

27



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“EFECTO DE ETILENEDIUREA (EDU) COMO PROTECTOR  
CONTRA DAÑO POR OZONO, EN RABANITO (*Raphanus sativus L.*)  
VAR. CHERRY BELLE EN MONTECILLO, MEXICO.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A

VICTOR MANUEL PEREA ESTRADA

ASESOR. ING. JUAN ROBERTO GUERRERO AGAMA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEX.

2000.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



U. N. A. M.  
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS  
CUAUTITLAN, QUERÉTARO  
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos:

la TESIS:

" Efecto DE Etilenediurea (EDU) como protector contra  
daño por ozono, en Repanico (Raphanus sativus L.) var.  
Cherry Belle en Montecillo, México "

que presenta al pasante Perea Estrada Víctor Manuel

con número de cuenta: 9362024-4 para obtener el título de:

Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 17 de Noviembre de 1999.

PRESIDENTE

I.A. Miguel Ballardo Parra

VOCAL

I.A. Hilda Carina Gómez Villar

SECRETARIO

I.A. Roberto Guerrero Agana

PRIMER SUPLENTE

I.A. Francisco Cruz Pizarro

SEGUNDO SUPLENTE

I.A. Gustavo Mercado Mancera

## *Dedicatorias*

*A la memoria de mi padre Rodolfo Perea Ortega a quien le estaré eternamente agradecido por sus enseñanzas, amor, consejos y por darme una formación.*

*A mi madre Amparo Estrada Mota. Por su comprensión, amor y confianza en mí para continuar superándome en el difícil camino de la vida.*

*A mis hermanos: Luz María, Guillermo, Taurino, Carmen, Hortensia, Hugo, Rodolfo, Gloria y Maribel por su comprensión y cariño.*

*A mis cuñados (as): Francisco, Jesús, Aaron, Daniel, Rosario y Margarita por su apoyo incondicional.*

*A mis sobrinos: Francisco, Edmundo, Marco, David, Karina, Yoali, Ivan, Dalia, Marlene, Hugo, Oscar y Rodolfo, por el gran amor que les tengo.*

*A la Dra. Ma. De Lourdes de la I. de Bauer por sus consejos, enseñanzas, orientaciones y conducción aportados durante todo el desarrollo del presente trabajo.*

*A mi asesor: Ing. Juan Roberto Guerrero Agama. Por la dirección de esta tesis, sus enseñanzas y por ser un gran migo.*

## *Agradecimientos*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la F.E.S. - Cuautitlán que me dieron la oportunidad de estudiar la licenciatura.*

*Al Colegio de Postgraduados que me permitió realizar el presente trabajo en sus instalaciones.*

*Al M.C. Abel Quevedo Nolasco por su asesoría y apoyo en todo momento.*

*A los integrantes del Jurado, por sus opiniones y sugerencias para mejorar la redacción y el contenido del presente trabajo.*

*A mis amigos: Jorge, Carlos, Fernando, Juvenal, José, Joel, Gabriel, Norma, Marina, Cristina, Sonia, Claudio, Tomas, Christian, Enrique, Alejandro, Noé, Ismael, Carlos y Daniel. Gracias por brindarme su amistad incondicional nunca los olvidare.*

*Al Señor. Lázaro Carrillo Carrillo que me brindo su apoyo durante el experimento.*

## CONTENIDO

- i Índice de Cuadros
- ii Índice de Figuras
- iii Índice de Anexos
- iiii Resumen

	Pag.
I INTRODUCCION.....	1
II OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	4
III REVISION DE LITERATURA .....	5
3.1 CALIDAD AMBIENTAL.....	5
3.2 LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS Y SU EFECTO SOBRE LAS PLANTAS.....	7
3.2.1 Ozono.....	9
3.2.2 Nitrato de peroxiacetilo (PAN).....	16
3.2.3 Otros contaminantes.....	17
3.2.3.1 Bióxido de azufre.....	17
3.3 LAS PLANTAS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACION...	19
3.4 HUMEDAD EN EL SUELO Y OXIDANTES.....	22
3.5 PROTECTORES ANTIOXIDANTES.....	24

3.6 SOBRE EL CULTIVO.....	25
3.6.1 Origen e historia.....	25
3.6.2 Características botánicas y taxonomía.....	25
3.6.3 Exigencias ambientales.....	27
3.6.3.1 Temperatura.....	27
3.6.3.2 Fotoperiodo.....	27
3.6.3.3 Necesidades hídricas.....	27
3.6.3.4 El rabanito como bioindicador .....	27
 IV MATERIALES Y METODOS.....	 29
4.1 MATERIALES.....	29
4.1.1 Localización del área de estudio.....	29
4.1.2 La semilla utilizada.....	29
4.1.3 El protector antioxidante... ..	29
4.1.4 Lista de material utilizado. ....	31
4.2 METODOS.....	32
4.2.1 Control de la humedad del suelo... ..	32
4.2.2 Método de siembra y establecimiento del experimento.....	32
4.2.3 Cosecha.....	33
4.2.4 Control de la humedad del suelo . .....	34
4.2.5 Aplicación del EDU .....	35
4.2.6 Diseño experimental.....	36
4.2.7 Parámetros evaluados.....	38

4.2.7.1 Diámetro ecuatorial.....	38
4.2.7.2 Altura de la planta.....	38
4.2.7.3 Diámetro polar.....	38
4.2.7.4. Peso fresco de la raíz camosa.....	38
4.2.7.5. Peso fresco del follaje.....	38
4.2.7.6 Peso seco del rabanito.....	39
4.2.7.7 Peso seco del follaje.....	39
4.2.7.8 Area foliar.....	39
V. RESULTADOS.....	40
VI. DISCUSION Y ANALISIS.....	46
VII. CONCLUSIONES .....	50
VIII. RECOMENDACIONES.....	51
IX. BIBLIOGRAFIA.....	52
X. ANEXOS.....	56

