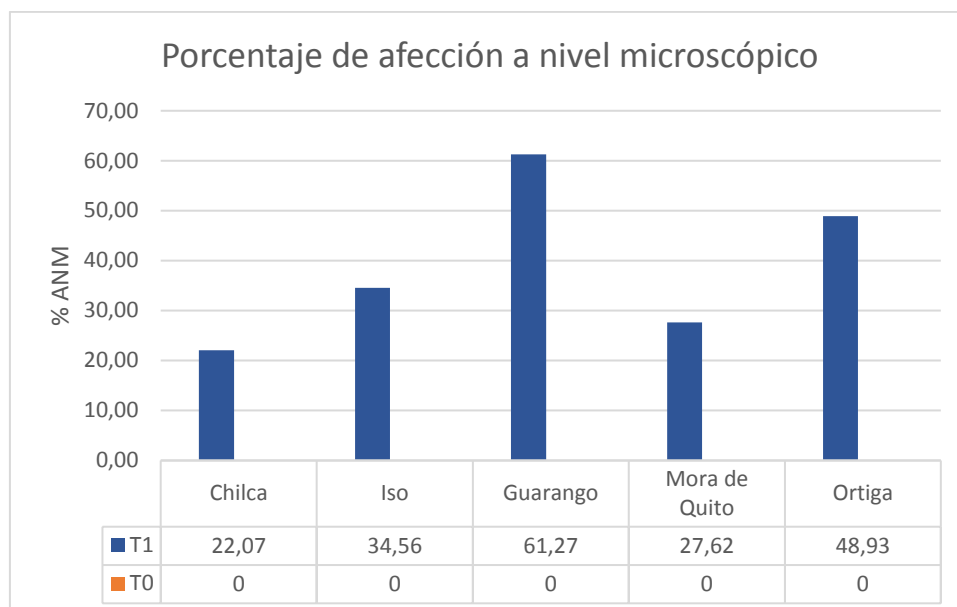


Figura 42. Porcentaje de afección a nivel microscópico, de especies vegetales T₁.

En Tabla 14, se puede comparar a nivel microscópico la estructura y estado del tejido celular superficial de todas las especies vegetales, obtenidos al finalizar el ensayo. Podemos observar a los sujetos muestra, estos no experimentan daño a nivel microscópico bajo condiciones del testigo, es decir, presencia nula de ozono. A diferencia de condiciones cuya concentración de ozono es alta, las hojas de todas las especies presentan daño a nivel molecular manifestándolo con necrosis celular, analizado a través del método cuadrícula, conociendo el porcentaje de afección a nivel microscópico a hojas seleccionadas; donde Guarango presenta el nivel de afección a 61,27%, Ortiga con 48,93%, Iso con 34,56%, Mora de Quito con 27,62%, y Chilca con 22,07% (Figura 41).

Para Del Valle y otros (2014), los efectos del ozono sobre la vegetación pueden ser observados tanto en el funcionamiento de las células, en alteraciones en tejidos celulares o en el propio deterioro general de toda la planta e incluso en un declive de las poblaciones, comunidades o ecosistemas.

4.3.2.2. Químicos

4.3.2.2.1. Ácido Ascórbico

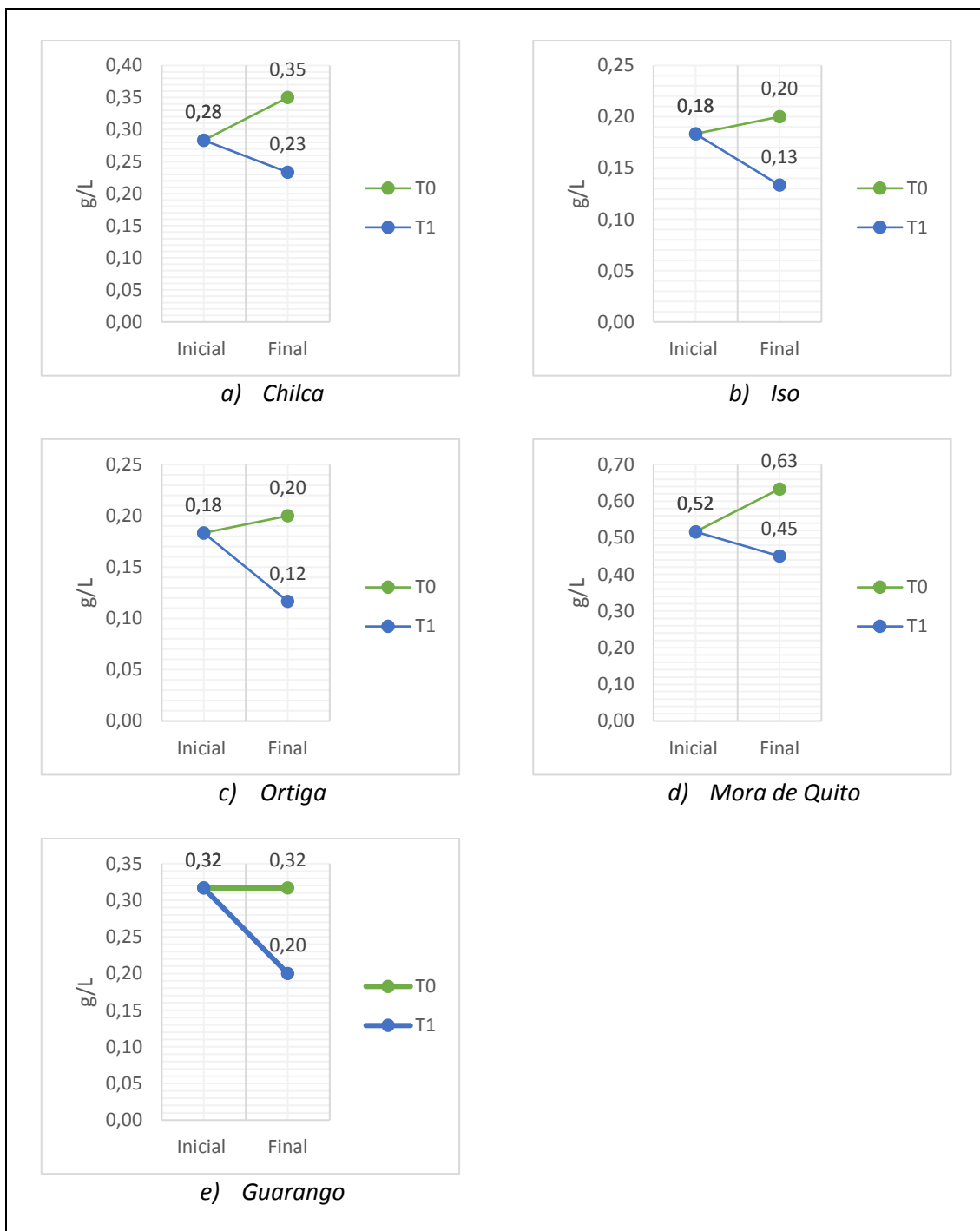


Figura 43. Serie de concentraciones de ácido ascórbico promediadas, previas y posteriores a la experimentación de especies vegetales sujetas a T₀ y T₁.

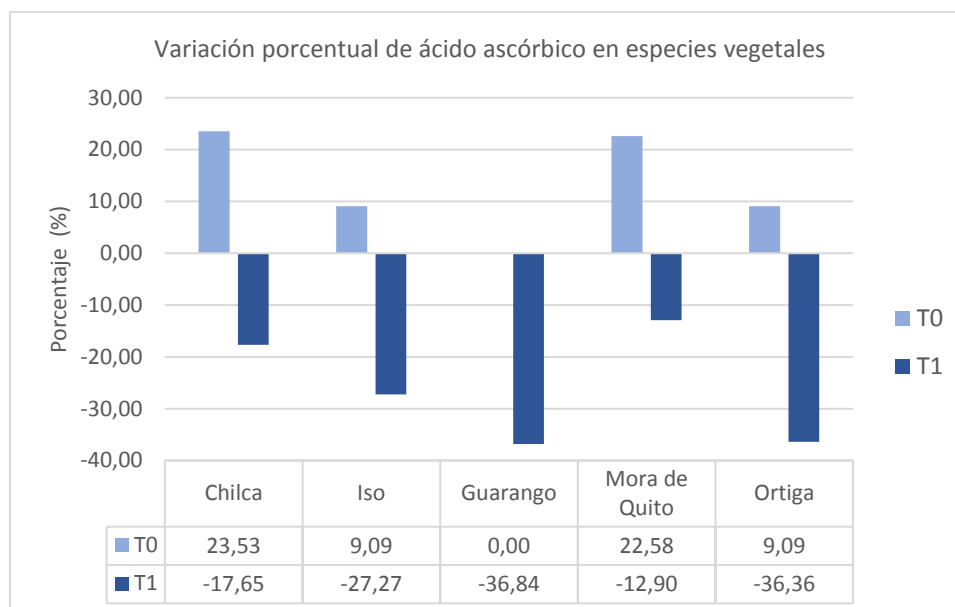


Figura 44. Variación porcentual, concentración de ácido ascórbico en tratamiento testigo (T₀) y de exposición a [O₃] (T₁).

Las concentraciones de ácido ascórbico presentan un comportamiento similar en función a la concentración de ozono, en la mayoría de las especies vegetales. El ensayo testigo, donde la concentración de ozono fue nula, el contenido de vitamina C tiende a aumentar; y disminuye en condiciones de alta concentración de ozono (Figura 43) A excepción de Guarango; en T₀ presenta 0,32 g/L de ácido ascórbico, al comienzo y final de la experimentación, es decir que no hubo incremento; y en T₁ se observa la reducción porcentual de vitamina C más alta del tratamiento, disminuyendo el 36,84% del contenido inicial (Figura 44).

De igual manera, Ortiga presenta un decaimiento muy alto (36,36%) en Tratamiento 1, mientras que en el blanco presentó un aumento en la concentración de vitamina C, de 9,09%, al igual que lo presenta Iso en el mismo tratamiento, pero con un porcentaje de pérdida menor (27,27%) en T₁. Finalmente, las plantas Mora de Quito y Chilca, muestran el menor impacto por la exposición a ozono, disminuyendo su contenido de ácido ascórbico en 12,9% y 17,65%; y bajo condiciones del testigo, aumentan la concentración en 22,58% y 23,53%, respectivamente.