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
3.1	Normas mexicanas de calidad del aire.....	6
3.2	Plantas utilizadas como indicadores, el estado de desarrollo, síntoma y daño atribuido al contaminante.....	21
3.3	Niveles altos de ozono, durante el año de 1988 con precipitación escasa y altas temperaturas en comparación con 1989.....	23
4.1	Características del suelo utilizado en las macetas en relación con la capacidad de retención de agua.....	32
4.2	Cantidad de agua aplicada a cada maceta.....	35
4.3	Método de aplicación de EDU a cada tratamiento.....	36
5.1	Promedio de cada uno de los parámetros que se estudiaron para este trabajo.....	44

## INDICE DE FIGURAS

Fig.		Pag.
3.1	Cooperación, entre el FSII, el complejo cit $b_6-f$ y el FS I en el acarreo de electrones, del $H_2O$ .....	12
3.2	Formación del ozono como aeropoluante secundario.....	14
3.3	Daños ocasionados por ozono en diferentes cultivos.....	15
3.4	Formación del Nitrato de peroxiacetilo (PAN).....	16
3.5	Hojas de petunia, con brillo metálico en el haz y en el envés atribuido a PAN.....	17
3.6	Pigmentación rojiza intervenal en una hoja de guayabo causada posiblemente por bióxido de azufre.....	19
3.7	Respuesta de rabanito ( <i>Raphanus sativus</i> ) a oxidantes ambientales..	28
4.1	Localización geográfica del área de estudio.....	30
4.2	Cubierta plástica.....	33
4.3	Distribución de los tratamientos.....	37
5.1	Altura media de la planta del rabanito .....	40
5.2	Diámetro ecuatorial y polar de la raíz carnosa.....	41
5.3	Peso en fresco y seco de la raíz carnosa.....	42
5.4	Peso en fresco y seco del follaje.....	43
5.5	Area foliar.....	43
5.6	Concentraciones de ozono en Montecillo Mex. Los meses de agosto-octubre, entre las 8:00 y las 17:00 hrs.....	44

## INDICE DE ANEXOS

Anexo		Pag.
1	ANDEVA Diámetro ecuatorial en mm.....	56
2	ANDEVA Altura de la planta.....	56
3	ANDEVA Diámetro poiar .....	56
4	ANDEVA Peso fresco del diámetro en gramos.....	56
5	ANDEVA Peso fresco del follaje en gramos.....	56
6	ANDEVA Peso seco del rabano en gramos.....	56
7	ANDEVA Peso seco del follaje en gramos.....	57
8	ANDEVA Area foliar.....	57
9	Concentraciones máximas y promedios de O <sub>3</sub> en Montecillo Mex ..	58
10	Datos promedios diarios de la estación meteorológica de Montecillo Edo. de México.....	59
11	Niveles de contaminación en relación con la radiación presentada durante el expernemnto.....	60
12	Humedad relativa y temperatura en comparación con niveles de ozono en Montecillo. México .....	60

## RESUMEN

La variedad de rabanito (*Raphanus sativus*) 'Cherry Belle' se conoce por su sensibilidad al ozono por lo que ha sido empleada como indicadora de la presencia de este gas a niveles fitotóxicos.

Por lo anterior, así como por el ciclo corto característico de la especie, la presente investigación se desarrolló con base a los siguientes objetivos: a) Evaluar el efecto del etilenediurea (EDU) como antioxidante en rabanito (*Rhaphanus sativus* L.) var. 'Cherry Belle', mediante la determinación de su efectividad al ser aplicado mediante el ensayo de diversos tratamientos, al suelo, follaje o suelo-follaje para prevenir a la planta del daño atmosférico en Montecillo Méx. y b) Confirmar la utilidad de la variedad indicadora bajo condiciones locales.

El trabajo experimental se llevó a cabo dentro de una cámara provista con cubierta plástica pero con suficiente ventilación lateral, las macetas se colocaron a 15 cm. del suelo. La siembra se realizó en macetas de unicel con una capacidad en volumen de 258.6 cm<sup>3</sup> conteniendo suelo de textura franco-arenosa. Primeramente se determinaron las características físicas del suelo como capacidad de campo (cc), punto de marchitez permanente (pmp), y textura. La siembra fue directa; se realizó el 24 de agosto de 1998 colocando en cada vaso 3 semillas para después aclarear y dejar solo una planta por maceta. La cosecha fue el 8 de octubre de 1998, separando el follaje de la raíz carnosa y lavando cada

lanta dejándola libre de tierra, cada una de las plantas se colocaron en bolsas, marcando la repetición y el tratamiento, correspondiente a cada planta. El mismo día de la cosecha se realizó la medición del área foliar de cada una de estas.

En cuanto a los resultados que se obtuvieron muestran que, en relación con el peso fresco del follaje no existió significancia estadística, ya que todos los tratamientos son iguales. En contraste el tratamiento 4 peso fresco del follaje en el que el EDU se aplicó al suelo y al follaje se obtuvo un valor mayor en comparación con el tratamiento 1 que fue el testigo. Otro de los parámetros importantes que se estudiaron fue la estimación del área foliar en la cual el tratamiento 4 (aplicación de EDU al suelo y al follaje) tuvo un 14.33% de mayor área foliar en comparación con el tratamiento 1, mientras que el tratamiento 3 (aplicación de EDU al follaje) se encontró un 11.186% de área foliar mayor que el tratamiento 1 (testigo)

Los resultados confirman que en el área de estudio el ozono puede causar reducción de biomasa en plantas sensibles posiblemente en las hojas disminuyendo su capacidad fotosintética y que el antioxidante empleado es de gran utilidad en la protección principalmente al ser aplicado como aspersión al follaje y puede ser empleado en estudios en los que la variedad de rabanito Cherry Belle se utilice como indicadora.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad, la tendencia indica que esta situación se agudizará en los años venideros, ya que la cantidad total de materiales contaminantes, también llamados poluentes, se ha incrementado de manera alarmante en los últimos decenios.

Antes de 1940 se había ya reconocido el efecto perjudicial de materiales particulados y de ciertos gases; sin embargo, en la actualidad existe conciencia de la acción nociva sobre los seres vivos y materia inerte, ocasionada por una amplia variedad de poluentes, entre los que se incluyen los gases oxidantes, partículas, agroquímicos y otros productos químicos, así como materiales radioactivos presentes en la atmósfera en el agua y en el suelo (Hernández y Bauer 1989)

Debido a que algunos de los productos fotoquímicos son capaces de oxidar ciertos materiales, se les han llamado oxidantes fotoquímicos, siendo el ozono ( $O_3$ ) y el nitrato de peroxiacetilo (PAN) los dos más importantes, desde el punto de vista de daño que producen en las plantas (Lefohn, 1992; Jacobson y Hill, 1970)

Jacobson y Hill (1970) señalan que los daños inducidos por contaminantes se presentan más claramente en las hojas, en las que frecuentemente se observa: clorosis, pigmentaciones, necrosis y/o alteraciones en el desarrollo; ocasionalmente se aprecian daños característicos en frutos, semillas y flores.

De acuerdo con estos y otros investigadores en 1971 y años subsecuentes, se realizaron una serie de ensayos, utilizando plantas indicadoras de aeropoluantes las que fueron expuestas en la Ciudad de México con el fin de determinar con base en los síntomas específicos la incidencia fitotóxica de contaminantes atmosféricos en el área metropolitana. Algunas de las plantas que se han probado como indicadoras son las siguientes: lechuga (*Lactuca sativa* var. Parris Island), espinaca (*Espinacea oleracea* var. Viroflay y H-7) frijol (*Phaseolus vulgaris* var. Pinto 133), alfalfa (*Medicago sativa* var. Africana), Tabaco (*Nicotiana tabacum* var. bel w-3), también se ha empleado una variedad de petunia, (*Petunia axillaris* var. Snowstorm), y rabanito (*Rhaphanus sativus*) var. 'Cherry Belle'.

La importancia del rabanito variedad 'Cherry Belle' en investigación radica en su sensibilidad al ozono, así como su facilidad de manejo en periodos cortos (30-31 días); estas características representan una ventaja en experimentación. Por otro lado, en las pasadas décadas algunos compuestos químicos han sido evaluados por su eficacia en la prevención a daños por ozono en ciertas variedades de plantas. Por ejemplo la Etilendiurea (EDU), ha sido el más efectivo y usado como protector químico antioxidante (Kostka-Rick y Mannig, 1993)

Por el ciclo corto del rabanito es muy rara la incidencia de plagas y enfermedades pero cuando se presentan pueden reducir la calidad y producción. Los daños más importantes son aquellos ocasionados por hongos y bacterias, además de que su control incrementa los costos del cultivo. Los factores climáticos (temperatura, humedad y luz, entre otros), también influyen en el rendimiento del rabanito; las

temperaturas elevadas inducen aumentos en la evapotranspiración y ocasionan marchitamiento cuando la humedad es insuficiente (González, 1992; Rodríguez, 1996).

La contaminación ambiental es un problema, que afecta tanto a seres humanos como a organismos vegetales, estos últimos de carácter más sensibles que los primeros. El presente experimento tuvo el propósito de probar la respuesta que tiene el rabanito al ser expuesto en una área cercana a la ciudad de México que es considerada una zona generadora de contaminación ambiental.

Por lo anterior se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

## II OBJETIVOS E HIPOTESIS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del etilenediurea (EDU) como antioxidante en rabanito (*Raphanus sativus* L.) var. 'Cherry Belle', para prevenir a la planta del daño atmosférico en montecillo Méx.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar los índices de daño por ozono al hacer aplicaciones de EDU al suelo, follaje y suelo-follaje
- Probar la utilidad del rabanito var 'Cherry Belle' como indicadora de ozono

### HIPÓTESIS

- Las concentraciones de ozono afectan al desarrollo y rendimiento de plantas sensibles como rabanito. por lo que la aplicación del EDU como antioxidante, reducirá el daño provocado por este gas fitotóxico.
- La mejor forma de aplicación del EDU es asperjarlo directamente al follaje para prevenir el daño contra el ozono, ya que este compuesto penetra por vía estomática.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. CALIDAD AMBIENTAL

El estado de la calidad ambiental en relación con atmósfera, se define con base en los niveles de contaminantes para los cuales se han publicado los criterios de calidad correspondientes y a su vez, son el apoyo para promulgar las normas de calidad del aire, que según sea su objetivo se clasifican en primarias y secundarias. Las normas-primarias de calidad del aire son aquellas que, con un margen adecuado de seguridad, protegen la salud de la población. Las normas secundarias señalan los niveles de la calidad del aire que protegen el bienestar de la población y a los recursos naturales o bienes de cualquier efecto adverso conocido o anticipado de los contaminantes (Bravo, 1987).

Los contaminantes atmosféricos considerados en las normas internacionales son: dióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales,  $PM_{10}$  (partículas menores a 10 micras), oxidantes fotoquímicos y óxidos de nitrógeno, mientras que las normas mexicanas vigentes hasta el momento se muestran en el Cuadro 3.1. (CNDH, 1992)

Cuadro 3.1 Normas mexicanas de calidad del aire.

Contaminante	Normas de Calidad del Aire		Frecuencia Máxima aceptada
	tiempo	concentración	
Partículas suspendidas totales (PST)	24 horas	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez al año
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	0.13ppm	1 vez al año
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	11.ppm	1 vez al año
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	0.21 ppm	1 vez al año
Ozono (O <sub>3</sub> )	1 hora	0.11 ppm	1 vez cada tres años

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 3 de diciembre de 1994 citado por INEGI, 1999

### Indíces de calidad del aire

Un índice de calidad del aire pondera y trasforma las concentraciones de un conjunto de contaminantes atmosféricos en un valor, que indica el nivel de contaminación atmosférica presente en una localidad dada y que puede ser difundido a la población en general. (Bravo, 1987).