Mediante la utilización de un Diseño de Factor Categórico Individual en el software STATGRAPHICS Centurion, se realizó un análisis ANOVA. Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la concentración de ácido ascórbico. Se realizaron varias pruebas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de ácido ascórbico de las especies arbustivas nativas expuestas. Las pruebas-F en la tabla ANOVA, permite identificar los factores significativos. El diseño de bloque aleatorio consistió en 30 corridas experimentales, ejecutado en 5 bloques (Spp₁, Spp₂, Spp₃, Spp₄ y Spp₅).

Tabla 15.

Diseño base para Concentración de O₃ vs. Concentración de ácido ascórbico.

Factores	Niveles	Unidades
Concentración de Ozono [O ₃]	2	(µg/m ³)
Bloque (Especies arbustivas nativas)	5	Spp _n

Variable Dependiente	Unidades
Concentración de Ácido Ascórbico	(g/L)

El estudio del efecto de los tratamientos [O₃] sobre la concentración de ácido ascórbico en las especies observadas inicia con el planteamiento de la hipótesis a probar:

H₀: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada no tienen un efecto significativo sobre la concentración de ácido ascórbico en los individuos expuestos.

H_A: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada si tienen un efecto significativo sobre la concentración de ácido ascórbico en los individuos expuestos.

Tabla 16.

Análisis de varianza para concentración de ácido ascórbico - Suma de cuadrado Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración de Ozono	0,108	1	0,108	39,67	0,0000
B: BLOQUE (Spp)	0,556333	4	0,139083	51,09	0,0000
RESIDUOS	0,0653333	24	0,00272222		
TOTAL (CORREGIDO)	0,729667	29			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la concentración de ácido ascórbico en contribuciones debidas a varios factores; puesto que, se ha escogido la suma de cuadrado Tipo III (por emisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que los valores-P del factor tratamientos [O₃] y el factor bloqueo por especies (Spp_n) son menores que 0,05, se puede concluir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de ácido ascórbico de las especies observadas con un intervalo de confianza igual a 95%.

Para cada factor significativo, se ha realizado una Prueba de Rangos Múltiples (LSD) de Fisher, con el propósito de conocer cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Este análisis estadístico ha sido realizado en relación con el factor bloque (especies nativas arbustivas) con el objetivo de realizar una comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 17.

Pruebas de Múltiple Rangos para concentración de ácido ascórbico por bloque.

BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	0,166667	0,0213003	X
5	6	0,175	0,0213003	X

3	6	0,258333	0,0213003	X
1	6	0,291667	0,0213003	X
4	6	0,541667	0,0213003	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	0,125	0,0621714
1 – 3		0,0333333	0,0621714
1 – 4	*	-0,25	0,0621714
1 – 5	*	0,116667	0,0621714
2 – 3	*	-0,0916667	0,0621714
2 – 4	*	-0,375	0,0621714
2 – 5		-0,00833333	0,0621714
3 – 4	*	-0,283333	0,0621714
3 – 5	*	0,0833333	0,0621714
4 – 5	*	0,366667	0,0621714

Nota: * indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra a un lado de los 8 pares de medias indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza igual a 95%. De igual manera, se han identificado 3 grupos homogéneos, según la alineación de las X en la columna “Grupos Homogéneos”, esto quiere decir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten en una misma columna las X. En base a esta premisa, se puede concluir que Mora de Quito (Spp₄) es la única especie arbustiva nativa que muestra una diferencia estadísticamente significativa con relación a las dosis aplicadas en los tratamientos (T₀ y T₁).

Se puede observar en Figura 45 que los bloques 1 y 3 (Spp₁ y Spp₃) se solapan, esto demuestra que tanto Chilca como Guarango registran una igualdad de efecto con relación a los tratamientos a los que han sido expuestos. De igual manera, los bloques 2 y 5 (Spp₂ y Spp₅) se solapan, indicando que tanto Iso como Ortiga también presentan una igualdad de efecto con relación a los tratamientos a los que han sido expuestos. Entretanto, dado que Mora de Quito (Spp₄) no se solapa con ninguna especie, se entiende que el efecto por los niveles de concentración de O₃ dosificados durante los tratamientos generan una respuesta diferente en esta especie arbustiva nativa.

Mora de Quito es la especie que contiene más ácido ascórbico (Media LS = 0,166667), en tanto que, Iso es la especie que contiene menos ácido ascórbico (Media LS = 0,541667).

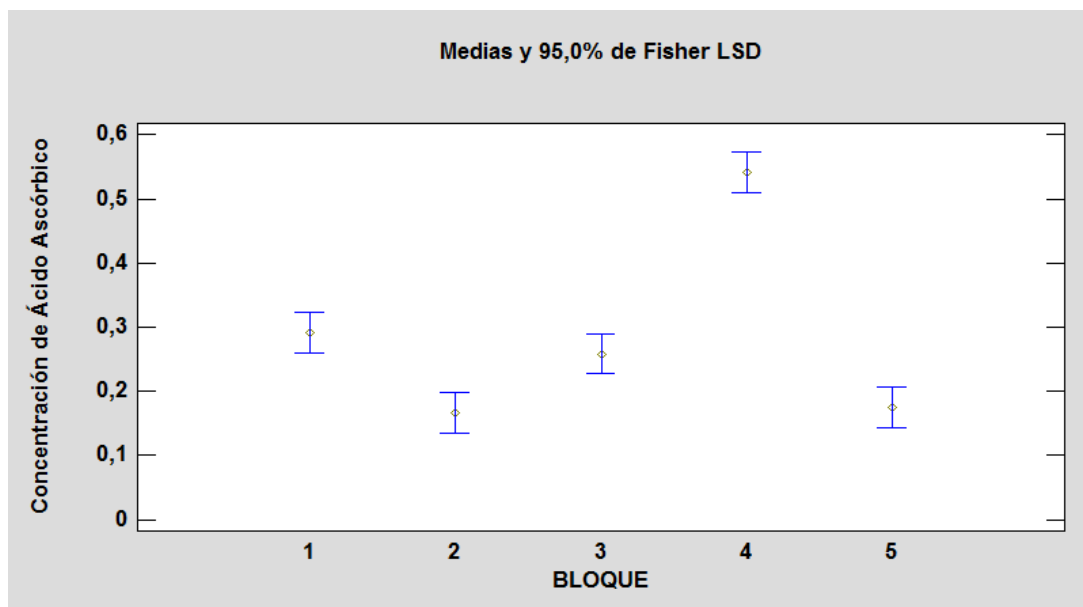


Figura 45. Medias de concentración de ácido ascórbico vs. Bloque (especies nativas arbustivas).

Se ha comprobado que los tratamientos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de ácido ascórbico de las especies observadas. Los resultados revelan que existió una reducción de la concentración de ácido ascórbico después de la experimentación. Según Sala y Squadrito (1992), el ozono llega a penetrar a la planta mediante las estomas, lo que produce una ozonólisis directa de ácido ascórbico generando un decaimiento en los niveles de este antioxidante y debilita las defensas de las plantas contra el O_3 y otras fuentes generadoras de radicales libres. En el mismo modo, Anaya (2003), indica que la relación que existe entre el ácido ascórbico y el ozono es inversamente proporcional, a mayores cantidades de ácido ascórbico los efectos del O_3 son menores. Al no existir un mecanismo de defensa sólido, las especies arbustivas nativas no pueden resistir de manera efectiva el estrés

oxidativo causado por especies reactivas del oxígeno, generando así cambios en su composición química y morfológica (Sala & Squadrito, 1992).