En México el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) se determina al relacionar las concentraciones registradas de cinco contaminantes con sus efectos conocidos sobre la salud humana, a saber Partículas Suspendidas Totales (PST), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Nitratos (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), y monóxido de carbono (CO).

### 3.2. LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SU EFECTO SOBRE LAS PLANTAS.

Las plantas son particularmente sensibles a algunos contaminantes atmosféricos, aeropoluantes (Cualquier contaminante aéreo en forma gaseosa, líquida o sólida que causa efectos indeseables sobre organismos vivos o materiales); consecuentemente, hay un decremento en la fotosíntesis y el crecimiento; estas alteraciones frecuentemente pueden ocurrir antes de que se presenten los síntomas. Esta sensibilidad, de nivel más alto que la del hombre y los animales, ocasiona que los rendimientos se reduzcan notablemente debido a la aeropolución (Bauer y Hernández, 1986).

La identificación del daño en plantas inducido por aeropoluantes, generalmente comienza con la apreciación de síntomas, que en ocasiones, son similares a los causados por agentes bióticos.

Los daños inducidos por estos materiales se presentan más claramente en las hojas, en las que frecuentemente se observa: clorosis, pigmentaciones, necrosis y/o alteraciones en el desarrollo. Ocasionalmente se aprecian daños característicos en frutos, semillas y flores. Con frecuencia un mismo poluante puede causar síndromes diferentes que dependen del tiempo de exposición. (Jacobson y Hill, 1970; Bauer y Hernández, 1986).

Diversos investigadores como Queiroz, (1988); Dann y Pell, (1989); Pell y Puente, (1986) han encontrado que hay cambios en la actividad enzimática y en las funciones de la membrana. La actividad de la enzima (RuBP-carboxilasa) se reduce en plantas expuestas a ozono. También el ozono funciona como estimulante en la producción de etileno, gas que es producido durante la madurez del fruto, durante periodos de estrés y durante el envejecimiento.

Cuando las dosis de  $O_3$  son altas y los estomas se encuentran abiertos, el ozono entra a la planta durante el proceso de intercambio de gases entre el vegetal y su ambiente, una vez dentro de este el  $O_3$ , inhibe algunos sistemas enzimáticos y procesos metabólicos, las células se colapsan y mueren, siendo en particular el daño en el parenquima empalizada, los síntomas pueden observarse en la parte adaxial de la hoja (Bauer y Hemandez, 1986).

Es importante indicar que algunos constituyentes químicos atmosféricos tales como el azufre y las especies del nitrógeno son nutrientes, o elementos esenciales. Sin embargo dependiendo de su forma molecular y la concentración inclusive, la duración de su ocurrencia en la atmósfera, pueden ser también tóxicos (SO<sub>2</sub>). Los problemas comienzan cuando el suelo proporciona los requerimientos del cultivo y la atmósfera aporta una sobrecarga de ellos (Krupa, S.V, 1999).

### 3.2.1. Ozono

#### El efecto nocivo del O<sub>2</sub> en las plantas

Se ha demostrado que la rubisco cataliza la oxidación de RuBP por el oxígeno (O<sub>2</sub>). Los dos productos de la acción de la rubisco sobre RuBP y O<sub>2</sub> son 3-PGA y ácido fosfoglicólico. De este modo, tanto O<sub>2</sub> como CO<sub>2</sub> moleculares compiten por la misma enzima (rubisco) y por el mismo sustrato (RuBP). La rubisco es activada por la luz y es inactiva en la oscuridad, de manera que es incapaz de fijar O<sub>2</sub> ó CO<sub>2</sub> en la oscuridad (Salisbury y Roos, 1994)

Esta competencia entre O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por la rubisco explica el incremento en la inhibición de la fotosíntesis en plantas C-3 cuando disminuyen los niveles de (CO<sub>2</sub>). La ecuación general para la fotorrespiración (deteniendo el flujo de carbono en el 3-pga y abreviando bifosfato de ribulosa como RuBP y ferredoxina como Fd) es:  $2\text{RuBP} + 3\text{O}_2 + 2\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Fd}(\text{Fe}^{2+}) \xrightarrow{\text{luz}} \text{CO}_2 + 3 \text{ 3-PGA} + 2\text{ADP} + 3\text{Pi} + 2\text{Fd}(\text{Fe}^{3+})$  (Salisbury y Roos, 1994).

La respiración en órganos fotosintéticos iluminados se realiza mediante dos procesos: el proceso que ocurre en todas las partes de la planta aún en la oscuridad y un proceso mucho más rápido, que depende de modo estricto de la luz, y que se conoce como fotorrespiración. Los dos procesos están separados espacialmente dentro de las células: la respiración normal ocurre en el citosol y en mitocondrias, y la fotorrespiración se presenta en un proceso que implica la cooperación de cloroplastos, peroxisomas y mitocondrias (Salisbury y Roos, 1994).

Otra de las formas nocivas del  $O_2$  es la formación de radicales libres como el superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ) y el hidroxilo ( $OH^{\cdot}$ ). Las moléculas estables contienen átomos con electrones emparejados mientras que una molécula inestable —un radical libre— tiene un electrón no emparejado lo que es lo mismo un radical libre. Estas moléculas inestables recorren intentando robar un electrón con vistas a recuperar su estabilidad electroquímica lo que lo hace muy peligrosas por que para conseguirlo atacan moléculas estables. Una vez que el radical libre ha conseguido robar un electrón que necesita para emparejar su electrón libre la otra molécula se convierte a su vez en radical libre iniciándose así un círculo destructivo para las células en el cual son oxidados los lípidos de la membrana (Salisbury y Roos, 1994).

En la **fig. 3.1** se presenta un modelo en el cual los tres grandes complejos portadores de electrones (FSII, el complejo  $b_6-f$  y FS1) cooperan para realizar dicho transporte de  $H_2O$  al  $NADP^+$ . Cuando el  $H_2O$  se oxida en el CEO, se liberan dos electrones para transporte, el primer compuesto en recibirlos, uno a la vez es un aminoácido (tirosina) que se localiza en el polipeptido D1, el cual los pasa entonces al P680. La luz provoca la oxidación del  $P680^+$ , y a continuación el  $P680^+$  actúa como un atractor de electrones (oxidante) lo bastante poderoso para extraer un electrón de la tirosina situada en el polipéptido D1 el cual, a su vez, extrae un electrón del ion Mn del complejo CEO. El P680 cede su electrón a la feofitina (Feo), la cual lo pasa entonces a una plastoquinona especializada denominada  $Q_A$ , que esta unida fuertemente al polipéptido D2. El resultado global de la reducción de la PQ en el FS II, y su posterior oxidación en el complejo  $cit\ b_6-f$  es el transporte de dos  $H^+$  del estroma al lumen tilacoidal. Por cada molécula de  $H_2O$  que el CEO oxida se deposita un total de cuatro  $H^+$  en el lumen. En resumen la figura muestra que la transferencia de electrón, del  $H_2O$  al  $NADP^+$ , requiere dos fotones ya que es fundamental que haya excitación en ambos fotosistemas (Salisbury y Roos, 1994).

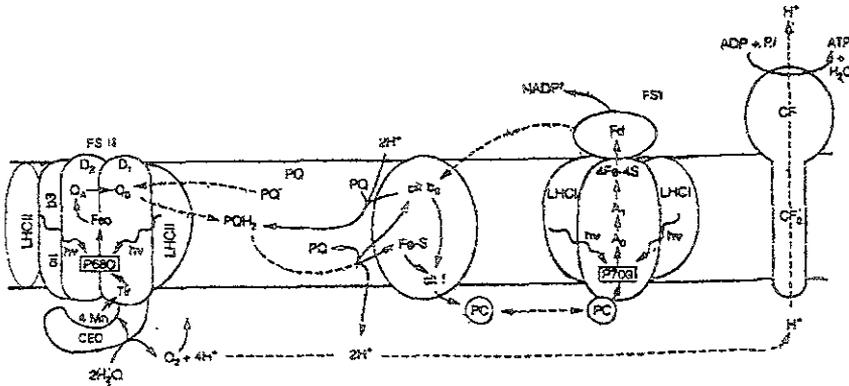


Fig. 3.1 Cooperación, entre el FS II (izquierda), el complejo cit  $b_6$ -f y el FS I en el acarreo de electrones, del  $H_2O$ .

Existe también un fenómeno conocido como solarización, una inhibición de la fotosíntesis dependiente de la luz y que es seguida de una decoloración causada por el oxígeno de los pigmentos del cloroplasto. Una de las funciones primordiales de algunos pigmentos carotenoides es proteger contra la solarización absorbiendo el exceso de energía luminosa que se libera en forma de calor en vez de transferirse a las clorofilas (Salisbury y Roos, 1994).

Por otro lado hay una enzima que contiene hierro, a la que se conoce como peroxidasa, la cual cataliza las reacciones separadas que conducen a la polimerización. La peroxidasa existe en varias formas de isoenzimas, unas pocas de las cuales se localizan en paredes celulares. Estas isoenzimas al parecer funcionan en primera instancia formando  $H_2O_2$  a partir de NADH y  $O_2$ . A continuación eliminan un átomo de hidrógeno, de cada uno de los alcoholes aromáticos y combinan los dos átomos de hidrógeno con un  $H_2O_2$  para liberar dos

moléculas de H<sub>2</sub>O como subproductos. La parte restante de cada alcohol aromático es ahora un radical libre, y varios tipos de cambios electrónicos permiten la emigración del electrón no apareado a otras partes de la molécula. Muchos de tales radicales libres se combinan de tal manera espontánea en varias formas para producir enlaces entre los alcoholes (Salisbury y Roos, 1994).

### La capa de ozono

El ozono, que se encuentra disperso en la atmósfera se genera durante las tormentas presenta una zona de máxima concentración en la estratosfera, a unos 25 km de altura, en la llamada ozonósfera. Aún así el ozono no constituye ni una parte por millón de los gases atmosféricos (Atlas del Medio Ambiente, 1997).

El ozono también se forma en la troposfera cuando las emisiones procedentes de combustibles no completamente quemados, de gases de pinturas, etc., reaccionan bajo la luz solar con productos de dicha combustión, como los óxidos de nitrógeno. Estos compuestos abundan en las zonas industriales y urbanas, en realidad el ozono es un componente importante de las nieblas bioquímicas o "smog" (Atlas del Medio Ambiente, 1997) El ozono troposférico, es un aeropoluante gaseoso secundario (fig 3.2) que resulta de una reacción compleja entre óxidos de nitrógeno, oxígeno atmosférico y la luz solar (Hernández y Bauer 1989; Lefohn, 1992):

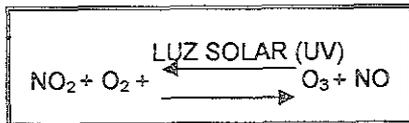
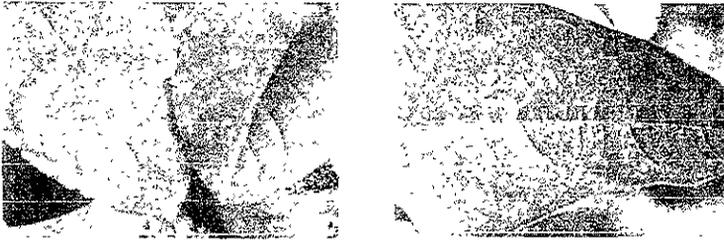