4.3.2.2.2. Clorofila

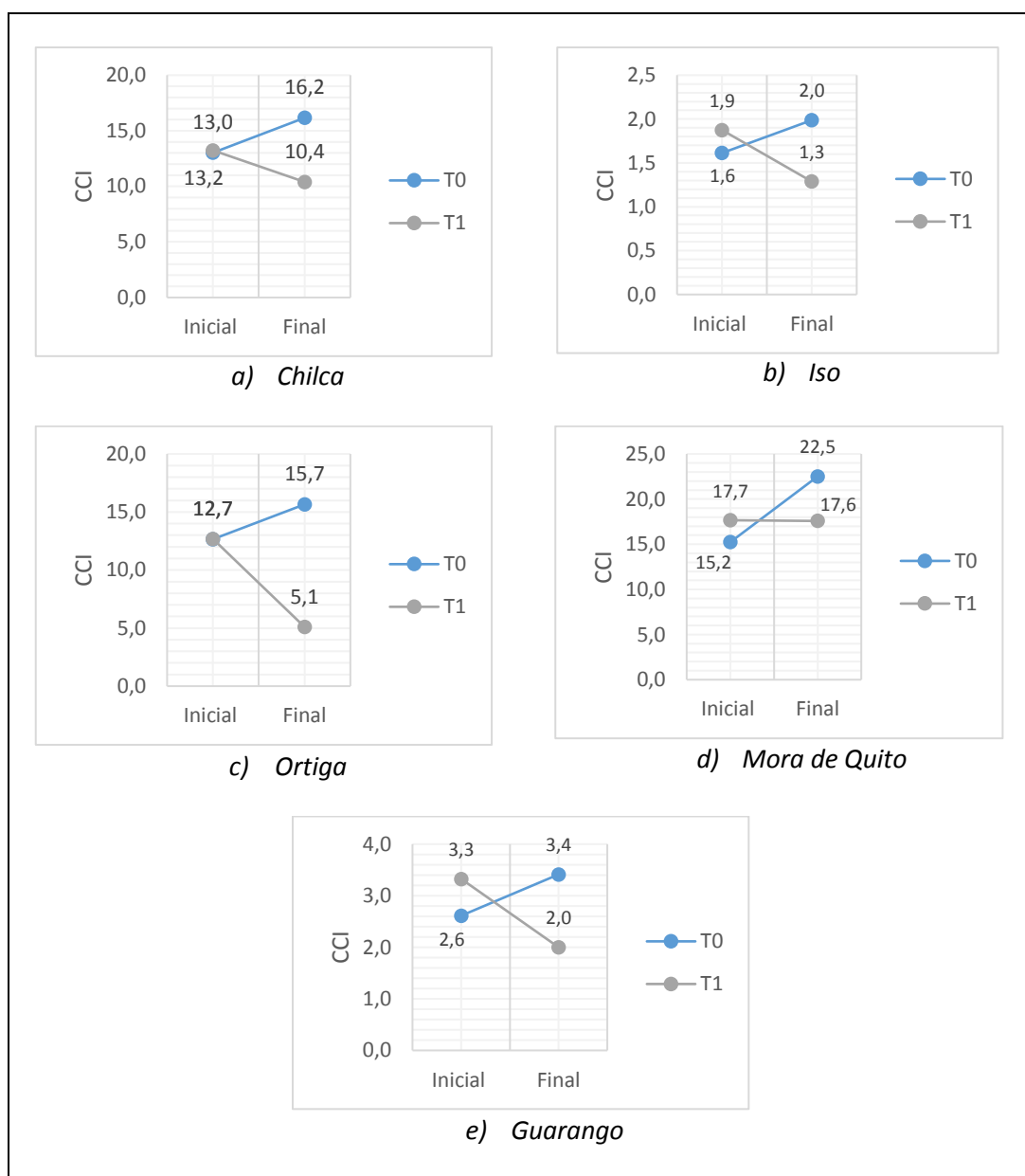


Figura 46. Serie de CCI (índice de contenido de clorofila) promedios, previas y posteriores a la experimentación de especies vegetales sujetas a T₀ y T₁.

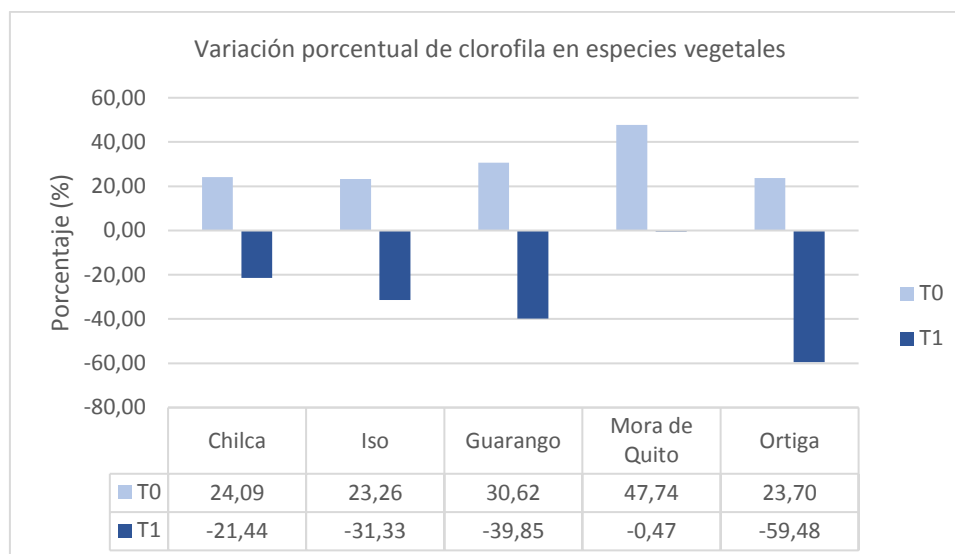


Figura 47. Variación porcentual, índice de contenido de clorofila en tratamiento testigo (T₀) y de exposición a [O₃] (T₁).

En Figura 46, se observa un esquema general del CCI (índice de contenido de clorofila) en las hojas de las especies vegetales sometidas a los tratamientos propuestos. A condiciones altas de concentración de ozono, el índice de contenido de clorofila tiende a disminuir; en gran medida lo presenta Ortiga, con una reducción de 59,48%, seguido por Guarango con 39,85%, Iso con 31,33%, Chilca con 21,44%, y Mora de Quito con 0,47%. Está última especie, bajo condiciones nulas de ozono, incrementa su CCI en 47,74%, representado la de mayor valor en este tratamiento; seguido por Guarango con 30,62%, y estableciendo un aumento aproximado del 20% entre las tres especies restantes (Figura 47).

Mediante la utilización de un Diseño de Factor Categórico Individual, se realizó un análisis ANOVA. Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para el CCI. Se realizaron varias pruebas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el índice del contenido de clorofila de las especies arbustivas nativas expuestas. Las pruebas-F en la tabla ANOVA, permitirán identificar los factores significativos. El diseño de bloque aleatorio consistió en 80 corridas experimentales, ejecutado en 5 bloques (Spp₁, Spp₂, Spp₃, Spp₄ y Spp₅).

Tabla 18.

Diseño base para Concentración de O₃ vs. Índice del contenido de clorofila.

Factores	Niveles	Unidades
Concentración de Ozono [O ₃]	2	(µg/m ³)
Bloque (Especies arbustivas nativas)	5	Spp _n

Variable Dependiente	Unidades
Índice del contenido de clorofila	(CCI)

El estudio del efecto de los tratamientos [O₃] sobre el del índice del contenido de clorofila en las especies observadas inicia con el planteamiento de la hipótesis a probar:

H₀: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada no tienen un efecto significativo sobre el índice del contenido de clorofila en los individuos expuestos.

H_A: La concentración de O₃ en los tratamientos y el tipo de especie arbustiva nativa empleada si tienen un efecto significativo sobre el índice del contenido de clorofila en los individuos expuestos.

Tabla 19.

Análisis de varianza para índice del contenido de clorofila - Suma de cuadrado Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración de Ozono	611,95	1	611,95	42,14	0,0000
B: BLOQUE (Spp)	291,01	4	72,7525	5,01	0,0013
RESIDUOS	1074,68	74	14,5227		
TOTAL (CORREGIDO)	1977,64	79			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del índice del contenido de clorofila en contribuciones debidas a varios factores; puesto que, se ha escogido la suma

de cuadrado Tipo III (por emisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que los valores-P del factor tratamientos [O₃] y el factor bloqueo por especies (Spp_n) son menores que 0,05, se puede concluir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el índice del contenido de clorofila de las especies observadas con un intervalo de confianza igual a 95%.

Igualmente, para cada factor significativo, se ha realizado una Prueba de Rangos Múltiples (LSD) de Fisher, con el propósito de conocer cuales medias son significativamente diferentes de otras. Este análisis estadístico ha sido realizado en relación con el factor bloque (especies nativas arbustivas) con el objetivo de realizar una comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 20.

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de contenido de Clorofila por bloque.

BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	16	-2,31875	0,952715	X
3	16	-0,2625	0,952715	X
2	16	-0,10625	0,952715	X
1	16	0,15	0,952715	X
4	16	3,59625	0,952715	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0,25625	2,68464
1 - 3		0,4125	2,68464
1 - 4	*	-3,44625	2,68464
1 - 5		2,46875	2,68464
2 - 3		0,15625	2,68464
2 - 4	*	-3,7025	2,68464
2 - 5		2,2125	2,68464
3 - 4	*	-3,85875	2,68464
3 - 5		2,05625	2,68464
4 - 5	*	5,915	2,68464

Nota: * indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra a un lado de los 4 pares de medias indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza igual a 95%. De igual manera, se han identificado 2 grupos homogéneos, según la alineación de las X en la columna "Grupos Homogéneos", esto quiere decir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten en una misma columna las X. En base a esta premisa, se concluye nuevamente que Mora de Quito (Spp₄) es la única especie arbustiva nativa que muestra una diferencia estadísticamente significativa con relación a las dosis aplicadas en los tratamientos (T₀ y T₁).

Se puede observar en Figura 48 que los bloques 1, 2, 3 y 5 (Spp₁, Spp₂, Spp₃ y Spp₅) se solapan, esto demuestra que tanto Chilca, Iso, Guarango y Ortiga registran una igualdad de efecto con relación a los tratamientos a los que han sido expuestos. Mientras tanto, dado que la Mora de Quito (Spp₄) no se solapa con ninguna especie, se entiende que el efecto por los niveles de concentración de O₃ dosificados durante los tratamientos generan una respuesta diferente en esta especie arbustiva nativa.

Mora de Quito fue la especie con el más alto Índice de contenido de Clorofila (Media LS = 3,59625) y, Ortiga fue la especie con el más bajo Índice de contenido de Clorofila (Media LS = -2,31875).

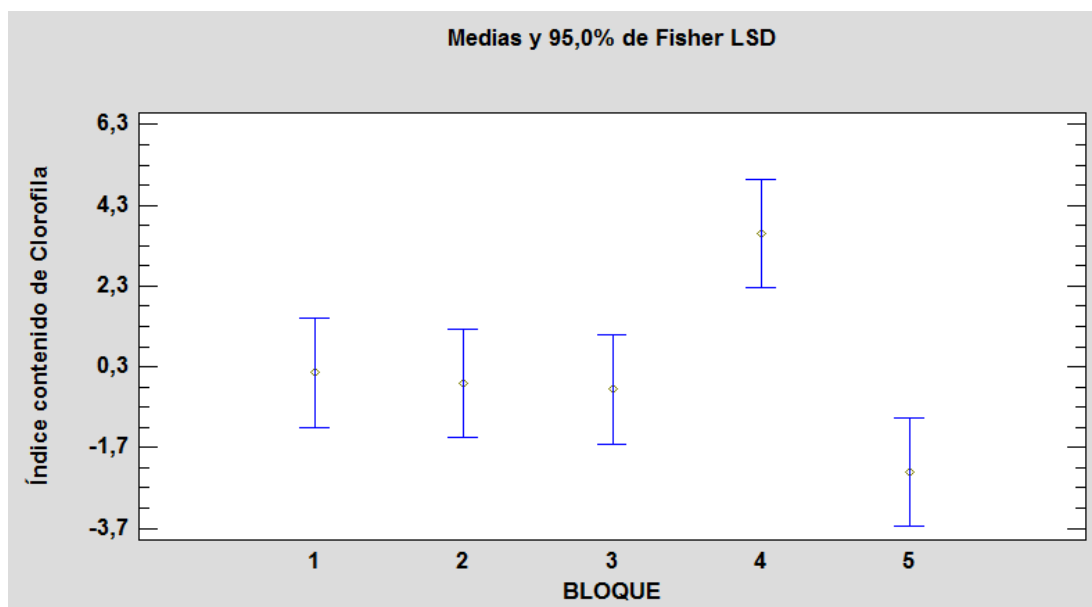


Figura 48. Medias de índice de contenido de clorofila vs. Bloque (especies nativas arbustivas).

Uno de los síntomas más comunes del efecto del ozono en los bosques es la clorosis o pérdida de clorofilas en las hojas. Los estudios experimentales han manifestado que el ozono altera el metabolismo de especies como *Pinus halepensis*, causando la disminución en el contenido de clorofilas y por ende en la capacidad de asimilación de carbono (Elvira, 1999). Se ha comprobado que los tratamientos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el Índice de Contenido de Clorofila (CCI) de las especies observadas. Siguiendo a Bermejo y otros (2009), el O₃ puede provocar una alteración de la actividad fotosintética a través del descenso de la actividad y concentración de la enzima rubisco (enzima responsable de fijar el CO₂), suceso que explicaría el efecto del ozono sobre la reducción de clorofila en las especies arbustivas nativas después de la experimentación.

Dado que Mora de Quito es la especie que mayor concentración de ácido ascórbico presentó y que mostró el porcentaje más bajo de reducción de ácido ascórbico después de la exposición a 100 µg/m³ de O₃ (-12,90%); y, que además fue la especie con mayor índice de contenido de clorofila y que registró el porcentaje más bajo de reducción de clorofila después de la exposición a 100

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 (-0.46%), se recomienda utilizar esta planta para proyectos de reforestación debido a la resistencia verificada durante el ensayo de experimentación.

Según Oleas y otros (2016), Mora de Quito es un arbusto espinoso que crece en un rango altitudinal de 2000 a 3500 msnm y, su forma de crecimiento la convierte en una buena opción como cerca viva.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La implementación de filtros de carbón activado en la cámara del Testigo logró mantener condiciones nulas de ozono. En el invernadero de exposición, la volatilización total del ozono dosificado se llevó en cuestión de minutos. Se cree que es debido por la ventilación natural y forzada, presencia de humedad, materia orgánica y variación de temperaturas. Esto obligó a mantener una dosificación continua y controlada de gas ozono, obteniendo una concentración de ozono en un máximo promedio octohorario general, igual a $93,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, durante 30 días.

Se observaron comportamientos distintos en el parámetro altura con respecto a cada planta. Chilca, Ortiga y Guarango, tuvieron un mejor crecimiento en condiciones expuestas a concentraciones altas de ozono, mientras que, Mora de Quito e Iso, crecieron óptimamente ante la inexistencia de ozono. Sin embargo, el análisis estadístico realizado para el parámetro altura, presentó un efecto estadísticamente no significativo de la concentración de ozono expuesta sobre las especies observadas. Esto se debe a que el parámetro analizado, es considerado como una sintomatología crónica, donde 30 días de experimentación, no es el periodo suficiente para ser representativo.

La pérdida de hojas fue un síntoma presentando únicamente ante la presencia de altas concentraciones de ozono; Guarango fue la más afectada, disminuyendo 44,77% de sus hojas totales, y en menor impacto, Ortiga perdió 15,41%. Esta defoliación es producida por el daño extendido de O_3 . Otras especies como Mora de Quito, mantuvo su promedio foliar, en cambio, Chilca presentó mayor cantidad de hojas ante la exposición de ozono, por lo tanto, mayor adaptabilidad.

Necrosis foliar y manchas en las hojas, se manifestó solo en el tratamiento de exposición a ozono, estos síntomas categorizados como agudos, se encontraron en mayor proporción, en Ortiga, seguido por Guarango, Iso y Chilca; mientras

que en Mora de Quito se observó poca presencia de estos síntomas, incluyendo a nivel celular y estomático.

La relación entre ozono y ácido ascórbico es inversamente proporcional, a mayor cantidad de ozono, genera mayor ozonólisis con el ácido ascórbico, reduciendo la cantidad de este antioxidante. Concentraciones estables de ácido ascórbico en la planta, ayudan a la optimización de funciones metabólicas, como, procesos de fotosíntesis, homeostasis del sistema redox, enzimático, entre otros. En el análisis de este estudio se encontró a la especie arbustiva más tolerante, Mora de Quito, ya que presentó la más baja disminución de ácido ascórbico ante la presencia de concentraciones altas de ozono. Seguida por, Chilca, Guarango, Iso y Ortiga.

En el análisis de del índice de contenido de clorofila, Mora de Quito presentó mayor adaptabilidad, a diferencia de las otras especies vegetales, frente a concentraciones altas de ozono, solamente disminuyó el 0,47% de su contenido de clorofila inicial. Esta planta radicó su diferencia frente al efecto por ozono, en el análisis estadístico, representando un solo grupo de homologación. Continuamente, Chilca y Guarango mostraron igualdad de efecto y tolerancia; las especies con mayor afección fueron Iso y Ortiga.

Al analizar las hipótesis formuladas, parámetros morfológicos y químicos se concluye que existe un efecto en la cantidad y sintomatología de hojas, concentración de ácido ascórbico y contenido de clorofila en especies arbustivas nativas del Ecuador, tales como, Chilca (*Baccharis latifolia*), Iso (*Dalea coerulea*), Guarango (*Mimosa quitensis*), Mora de Quito (*Rubus glaucus*) y Ortiga (*Urtica magellanica* Juss. ex Poir); por la exposición de altas concentraciones de ozono troposférico.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda el uso de la especie Mora de Quito (*Rubus glaucus*) como principal uso para revegetación en zonas del Distrito Metropolitano de Quito,

donde las concentraciones de ozono, sean iguales o superiores al límite máximo permisible.

Además, se recomienda mantener el empleo de invernaderos de cámara abierta, para evitar temperaturas y humedades altas. De igual manera se recomienda el uso de vidrio o fluoro polímero como recursos principales al diseñar y construir los invernaderos, esto permitirá disminuir el tiempo de dosificación por la estabilidad del ozono ante estos materiales.

La altura de la planta, por ser catalogada como una variable con efecto crónico, debería ser analizada en un periodo largo, junto a concentraciones altas de ozono. Recomendando profundizar en efectos agudos en plantas por exposición a ozono, para investigaciones de periodo corto.

REFERENCIAS

- Academia Nacional de Medicina. (2014). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. México D.F.: UNAM.
- Aeroqual. (2018). *Series 200/300/500 User Guide*. Auckland: Aeroqual Limited.
- Aeroqual Limited. (2019). Aeroqual Limited. Recuperado el 13 de mayo de 2019 de <https://www.aeroqual.com/company/our-technology/gss-technology>
- Aguado, L. (2010). Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Airthereal. (2019). Airthereal.com. Recuperado el 18 de mayo de 2019 de Airthereal.com: <https://airthereal.com/>
- Alcaldía de Quito. (2017). Diagnóstico de Salud del Distrito Metropolitano de Quito. Quito: Quito Alcaldía.
- Anaya, A. (2003). Ecología Química. México D.F., México: Plaza y Váldes S.A.
- Andreu, C., Cupull, R., Pérez, G. & Morales, Y. (2007). Efectos del ozono troposférico sobre cultivos de ajo, *Allium sativum* y tabaco, *Nicotiana tabacum* en Cuba. La Habana, Cuba: Universidad Estatal Amazónica.
- Asensi Fabado, M. (2008). Efectos del ozono troposférico sobre el cultivo de patata en Carcaixent (Valencia). Valencia: Universitat de Valencia.
- Barrera, J., Suárez, D., & Melgarejo, L. (2004). Análisis de crecimiento en plantas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Bermejo, V., Alonso, R., Elvira, S., Rábago, I., & García Vivanco, M. (2009). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Boldo, E. (2015). Encuentro: Bases Científico-Técnicas para mejorar la calidad del aire en España. Recuperado el 20 de Abril de 2019 de <https://www.miteco.gob.es>

- Brisson, M., & Málvarez, A. (2002). *Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. Environmental Conservation, 29*, 115-133.
- Callisaya Mamani, I. (2015). Sensibilidad de las especies vegetales a los principales contaminantes atmosféricos. La Paz: Revistas Bolivianas.
- Calvo, E. (2003). Efectos del ozono sobre algunas hortalizas de interés de la cuenca mediterránea. Valencia: Tesis Doctoral: Universitat de Valencia.
- Cazarola, M., & Juncosa, J. (2015). *Transition between the dry and rainy season in Cumbayá (Ecuador): 2014 to 2015 comparison from observations at USFQ's Atmospheric Measurement Station (EMA)*. Avances en Ciencias e Ingenierías, C1-C5.
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Unidad de Contaminación Atmosférica. (2010). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Madrid, España: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.
- Chen, Z., y Gallie, D. (2005). *Increasing Tolerance to Ozone by Elevating Foliar Ascorbic Acid Confers Greater Protection against Ozone Than Increasing Avoidance. Plant Physiology, Vol.138*, pp. 1673-1689.
- CLMNTK19. (s.f.). Climántica. Proyecto de Educación Ambiental. Cambio Climático. Recuperado el 23 de Abril de 2019 de <http://unidades.climantica.org/es/unidades/02/consecuencias-dos-combustibles-fosiles/a-choiva-acida-e-o-smog-fotoquimico/2>
- Colls, J., Weigel, H., & Geissler, P. (1993). *Microclimate in open-top chambers. Air Pollution Research Report*, 175-191.
- Comission for Environmental Cooperation (CEC). (2005). Ozono troposférico. El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes. Recuperado el 06 de mayo de 2019 de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/986-north-american-mosaic-overview-key-environmental-issues-es.pdf>

Conselleria D'Habitatge, Obres Públiques I Vertebració del Territori. (s.f.). ¿Es el ozono un contaminante peligroso? *Comunitat Valenciana*. Recuperado el 05 de mayo de 2019 de https://www.cma.gva.es/ftp/ozono/html/documentos/57270-OZONO_cast.pdf

De Las Rivas, J. (2013). La luz y el aparato fotosintético. Ciudad de Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Decreto Ejecutivo 3516. (2019). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE. Quito, Ecuador.