Fig. 3.2 Formación del ozono como aeropoliuante secundario

El ozono, reconocido como el oxidante más importante, así como otros aeropoliuantes gaseosos, penetra al interior de las hojas a través de los estomas abiertos durante el intercambio gaseoso que realiza la planta con su ambiente inmediato y puede afectar muchos de los procesos fisiológicos. Hernández y Bauer, (1989) Ortiz, (1988) señalan que las hojas más sensibles a  $\text{O}_3$  son aquellas que aún están en desarrollo activo pero a punto de alcanzar su tamaño máximo, tal vez el síntoma descrito más frecuentemente, en relación con daños por ozono, es la formación de lesiones la cual es, generalmente, consecuencia de un daño agudo (respuesta a episodios breves de contaminación a niveles altos). Las lesiones consisten en pequeñas áreas necróticas; muestran apariencia metálica y de color café el cual se torna, posteriormente, a marfil o blanquecino, en ocasiones las lesiones inducidas por el ozono, si se trata de daño agudo, se reducen a puntos de color blanquecino negruzco, rojizo-púrpura, los cuales son debidos a la muerte de unas cuantas células de empalizada. Las lesiones llegan a coalescer hasta formar zonas de tamaño considerable (Fig. 3.3). En la fase más avanzada, ocurre defoliación.



A la izquierda hoja con lesiones producidas por  $O_3$ , a la derecha hoja sana de tabaco (*Nicotiana tabacum* cv. Bel-W3) (Fuente Krupa S.V. 1999)

Necrosis producida por  $O_3$  en el frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*) (Fuente Krupa S.V. 1999)

Fig. 3.3 Daños ocasionados por ozono en diferentes cultivos.

El primer sitio del daño cuando el  $O_3$  entra a la hoja ocurre en las células del mesófilo o tejido de empalizada en la parte adaxial de la hoja. Este tejido contiene los cloroplastos (plástidos con clorofila) y es responsable de la fotosíntesis o asimilación de dióxido de carbono. Por tanto un efecto primario del  $O_3$  es aquel sobre la fotosíntesis y las exposiciones en cantidad suficiente a  $O_3$  pueden producir una variedad de síntomas de daño asociados con descomposición de clorofila (Krupa, 1999)

La respuesta de las plantas al ozono depende también de varios factores ambientales. El cierre de estomas causado por estrés de humedad puede proteger a especies sensibles de los daños producidos por ozono. La etapa de crecimiento en la planta, la nutrición, luz, humedad relativa, temperatura y otros más, determinan la respuesta de la planta a la dosis del ozono. Por esa causa algunas

concentraciones de ozono pueden causar pequeños o ningún daño en un tiempo y lugar, o bien extenso daño en otro tiempo y en diferente lugar. (Jacobson, y Hill 1970).

### 3.2.2. Nitrato de peroxiacetilo (PAN)

El PAN se forma como producto secundario de una reacción compleja entre  $O_3$ ,  $NO_2$  e hidrocarburos en presencia de luz solar como se presenta en la Fig 3.4

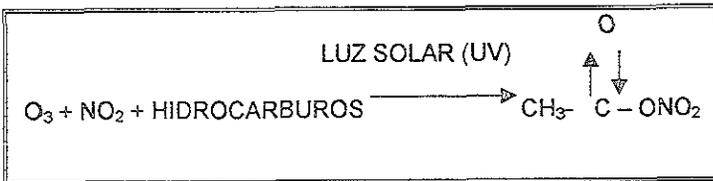


Fig 3.4 formación del PAN

El nitrato de peroxiacetilo, causa daños a las plantas pero no está ampliamente distribuido como el ozono, este gas penetra en las hojas a través de los estomas durante el intercambio gaseoso, una vez dentro, afecta principalmente al parenquima esponjoso. Las plantas son más sensibles en las etapas tempranas de crecimiento, que en las más avanzadas. La sintomatología inducida por el PAN varía de acuerdo con la especie vegetal que se trate, y puede ser confundida con la ocasionada por otros poluentes, mezclas de poluentes, daños por heladas u otros factores (Hernandez y Bauer, 1989). Las plantas de hoja ancha, como el frijol, presentan los síntomas en la superficie inferior de la lámina foliar, inicialmente como una lesión acuosa, brillante o plateada, que luego se torna bronceada (Ortiz, 1988). Al contrario del  $O_3$  que causa síntomas típicos en la

parte abaxial, el PAN produce daños en la superficie abaxial de la hoja. El PAN se acumula en los espacios intercelulares del parénquima esponjoso del envés. Aunque el mecanismo exacto de daño no se conoce (Fig.3.5) (Krupa, S V, 1999)



Fig.3.5 Hojas de petunia, sin daño aparente, con brillo metálico atribuido a PAN en el envés y haz de la misma hoja, respectivamente. (Fuente: Hernández y Bauer, 1989).

### 3.2.3 Otros contaminantes

#### 3.2.3.1 Dióxido de azufre

Según la Comisión Nacional de Derechos Humanos (1992), el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) es incoloro y altamente soluble en agua y es un elemento que al combinarse con el agua de la atmósfera forma pequeñas partículas que disminuyen la visibilidad, como se observa al amanecer en las áreas cercanas a la zona industrial. Se origina por la combustión de diesel y combustóleo y es generado principalmente por la industria (incluyendo las termoeléctricas), y secundariamente por los vehículos automotores.