Del Valle, S., Barreno, E., Calatayud, A., Carrasco, J., Ramírez, J., & Aleixandre, E. (2014). Estudio sobre el impacto del ozono en la agricultura. Valencia: Universitat de Valencia.

Department for Environment, Food & Rural Affairs - UK. (2019). *Global Challenge Network on Tropospheric Ozone*. Recuperado el 18 de Abril de 2019 de *Ozone Factsheets*: http://www.ozone-net.org.uk/sites/ozone-net.org.uk/files/documents/filedepot/4/GNC_OzoneFactSheets_OzoneMonitoring.pdf

Dezseo Aldana, N. (2014). Especies forestales nativas de la amazonía ecuatoriana con potencial para uso en sistemas agroforestales. Caracas: SENESCYT - Prometeo.

Dirección de Monitoreo Atmosférico. (2016). El ozono como contaminante del aire. México D.F.: Aire CDMX.

EcuRED. (2019). Clorofila. Recuperado el 10 de Mayo de 2019 de <https://www.ecured.cu/Clorofila>

Elvira, S. (1999). Efectos del ozono en la ultraestructura, pigmentos fotosintéticos e intercambio gaseoso de *Pinus halepensis* Mill. Navarra: CIEMAT.

Encinas, M. (2011). Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

- Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios, 71-88.
- European Environment Agency - EEA. (2014). *Air quality in Europe - 2014 report*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- European Environment Agency - EEA. (2018). *Air quality in Europe - 2018 report*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- European Environment Agency. (2008). Ozono troposférico. EEA. Recuperado el 05 de Mayo de 2019 de <https://www.eea.europa.eu/downloads/f0d953ba5706573deec5feed80d6>
- FAO. (2012). Guía para la construcción de invernaderos o fitotoldos. Bolivia: Dipecho Binacional Perú-Bolivia.
- FAO. (2005). La contaminación del aire larga distancia. Recuperado el 06 de mayo de 2019 de <http://www.fao.org/docrep/r4165s/r4165s01.htm>
- FLACSO, Ministerio del Ambiente y PNUMA. (2008). Geo Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente. Quito, Ecuador. Recuperado el 17 de abril de 2019 de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>
- GAD Parroquial de Conocoto. (2015). Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Quito: GAD Parroquial de Conocoto - DMQ.
- Gobierno de Aragón. (s.f.). La calidad del aire en Aragón. Recuperado el 23 de Abril de 2019 de http://www.aragonaire.es/ozone.php?n_action=types
- Gobierno Municipal de Tepic. (2014). Reforesta con Planta Nativa. Tepic de Nervo: Gobierno Municipal Capital del Cambio Tepic.
- Gómez, A., Calderón, C., Saiz de Omeñaca, J., & Manzanera de la Vega, J. (2012). Efectos sobre la fotosíntesis por exposición a ozono en especies leñosas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- Gómez, P. (2008). La fotosíntesis: Aprende sobre el proceso de elaboración de alimento que realizan las plantas. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT.
- Global Urban Ambient Air Pollution Database. (2014). *WHO Ambient air quality database*. Estados Unidos: Global Urban Ambient Air Pollution Database.
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. México D.F.: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Hardin, J., Jones, C., Bonjour, E., Noyes, R., Beeby, R., Eltiste, D., & Decker, S. (2010). *Ozone fumigation of stored grain; closed-loop recirculation and the rate of ozone consumption*. *Journal of Stored Products Research*, 149-154.
- Health and Safety Executive. (2014). *Ozone: Health hazards and control measures*. United Kingdom: The National Archives.
- Heath, R., & Taylor, G. (1997). *Physiological processes and plant responses to ozone exposure*. Berlín: Springer-Verlag.
- Helmenstine, A. (2017). *Vitamin C. Determination by Iodine Titration*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019 de <https://www.thoughtco.com/vitamin-c-determination-by-iodine-titration-606322>
- Herrera, M., Velázquez, J., Delgado, H., Velasco, R. & González, J. (2011). Efecto del ácido ascórbico sobre el crecimiento, pigmentos, fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de Crisantemo. México. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v17nspe2/v17nspe2a8.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2013). Calidad de aire interior: filtros de carbón activo para su mejora. España: Notas Técnicas de Prevención.

- Kenda, I. (2015). *Measurement of ozone concentration on the elevation gradient of low hill by a semiconductor-based portable monitor. Atmosphere 6*, 928-941.
- Kley, D., Kleinmann, M., Sandermann, H., & Krupa, S. (1999). *Photochemical oxidants: state of science. Environmental Pollution 100*, 19-42.
- Krupa, S., & Manning, W. (1988). *Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. Environmental Pollution 50*, 101-137.
- Kruppa, S., & Legge, A. (2000). *Passive sampling of ambient, gaseous pollutants: an assessment from an ecological perspective. Environmental Pollution 107*, 31-45.
- Kumar, N., Middey, A., y Rao, P. (2017). *Prediction and examination of seasonal variation of ozone with meteorological parameter through artificial neural network at NEERI, Nagpur, India*. Recuperado el 05 de mayo de 2019 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095517300287>
- Lauren, M. (2014). *Identificación y caracterización paisajística de plantas nativas, con potencial ornamental del departamento de Chuquisaca*. Sucre: Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco de Chuquisaca.
- Lawrence, M. (2005). *The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. American Meteorological Society*, 225-233.
- LENNETCH. (2019). Lennetech B.V. Recuperado el 18 de mayo de 2019 de <https://www.lennetech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm>
- LENNETECH. (5 de mayo de 2019). *Ozone*. Obtenido de Lennetech B.V: <https://www.lennetech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm>
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa-Ulloa, C., & Navarrete, H. (2011). *Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador*,

2da edición. Quito: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Lin, C., Gillespie, J., Schuder, M., Duberstein, W., Beverland, I., & Heal, M. (2015). *Evaluation and calibration of Aeroqual series 500 portable gas sensors. Atmospheric Environment, 100*, 111-116.

López, D., reyes, P., Rubio, J., Jiménez, J., Aguilera, C., & Rubio, L. (2015). Construcción de invernadero tipo capilla. Boletín INIA, 321, 121-158.

Matus, P. (2017). Contaminación atmosférica: la composición química incide en su riesgo.

McClurkin, J., Maier, D., & Ileleji, K. (2013). *Half-life time of ozone as a function of air movement and conditions in a sealed container. Journal of Stored Products Research, 41-47.*

Metusala, D. (2017). *An alternative simple method for preparing and preserving cross-section of leaves and roots in herbaceous plants: Case study in Orchidaceae. AIP Conference Proceedings 1862* (págs. 30-113). Indonesia: AIP Publishing.

Ministerio del Ambiente - MAE. (2011). Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. Quito: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile. (2016). Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental. Santiago: División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana.

Missouri Botanical Garden. (14 de mayo de 2019). Tropicos.org. Obtenido de Tropicos.org: <http://www.tropicos.org>

Mohammed, S. (2016). *Determination of amount of Vitamin C (Ascorbic Acid) from supplied commercial tablets by using Iodometric titration.* Chittagong: International Islamic University Chittagong.

Mora, M., Peralta, J., López, H., García, R., & González, J. (2011). Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad

peroxidas en plantas de crisantemo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 73-81.

Mudd, J. (1996). *Biochemical Basis for the Toxicity of Ozone*. Chichester: John Wiley.

National Aeronautics and Space Administration (NASA Facts). (2001). Ozono. Maryland, Estados Unidos: The Earth Science Enterprise Series.

Oleas, N., Ríos-Touma, B., Peña Altamirano, P., & Bustamante, M. (2016). Guía práctica de identificación de plantas de ribera. Quito: Series de Publicaciones Científicas. Universidad Tecnológica Indoamérica.

OPS - Organización Panamericana de la Salud. (2016). Contaminación del Aire Ambiental. Recuperado el 10 de Abril de 2019 de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es

OPTI-SCIENCES. (2019). CCM-220 Plus. Recuperado el 23 de Marzo de 2019 de Opti-Sciences Inc: <https://www.optisci.com/ccm-200.html>

Organización de los Estados Americanos - OEA. (1994). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. Washington D.C: INERHI-PREDESUR-CONADE.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (1995). *Update and revision of the air quality guidelines for Europe*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2000). *Chapter 7.1. Ozone and other photochemical oxidants. Air Quality Guidelines - Second Edition*. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra: WHO/OMS.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (s.f.). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes. Recuperado el 26 de Marzo de 2019 de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14454:ambient-and-household-air-pollution-and-health-frequently-asked-questions&Itemid=72243&lang=es

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2019). Los efectos sobre la salud. Recuperado el 12 de Abril de 2019 de https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/

Organización Mundial de la Salud - OMS (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes. Recuperado el 26 de marzo de 2019 de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14454:ambient-and-household-air-pollution-and-health-frequently-asked-questions&Itemid=72243&lang=es

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2016). Cambio climático y salud. Recuperado el 26 de marzo de 2019 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>

Otri, S. (2009). Reducción de NOx en motores diesel - Resumen. Universidad de Alicante. Recuperado el 06 de mayo de 2019 de <https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-0758-reduccion-nox.pdf>

Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades*, 16-25.

Palomäki, V., Hassinen, A., Lemettinen, M., Oksanen, T. H.-S., Holopainen, J., Seppo, K., & Holopainen, T. (1998). *Open-top Chamber Fumigation System for Exposure of Field Grown Pinus sylvestris to Elevated Carbon Dioxide and Ozone Concentration*. *Silva Fennica*, 205-214.

- Palomares Palacios, A. (2010). Niveles de ozono y riesgos para la vegetación en la Comunidad Valenciana. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Peña, J. M., y Ramírez, J. A. (2016). Métodos espectrales modernos para el post proceso de mediciones experimentales de contaminación atmosférica. *Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), 1188- 1192.
- Pleijel, H., Wallin, G., Karlsson, P., Skarby, L., & Sellden, G. (1994). *Ozone deposition to an oat crop (Avena sativa L.) grown in open-top chambers and in the ambient air. Atmospheric Environment*, 1971-1979.
- Potinga, F., Hadji, K., Guemou, M., Yanallah, K., Fernández, A., & H, M. (2014). *Ozone production by corona discharge using a hollow needle-plate electrode system. 20th international conference on gas discharges and their applications* (págs. 220-231). At Orléans: Universidad de Sevilla.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (s.f.). La capa de ozono y las SAO. Control aduanero de sustancias que agotan la capa de ozono. Recuperado el 06 de mayo de 2019 de <http://www.pnuma.org/ozono/curso/pdf/m1.pdf>
- Rawson, H., & Gómez, H. (2001). Trigo regado, manejo de cultivo. Canberra: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Romero-Placeres, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. La Habana: Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.
- Romero-Placeres, M., Más-Bermejo, P., Lascaña-Navarro, M., Téllez Rojo-Solís, M., Aguilar-Valdés, J., & Romieu, I. (2004). Contaminación atmosférica,

asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud Pública México*, 222-233.

Romero, J. (2015). Desarrollo de un fotómetro económico y portátil para la medida de ozono troposférico. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.

Rosas, C. (2007). Pigmentos fotosintéticos en la columna de agua determinados mediante técnicas espectroscópicas y cromatográficas (HPLC-RP) variabilidad espacio-temporal y efectos de radiación UV. Valdivia: Tesis de Grado: Universidad Austral de Chile.

Sala, R., & Squadrito, G. (1992). El ozono como oxidante de lípidos biológicos: causas y efectos. *Revista de Química*, (2), 181-190.

SEDEMA. (2016). ¿Qué es el ozono? Recuperado el 06 de mayo de 2019 de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-esozono.pdf>

Schewela, D., & Goelzer, B. (2012). Gestión de la Contaminación Atmosférica. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

Schuler, T. (1995). The architecture of urban stream buffers. . *Watershed Protection Techniques*, 155-163.

Secretaría de Ambiente. (2017). Informe de la Calidad de Aire - 2016. Quito: Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

Secretaría de Ambiente. (2018). Informe de la Calidad de Aire - 2017. Quito: Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

Secretaría de Ambiente. (2019). Red de Monitoreo Atmosférico. Recuperado el 06 de Mayo de 2019 de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/generalidades>

Secretaria del Ambiente. (2018). Informe de Calidad de Aire 2017. Quito: Alcaldia de Quito.

- Serra, H., & Cafaro, T. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 41, 525-532.
- Smirnoff, N. (1996). *The function and metabolism of ascorbic acid in plants. Annals of Botany* 78, 661-669.
- Sociedad Española de Ornitología - SEO / BirdLife . (12 de Abril de 2019). La contaminación atmosférica, más que un riesgo para la salud humana. Obtenido de <https://www.efeverde.com/noticias/contaminacion-atmosferica-aves/>
- Soja, G., & Soja, A. (1995). *Ozone effects on dry matter partitioning and chlorophyll fluorescence. Water, Air and Soil Pollution* 85, 1461-1466.
- Spiegel, J., & Maystre, L. (2012). *Control de la Contaminación Ambiental*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo - INSHT.
- Takeuchi, Y., & Toshiki, I. (1993). *Removal of ozone from air by activated carbon treatment . Separations Technology*, 168–175.
- Thermo Fisher Scientific. (2011). Model 49 i, Intruction Manual. *Thermo Scientific* , 1-2. Recuperado el 16 de Abril de 2019 de <http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-manual-Model%2049i.pdf>
- UNECE. (2009). *Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends. Convention on Long-range Transboun-dary Air Pollution*. <http://www.icpmapping.org>.
- Unión Europea - UE. (2008). *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&from=EN>

- University Corporation For Atmospheric Research - UCAR. (2019). *Change in the Atmosphere with Altitude*. Recuperado el 05 de Mayo de 2019 de UCAR SciEd: <https://scied.ucar.edu/>
- Velázquez de Castro, F. (1997). Modelización y análisis de las concentraciones de ozono troposférico. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Wang, X., Manning, W., Feng, Z., y Yongguan, Z. (2007). *Ground-level ozone in China: Distribution and effects on crop yields*. *Environmental Pollution*, 147, 394-400.
- Wittig, V., Ainsworth, E., & Long, S. (2007). *To what extent do current and projected increases in surface ozone affect photosynthesis and stomatal conductance of trees? A meta-analytic review of the last 3 decades of experiments*. *Plant, Cell & Environment* 30, 1150-1162.
- Zabeltitz, C. (2002). *Greenhouses structures*. *Ecosystems of the world*, 20, 17-71.

ANEXOS

Anexo 1. Humedad Relativa - Aire Ambiente

Humedad Relativa %			
Fecha	Hora	Aeroqual	REMMAQ-LCH
26/02/2019 - 27/02/2019	0	68.42	89.74
	1	68.35	89.55
	2	70.09	89.45
	3	69.38	89.39
	4	65.63	86.09
	5	63.16	85.57
	6	62.52	85.5
	7	47.73	70.74
	8	47.10	68.3
	9	41.81	62.01
	10	38.37	52.57
	11	42.10	51.42
	12	40.87	48.26
	13	41.46	46.06
	14	47.01	54.5
	15	54.72	60.49
	16	55.76	63.03
	17	62.40	69.23
	18	67.77	76.14
	19	71.93	93.04
	20	69.98	92.42
	21	66.89	92.32
	22	69.31	92.51
	23	69.33	93.22
	24	72.25	93.73
	25	71.92	93.6
	26	67.69	91.21
	27	41.48	72.26
	28	41.63	62.29
	29	47.70	57.54
	30	43.22	51.76
	31	38.44	46.16
	32	39.86	51.25
	33	39.62	47.43
	34	41.91	48.21
	35	56.17	68.89
	36	60.00	79.81
37	67.80	86.51	

	38	72.48	88.81
	39	73.25	87.02

Anexo 2. Temperatura Media - Aire Ambiente

Temperatura Media (°C)			
Fecha	Hora	Aeroqual	REMMAQ-LCH
26/02/2019 - 27/02/2019	0	19.42	13.96
	1	19.57	14.00
	2	19.15	13.92
	3	18.84	13.44
	4	18.47	12.60
	5	18.38	12.01
	6	18.14	11.94
	7	23.19	15.26
	8	23.69	16.12
	9	26.38	18.30
	10	27.27	20.52
	11	25.79	21.27
	12	26.75	22.62
	13	26.00	23.02
	14	24.82	21.17
	15	24.15	19.81
	16	22.70	19.03
	17	20.94	17.88
	18	19.52	16.33
	19	19.26	13.87
	20	19.09	13.06
	21	18.81	12.57
	22	18.52	12.79
	23	18.69	12.87
	24	18.10	12.82
	25	18.17	12.92
	26	19.67	13.67
	27	29.19	17.91
	28	28.02	19.43
	29	25.22	20.62
	30	25.67	21.53
	31	27.35	22.43
	32	28.01	21.18
	33	27.54	22.74
	34	27.18	22.74
35	22.52	17.97	

	36	22.10	15.40
	37	20.44	14.97
	38	19.41	15.07
	39	18.88	14.95

Anexo 3. Concentración de ozono - Aire Ambiente

Concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Fecha	Hora	Aeroqual	REMMAQ-LCH
26/02/2019 - 27/02/2019	0	30.27	22.93
	1	26.21	20.66
	2	20.89	14.95
	3	16.08	8.86
	4	9.80	1.39
	5	10.43	1.54
	6	8.68	1.53
	7	7.65	3.77
	8	12.68	7.23
	9	23.67	21.78
	10	44.53	47.38
	11	50.97	59.16
	12	42.47	65.54
	13	77.47	77.47
	14	59.86	71.58
	15	39.08	35.44
	16	35.94	34.72
	17	34.54	33.73
	18	36.73	29.67
	19	31.13	36.06
	20	30.50	36.06
	21	45.36	40.26
	22	41.06	33.45
	23	32.97	24.60
	24	17.70	18.75
	25	11.72	5.56
	26	9.36	4.85
	27	19.26	19.13
	28	31.90	35.61
	29	46.94	52.12
	30	63.11	69.64
	31	83.10	90.29
	32	56.86	65.84
33	61.87	67.13	

	34	56.18	52.75
	35	34.44	40.19
	36	30.65	23.62
	37	20.58	20.80
	38	19.42	20.87
	39	27.55	29.58

Anexo 4. Concentración de ozono - Cámara testigo

Concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
Fecha	Hora	REMMAQ-LCH	Cámara Testigo	Hora	Porcentaje de remoción	Promedio
28/2/2019	0	12.25	0.09	0	99.2	95.6
	1	7.96	0.27	1	96.6	95.6
	2	26.73	2.99	2	88.8	95.6
	3	34.42	6.66	3	80.6	95.6
	4	29.29	5.97	4	79.6	95.6
	5	13.38	4.30	5	67.9	95.6
	6	7.32	1.95	6	73.4	95.6
	7	5.79	1.63	7	71.9	95.6
	8	16.69	0.27	8	98.4	95.6
	9	28.02	0.00	9	100.0	95.6
	10	44.59	0.00	10	100.0	95.6
	11	65.89	2.80	11	95.8	95.6
	12	82.33	6.49	12	92.1	95.6
	13	104.34	7.32	13	93.0	95.6
	14	83.21	10.65	14	87.2	95.6
	15	49.59	6.40	15	87.1	95.6
	1/3/2019	16	13.23	0.22	16	98.3
17		10.45	0.00	17	100.0	95.6
18		16.22	0.00	18	100.0	95.6
19		14.27	0.00	19	100.0	95.6
20		33.18	1.18	20	96.5	95.6
21		40.91	1.70	21	95.8	95.6
22		41.34	1.00	22	97.6	95.6
23		24.56	1.18	23	95.2	95.6
24		6.44	0.65	24	89.9	95.6
25		5.72	0.05	25	99.1	95.6
26		18.46	0.00	26	100.0	95.6
27		44.51	0.00	27	100.0	95.6
28		63.15	0.00	28	100.0	95.6
29		80.42	0.44	29	99.5	95.6