Como es el caso de otros gases, el  $\text{SO}_2$  penetra a través de los estomas, es oxidado a sulfito ( $\text{SO}_3^-$ ) y luego lentamente a sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), compuesto menos tóxico que el intermedio por lo que, bajo ciertas condiciones, la conversión es rápida y no ocurre daño, en tanto que en otras ocasiones, en particular cuando ocurren altas concentraciones de  $\text{SO}_2$  durante períodos prolongados, la conversión de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3^-$  ocurre en forma más rápida que el paso posterior a  $\text{SO}_4^-$  y por tanto se origina el daño foliar (Hernández y Bauer, 1989). El bióxido de azufre es un veneno acumulativo, en otras palabras, las plantas expuestas a contaminación crónica (respuesta a exposiciones de largo plazo a concentraciones bajas de contaminantes) por  $\text{SO}_2$  acumulan azufre en el follaje. Por tanto, las especies perennes que han acumulado azufre en invierno llegan a ser más vulnerables durante la primavera y el verano a los daños por  $\text{SO}_2$ . Esto no quiere decir que las plantas deciduas no sean vulnerables. La sensibilidad de una planta depende de la tasa de absorción del  $\text{SO}_2$  durante su desarrollo activo y varía de acuerdo con el género, la especie y aún a nivel de cultivar. El azufre es un elemento esencial, por lo tanto, el cómo una planta responda a este gas depende si el requerimiento de azufre ha sido o no satisfecho. La hoja va tomando una pigmentación rojiza intervenal (**Fig. 3.6**), clorosis o necrosis entre las nervaduras en plantas de hoja ancha y necrosis apical descendente en coníferas (Krupa, 1999).

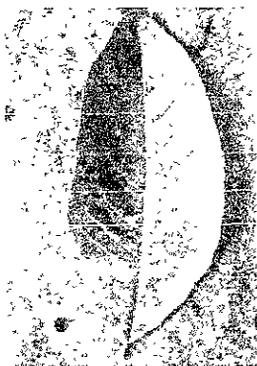


FIG. 3.6 Pigmentación rojiza intervenal en una hoja de guayabo causada posiblemente por bióxido de azufre (Fuente: Bauer y Hernández, 1986)

### 3.3 LAS PLANTAS COMO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

El principio armónico de la naturaleza se ha alcanzado gradualmente en un período de millones de años. Con ello, el hombre, los animales, las plantas y los microorganismos, han desarrollado funciones y reacciones altamente específicas y congruentes con el medio que los rodea, por lo tanto, cualquier alteración en este es registrada por los seres vivos que, en su conjunto, pueden considerarse 'bioindicadores'. Los organismos que individualmente, en grupos o comunidades reaccionan en forma clara ante cambios ambientales. El cambio de color de las hojas o acumulación de una sustancia en los tejidos son llamados indicadores

biológicos o bioindicadores; si la respuesta puede estimarse en forma cuantitativa se transforman en monitores biológicos (Bauer; 1996).

A pesar de que el aire enrarecido puede ser apreciado con la vista e inclusive con el olfato, esta resulta demasiado empírica, por lo que para fines prácticos es indispensable hacer uso de métodos especiales. Entre ellos uno de los más sencillos y económicos es el bioensayo, el cual está basado en los síntomas específicos que los aeropoluantes ocasionan en especies o variedades de plantas sensibles (**Cuadro 3.2.**) Ya que la respuesta de las plantas a los diversos aeropoluantes es conocida, la inspección de las plantas que existen dentro de una área, o bien, de aquellas expuestas expresamente, puede determinar cuáles compuestos están presentes en concentraciones tóxicas y, además, se puede estimar en forma aproximada, con excepción de aquellos casos en que los efectos se limitan a reducción de desarrollo y de rendimiento, los efectos locales y a distancia a los cultivos económicos, ya que las fuentes de origen de compuestos tóxicos pueden estar situados en lugares adyacentes o a más de 100 kilómetros de distancia y aún causar daños a las plantas (Bauer, 1972).

Por otro lado Spellerber, citado por Manning (1996), reconoció dos tipos de plantas bioindicadoras usadas en estudios para detectar gases contaminantes en el aire: "centinelas" y "detectores". Los centinelas no son especies nativas, si no que consisten de selecciones bien definidas, cultivos o clones, estos exhiben un diagnóstico confiable de síntomas foliares cuando son expuestas en un ambiente con ozono. Estas especies crecen en áreas con aire filtrado, en macetas

uniformes, y llevan un crecimiento artificial medio. Al salir al campo estas plantas requieren de agua, fertilización, sombreado, y aplicación de pesticidas, en intervalos regulares. Requieren protección contra animales y vándalos. Si las centinelas no reciben los cuidados requeridos pueden no responder de manera satisfactoria. Los detectores son plantas nativas seleccionadas *in situ* y no se les da un cuidado especial. Usualmente estas son plantas perennes, árboles, o arbustos; responden en forma lenta y frecuentemente son tardíos en el crecimiento. Sólo la sensibilidad individual de un detector bioindicador por voluntad responde al ozono.

Cuadro 3.2 Plantas utilizadas como indicadores, el estado de desarrollo, síntoma y daño atribuido al contaminante:

ESPECIE Y VARIEDAD	ESTADO DE DESARROLLO	SÍNTOMA	DAÑO ATRIBUIDO A
Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> L.) Vars. Bel w-3, Bel C, Bel B	Cuatro a cinco hojas.	Lesiones en el haz de las hojas consistentes en áreas de tejido decolorado, evolucionan a necrosis bifacial	Ozono
Avena ( <i>Avena sativa</i> L.) var Clinton.	Inicio del macollamiento	Reducción en el desarrollo de la planta Rayado blanquecino fino entre las nervaduras a lesiones necróticas, localizadas principalmente en la porción central de la hoja	Dióxido de nitrógeno Ozono
Rabano ( <i>Raphanus sativus</i> L.) Var Cherry Belle	Cuatro a cinco hojas	Punteado a lesiones cloróticas en el haz de las hojas	Ozono
Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) var. Pinto 111 y 133	Primeras hojas bien desarrolladas	Lesiones necróticas con pigmentaciones café en el haz, senectud prematura	Ozono
Petunia ( <i>Petunia axillaris</i> Lamb.) var. Snowstorm	Formación de yemas florales.	Brillo metálico del envés de las hojas; colapso de áreas intervenales	Nitrato de peroxiacetilo
Pasto ( <i>Poa annua</i> L.)	Inicio del macollamiento	Punteado a lesiones cloróticas en el haz y envés de las hojas	Ozono y nitrato de peroxiacetilo.
Ortiguilla ( <i>Urtica urens</i> L.)	Inicio de la floración	Punteado a lesiones cloróticas en el haz de las hojas	Ozono y nitrato de peroxiacetilo.