	30	98.39	11.56	30	88.2	95.6
	31	82.47	6.47	31	92.2	95.6
	32	64.89	0.00	32	100.0	95.6
	33	43.87	0.00	33	100.0	95.6
	34	32.28	0.00	34	100.0	95.6
	35	31.42	0.00	35	100.0	95.6
2/3/2019	36	1.09	0.00	36	100.0	95.6
	37	2.00	0.00	37	100.0	95.6
	38	35.10	0.00	38	100.0	95.6
	39	33.35	0.00	39	100.0	95.6
	40	22.14	0.00	40	100.0	95.6
	41	10.01	0.00	41	100.0	95.6
	42	9.40	0.00	42	100.0	95.6
	43	17.46	0.00	43	100.0	95.6
	44	20.72	0.00	44	100.0	95.6
	45	39.93	0.00	45	100.0	95.6
	46	56.78	0.00	46	100.0	95.6
	47	81.31	0.00	47	100.0	95.6
	48	87.12	0.00	48	100.0	95.6
	49	80.63	0.00	49	100.0	95.6
	50	81.92	0.00	50	100.0	95.6
	51	97.73	0.00	51	100.0	95.6
	52	98.25	0.00	52	100.0	95.6
	53	72.78	0.00	53	100.0	95.6

Anexo 5. Concentración de ozono - Cámara de exposición

Concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Fecha	Hora	Cámara de exposición	REMMAQ-LCH
3/3/2019	0	0.00	
	1	3.63	15.95
	2	2.51	4.04
	3	0.97	2.87
	4	1.80	5.34
	5	2.42	4.39
	6	2.50	3
	7	2.52	3.53
	8	1.50	7.98
	9	1.27	27.46
	10	0.74	63.43
	11	12.47	84.81

12	18.80	91.71
13	62.43	93.72
14	54.36	86.65
15	32.48	71.37
16	11.78	54.31
17	9.92	39.16
18	6.31	22.34
19	3.77	17.19
20	5.57	34.96
21	3.40	19.64
22	3.26	13.37
23	5.60	12.16

Anexo 6. Prueba 1 de dosificación de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fecha		Minutos	Prueba 1 - Con Ventilador - Cámara abierta
7/3/2019	Generación	1	13.25
		2	32.37
		3	58.86
		4	79.49
		5	95.68
		6	107.46
		7	107.42
		8	113.34
		9	120.70
		10	126.59
		11	130.96
		12	135.42
		13	139.84
		14	136.85
		15	136.90
		16	132.48
		17	138.32
		18	133.95
		19	138.32
		20	144.26
		21	139.79
		22	142.78
		23	142.78
		24	147.15
		25	154.51
		26	161.85

Decaimiento	1	98.52
	2	33.87
	3	33.87
	4	33.87
	5	29.45
	6	26.50
	7	16.20
	8	16.20
	9	14.72
	10	5.89
	11	5.89

Anexo 7. Prueba 2 de dosificación de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fecha		Minutos	Prueba 2 - Con Ventilador - Cámara abierta
7/3/2019	Generación	1	23.98
		2	25.36
		3	25.36
		4	28.06
		5	34.75
		6	41.50
		7	49.57
		8	53.59
		9	57.61
		10	62.97
		11	62.97
		12	66.99
		13	72.35
		14	72.33
		15	73.69
		16	72.42
		17	72.44
		18	72.44
		19	75.12
		20	89.88
		21	110.00
Decaimiento	1	106.04	
	2	80.54	
	3	46.94	
	4	34.87	
	5	34.84	

		6	26.80
		7	24.10
		8	25.43
		9	24.08
		10	21.40
		11	18.73
		12	18.73

Anexo 8. Prueba 3 de dosificación de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fecha		Minutos	Prueba 3 - Con Ventilador - Cámara cerrada
7/3/2019	Generación	1	0.00
		2	17.44
		3	40.68
		4	61.03
		5	77.03
		6	97.38
		7	113.37
		8	113.41
	Decaimiento	1	95.96
		2	65.43
		3	40.71
		4	24.72
		5	11.64
		6	1.45
		7	1.45
		8	0.00

Anexo 9. Prueba 4 de dosificación de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fecha		Minutos	Prueba 4 - Con Ventilador - Cámara cerrada
7/3/2019	Generación	1	0.00
		2	21.82
		3	58.20
		4	58.20
		5	87.32
		6	112.10

Decaimiento	1	110.65
	2	81.56
	3	58.25
	4	39.33
	5	39.32
	6	27.67
	7	13.11
	8	8.74
	9	0.00

Anexo 10. Prueba 5 de dosificación de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fecha		Minutos	Prueba 5 - Sin Ventilador - Cámara cerrada
7/3/2019	Generación	1	0.00
		2	8.80
		3	41.08
		4	70.42
		5	70.42
		6	101.23
		7	129.10
		8	151.16
	Decaimiento	1	143.87
		2	120.38
		3	104.27
		4	104.27
		5	89.58
		6	74.90
		7	66.11
		8	57.29
		9	49.95
		10	38.20
		11	38.20
		12	32.34
13	24.99		
14	19.11		
15	13.23		
16	11.76		
17	5.88		
18	2.94		
19	2.94		
20	0.00		

Anexo 11. Prueba horaria de dosificación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Cámara de exposición

Dosificación de ozono en tiempo real - 60 minutos - 15h00		
Fecha	Aeroqual	Hora
5/3/2019	7.75	10
	25.05	11
	20.15	12
	26.50	13
	30.22	14
	100.66	15
	33.66	16
	17.39	17
	11.10	18
	7.26	19
7.26	20	

Anexo 12. Máximos promedios octohorarios - Experimentación

Concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Fecha	Promedios Octohorarios	Promedio Total
11/03/19	60.23	93.5
12/03/19	70.28	93.5
14/03/19	65.20	93.5
15/03/19	69.82	93.5
16/03/19	63.17	93.5
17/03/19	61.80	93.5
18/03/19	64.40	93.5
19/03/19	62.11	93.5
20/03/19	68.25	93.5
21/03/19	71.04	93.5
22/03/19	104.39	93.5
23/03/19	114.45	93.5
24/03/19	103.35	93.5
25/03/19	108.53	93.5
26/03/19	106.12	93.5
27/03/19	111.20	93.5
28/03/19	115.83	93.5
29/03/19	110.76	93.5
31/03/19	117.92	93.5
01/04/19	102.88	93.5

02/04/19	112.29	93.5
03/04/19	103.92	93.5
04/04/19	100.16	93.5
05/04/19	100.15	93.5
06/04/19	109.26	93.5
07/04/19	108.60	93.5
08/04/19	103.96	93.5
09/04/19	109.33	93.5
10/04/19	100.31	93.5
11/04/19	104.96	93.5

Anexo 13. Concentraciones de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedios horarios - Experimentación

Concentración de ozono																	
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
11/3/2019				18.67	89.52	112.58	114.81	89.96	39.37	12.09	4.85	2.17	7.97	7.60	10.09	12.00	
12/3/2019	0.13	78.43	110.06	115.79	108.82	42.79	35.05	42.32	28.99	12.01	6.50	4.90	4.91	6.08	6.38	4.21	
14/03/19		9.63	14.37	82.65	100.04	122.75	102.46	42.86	32.75	23.73	12.04	9.95	7.76	5.44	3.46	5.82	
15/03/19			4.64	30.29	92.46	102.24	117.26	91.86	83.52	22.38	18.53	6.76	1.23	2.22	3.32	4.41	
16/03/19		3.04	19.96	99.52	117.44	108.45	88.58	31.24	25.64	14.53	8.21	9.38	13.72	6.57	3.79	2.81	
17/03/19		4.25	9.31	20.50	86.50	105.99	114.37	90.81	30.00	24.75	21.80	20.16	22.09	13.89	12.88	16.44	
18/03/19			12.30	15.40	88.86	100.15	112.31	115.93	50.60	19.30	12.63	12.94	15.38	9.45	6.93	5.59	6.13
19/03/19			14.56	36.89	88.00	118.58	119.63	85.55	19.68	14.01	9.84	10.33	9.39	8.70	8.08	8.50	
20/03/19											88.77	124.20	115.14	113.91	103.99		
21/03/19			12.94	107.56	127.85	123.70	113.72	42.03	29.30	14.63	9.56	6.45	11.98	9.63	10.70	10.95	11.23
22/03/19				9.15	78.46	91.22	124.73	138.06	123.34	102.75	88.36	88.22	79.48	78.15	25.27	14.40	14.38
23/03/19											98.12	114.13	126.58	99.81	118.15	129.95	
24/03/19				121.69	115.54	124.43	130.64	119.11	91.91	80.39	43.09	13.12	8.39	10.70	11.43	12.31	
25/03/19			2.00	88.15	123.53	123.30	141.81	142.51	138.92	65.76	44.29	21.82	5.97	6.62	2.34		
26/03/19		0.76	23.24	87.36	134.61	156.59	163.53	139.63	116.24	27.74	5.18	1.80	0.17	0.62	3.09	3.64	8.20
27/03/19		1.64	53.96	107.60	131.45	138.96	160.29	141.27	154.47	62.85							
28/03/19		26.79	93.29	113.08	134.15	151.13	153.25	139.11									
29/03/19									68.98	157.18	161.48	136.79	138.41	139.93	83.33	28.53	
31/03/19			94.53	114.37	144.81	150.65	162.63	164.75	111.64								
1/4/2019				68.66	134.34	140.21	158.54	120.31	130.21	70.60							
2/4/2019	62.17	124.36	146.31	151.13	160.33	120.12	69.07	64.82									
3/4/2019				80.56	124.10	123.45	130.95	126.29	105.23	90.55	50.24						
4/4/2019	89.22	104.49	104.08	111.97	121.68	111.31	99.12	59.38									
5/4/2019		78.19	55.64	102.79	134.31	145.64	160.34	122.04	45.50	56.96							
6/4/2019		41.63	35.48	30.11	81.18	107.63	104.95	113.68	137.05	150.80	148.70	30.25					
7/4/2019					13.29	93.36	113.05	123.99	159.48	143.97	126.42	85.89	22.62				
8/4/2019					90.30	108.43	127.92	149.28	108.08	100.67	100.34	46.67					

9/4/2019		60.37	82.57	131.31	179.47	136.47	106.66	101.68	76.10								
10/4/2019		62.76	95.64	104.10	111.93	123.22	123.16	96.28	85.38								
11/4/2019			7.55	28.43	117.05	142.65	158.12	161.13	134.62	90.15	14.80						
Promedio	50.5	45.9	49.6	79.5	114.4	115.6	120.3	106.0	84.9	65.5	52.8	44.2	39.0	31.9	25.8	18.5	10.0
Máximo	89.2	124.4	146.3	151.1	179.5	156.6	163.5	164.8	154.5	159.5	161.5	136.8	138.4	139.9	118.1	129.9	14.4
Mínimo	0.1	0.8	2.0	9.2	68.7	13.3	35.1	31.2	19.7	12.0	4.8	1.8	0.2	0.6	2.3	2.8	6.1

Anexo 14. Evidencia fotográfica - Chilca - experimentación



Anexo 15. Evidencia fotográfica - Iso - experimentación



Anexo 16. Evidencia fotográfica - Guarango - experimentación



Anexo 17. Evidencia fotográfica - Mora de Quito - experimentación



Anexo 18. Evidencia fotográfica – Guarango – experimentación



Anexo 19. Muestra vegetal de especies experimentales - Testigo



Anexo 20. Muestra vegetal de especies experimentales - Cámara de exposición



Anexo 21. Parámetros morfológicos - Antes y después de experimentación - Testigo

Tratamiento 0	TALLO		Número			
	Altura (cm)		Hojas			
	h (o)	h (f)	Cantidad inicial	Cantidad final	Síntomas por O ₃	
					Manchas	Pérdida Foliar
G-T0-1	11.8	35	9	28	0	0
G-T0-2	14	38.2	30	63	0	0
G-T0-3	24.6	39.6	31	54	0	0
G-T0-4	32.2	44.9	78	95	0	0
G-T0-5	28.7	45.3	20	58	0	0
G-T0-6	37	49.3	83	115	0	0
G-T0-7	73.4	94.2	90	154	0	0
G-T0-8	60	101	99	203	0	0
I-T0-1	35.2	42.9	35	62	0	0
I-T0-2	15.4	22.5	22	47	0	0
I-T0-3	24.2	38.4	39	48	0	0
I-T0-4	30.2	38.6	34	46	0	0
I-T0-5	18.9	25.6	22	40	0	0
I-T0-6	20.1	28.9	63	77	0	0
I-T0-7	43.1	63.2	71	83	0	0
I-T0-8	58.7	75.2	83	105	0	0
C-T0-1	11.8	21.6	12	36	0	0
C-T0-2	10.6	20	30	58	0	0
C-T0-3	15.2	24.9	17	35	0	0
C-T0-4	31.3	52.4	12	28	0	0
C-T0-5	31.4	42.4	30	39	0	0
C-T0-6	21.1	36.4	19	25	0	0
C-T0-7	42.5	75.8	22	63	0	0
C-T0-8	39.5	46.3	15	28	0	0
O-T0-1	13.5	20	18	26	0	0
O-T0-2	14.5	19.4	32	40	0	0
O-T0-3	18.3	24.7	52	59	0	0
O-T0-4	23.2	31.6	34	41	0	0
O-T0-5	14.3	21.8	61	77	0	0
O-T0-6	12.1	17.1	33	39	0	0
O-T0-7	19.5	33.2	11	26	0	0
O-T0-8	41	48.5	90	154	0	0
M-T0-1	45.2	74.1	40	57	0	0
M-T0-2	14.2	38.7	60	71	0	0

M-T0-3	20.1	63.5	83	91	0	0
M-T0-4	60.1	96.2	79	103	0	0
M-T0-5	77	103.6	78	115	0	0
M-T0-6	10.9	20.8	21	32	0	0
M-T0-7	30.7	58.4	36	72	0	0
M-T0-8	29.7	65	77	86	0	0

Anexo 22. Parámetros morfológicos - Antes y después de experimentación –
Tratamiento de exposición

Tratamiento 1	TALLO		Número			
	Altura (cm)		Hojas			
	h (o)	h (f)	Cantidad inicial	Cantidad final	Síntomas por O ₃	
					Manchas	Pérdida Foliar
G-T1-1	16	38.4	47	13	7	36
G-T1-2	15	27.2	52	22	12	41
G-T1-3	14.5	31.3	83	26	17	77
G-T1-4	22	31.9	97	56	32	65
G-T1-5	31	51	35	29	20	19
G-T1-6	39	57.8	109	68	51	62
G-T1-7	60	95.3	86	76	52	16
G-T1-8	43.5	78.2	112	53	48	69
I-T1-1	52	58.2	36	42	22	3
I-T1-2	36.4	37.6	28	58	42	18
I-T1-3	58.5	63.1	103	125	92	15
I-T1-4	67	75.6	33	45	31	4
I-T1-5	33.2	40.2	31	38	10	6
I-T1-6	29.3	32.9	20	27	11	8
I-T1-7	35	37.6	85	59	45	14
I-T1-8	60	74.3	34	85	76	11
C-T1-1	13.1	16.3	4	9	6	0
C-T1-2	10	19.8	5	20	12	0
C-T1-3	19.1	32.4	8	12	8	0
C-T1-4	25.5	26.3	16	28	16	0
C-T1-5	35.1	49.3	21	32	21	0
C-T1-6	43.7	51	51	89	29	0
C-T1-7	18.5	54.6	14	42	26	0
C-T1-8	44.4	50.3	30	78	32	0
O-T1-1	15.1	20.1	43	31	29	0
O-T1-2	17.2	25.5	27	34	34	0

O-T1-3	18.7	25.1	62	34	23	28
O-T1-4	18.6	34.3	38	63	63	0
O-T1-5	15.8	36.4	32	25	25	7
O-T1-6	19	25.3	53	23	23	30
O-T1-7	34	40.5	35	10	9	25
O-T1-8	26.6	44.3	80	93	76	0
M-T1-1	56.2	61.2	40	71	5	0
M-T1-2	15.3	25.4	25	43	1	0
M-T1-3	32	48.6	128	144	3	0
M-T1-4	77	133	75	95	22	0
M-T1-5	45	75.3	49	68	2	0
M-T1-6	36.7	54.5	82	110	10	0
M-T1-7	25	33.4	80	109	4	0
M-T1-8	61.8	89.5	81	102	5	0

Anexo 23. Concentración de ácido ascórbico - Antes y después de experimentación

Código	Inicio	Final	
		T0	T1
	g/L	g/L	g/L
C-I-1	0.4	0.45	0.2
C-I-2	0.25	0.3	0.3
C-I-3	0.2	0.3	0.2
O-I-1	0.2	0.25	0.15
O-I-2	0.2	0.2	0.1
O-I-3	0.15	0.15	0.1
M-I-1	0.6	0.6	0.4
M-I-2	0.45	0.6	0.45
M-I-3	0.5	0.7	0.5
G-I-1	0.4	0.25	0.2
G-I-2	0.3	0.4	0.2
G-I-3	0.25	0.3	0.2
I-I-1	0.15	0.2	0.15
I-I-2	0.2	0.15	0.15
I-I-3	0.2	0.25	0.1

Anexo 24. Índice de contenido de clorofila - Antes y después de experimentación

Código	T1		T0	
	CCI (Índice de contenido de clorofila)	CCI (Índice de contenido de clorofila)	CCI (Índice de contenido de clorofila)	CCI (Índice de contenido de clorofila)
G-T1-1	4.7	2.1	1.9	5.2
G-T1-2	2.8	1.8	2	3.5
G-T1-3	2.1	1.2	2.9	2.2
G-T1-4	3.8	1.9	5	5.4
G-T1-5	2.4	1.7	2.2	2.4
G-T1-6	2.5	1.7	2.8	2.8
G-T1-7	3.2	1.8	1.7	2.9
G-T1-8	5.1	3.8	2.4	2.9
I-T1-1	1.6	1	2.5	3.5
I-T1-2	1.4	1	2.5	2.5
I-T1-3	1.8	1	1.8	2.3
I-T1-4	1.2	1	1.7	1.9
I-T1-5	1.6	1	1.1	1.5
I-T1-6	2.2	2	1.1	1.4
I-T1-7	2.4	1.5	1.1	1.3
I-T1-8	2.8	1.8	1.1	1.5
C-T1-1	12.8	5.1	17.1	17.3
C-T1-2	12	6.3	9	15.4
C-T1-3	11.8	12.1	10.5	16.3
C-T1-4	8.3	7.6	17	18.4
C-T1-5	13.3	12.1	11.3	13.5
C-T1-6	15.9	13.4	13.1	17.2
C-T1-7	15.9	13.7	13.1	13.1
C-T1-8	15.9	12.9	13.1	18.1
O-T1-1	12	6.3	17.8	20.5
O-T1-2	12.5	3.6	10.8	15.4
O-T1-3	11.6	8.8	16.6	16.1
O-T1-4	9.9	3.7	13.5	15.2
O-T1-5	11.2	3.6	10.8	14.7
O-T1-6	15.2	3.8	6.5	12
O-T1-7	15.7	5.9	12.6	15.7
O-T1-8	18.3	7.2	23	28.4
M-T1-1	15.1	17.8	10	26.6
M-T1-2	12.1	9.4	11.1	23.8
M-T1-3	20.1	23.3	12.5	28.2
M-T1-4	22.1	15.64	11.1	24.3
M-T1-5	20.1	18.6	20.6	15.8
M-T1-6	11.1	10.8	17.5	16

M-T1-7	20.1	26.8	23.5	26.5
M-T1-8	18.1	18.3	15.6	18.9

Anexo 25. Cámara de exposición



Anexo 26. Cámara testigo