Fuente: Bauer y Hernández, 1986.

### 3.4 HUMEDAD EN EL SUELO Y OXIDANTES

Según Kramer (1989), el interés por el suelo se centra principalmente en su papel como lugar de almacenamiento de agua y ámbito de crecimiento de la raíz, pero también es un depósito de alimentos minerales y proporciona anclaje a las plantas.

El único medio por el cual un factor ambiental tal como el agua puede afectar el crecimiento vegetal consiste en alterar los procesos fisiológicos y condiciones internas. Casi cada proceso vegetal está directa o indirectamente afectado por el abastecimiento de agua, dentro de ciertos límites, la actividad metabólica de las células y plantas se encuentra estrechamente relacionada con su contenido hídrico. Por ejemplo en la respiración de las semillas jóvenes, el proceso de maduración, es muy alto, pero disminuye regularmente durante la maduración al reducirse el contenido hídrico. La disminución de agua contenida reduce invariablemente el coeficiente de fotosíntesis y generalmente la tasa de respiración (Kramer, 1989)

El crecimiento, tiene una relación directa con el agua disponible en el suelo, ya que depende mucho de las condiciones de humedad del suelo y de la atmósfera sean adecuadas para el buen desarrollo de las plantas: su influencia es de tal importancia, que bajos niveles de humedad aprovechable, afectan seriamente su rendimiento final (Terrón, 1992).

Showman (1990), en un experimento comparó los niveles de ozono entre un año seco y uno húmedo en Indiana y Ohio en los EE.UU. Sus resultados son muy indicativos de la influencia del factor estudiado (Cuadro 3.3)

**Cuadro 3.3 Niveles altos de ozono, durante en el año de 1988 con precipitación escasa y altas temperaturas en comparación con 1989.**

Area (monitor no)	No. Hrs. ≥ 0.12ppm		No. Hrs. ≥0.10 ppm		No. Hrs. ≥0.08 ppm	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Cincinnati (3257)	32	2	112	28	303	152
Cincinnati (3199)	63	0	258	14	582	143
Cincinnati (3189)	8	0	75	8	320	103
Louisville (6054)	21	0	95	2	275	10
Louisville (6055)	11	0	48	15	264	71

Fuente Showman (1990)

En el año seco los niveles de ozono fueron mucho más bajos que los registrados en el húmedo, los daños a la vegetación silvestre imperceptibles y la humedad en el suelo fue mayor que el año anterior, pero cuando los niveles de ozono se presentaron altos, las plantas presentaron un mayor daño a causa del ozono.

Los resultados demuestran que la vegetación bajo los efectos de estrés por sequía, presenta menor daño por ozono. Esta falta de daño es probablemente debido al cierre de estomas que la sequía provocó en la planta.

### 3.5 PROTECTORES ANTIOXIDANTES

Los oxidantes fotoquímicos son los más dañinos contaminantes del aire que afectan a la vegetación al presente. El desarrollo y uso de plantas resistentes a daños por oxidantes han sido exitosos en ciertos casos, pero otros medios de control son necesarios. Diferentes químicos se han probado con cierto éxito, los materiales ensayados han incluido algunos fungicidas usados comúnmente como; caldo bórdeles, maneb y zineb. La protección de algunos compuestos es por la inducción del cierre de estomas o por alterar el metabolismo de la hoja con tratamientos químicos aplicados a las raíces o al follaje (Pellissier M., Lacasse N. L. *et al.* 1972)

En las pasadas tres décadas muchos químicos han sido evaluados por su eficacia y para prevenir daños por O<sub>3</sub> en amplias variedades de plantas. La etilenediurea (EDU), de fórmula EDU N- [2- (2 oxo-1-imidazolidingl) ethy] l -N- Phenhylurea ha sido el más exitoso y extensamente usado protector químico a nivel experimental (Kostcha y Manning, 1993).

El uso del EDU ha sido rodeado de controversias, en parte por causa de que los mecanismos de acción son desconocidos y por que el químico puede ser tóxico a la planta. Se sospecha que los mecanismos de acción del EDU, están relacionados con cambios en los niveles antioxidantes de la planta. (Eckardt y Pell. 1995)

El EDU ha sido utilizado en diferentes cultivos e investigaciones como en frijol (Temple and Brisessar, 1979), papa ( Eckardt and Pell, 1995), Soya (Greenhalgh *et al.*, 1987) tomate (Legassiike and Ormrod, 1981) y rabanito (Kostcha y Manning, 1993) por que ayuda a prevenir daños por ozono y en varios reportes han atribuido propiedades de antisenescencia.

La protección del daño por ozono a través del uso de componentes sistémicos, tal como Benomyl, puede ser de gran duración por que el protector no se lava del tejido de las plantas por la lluvia como sería el caso con los materiales no sistémicos (Pellyssier, Lacasse, *et al*, 1971).

### **3.6 SOBRE EL CULTIVO**

#### **3.6.1. Origen e Historia**

No está bien definido el origen del rábano y rabanito. Pero según Maroto (1989) el origen de las variedades de rabanitos se originaron en la región mediterránea, mientras que los grandes rábanos pudieron originarse de Japón o China.

#### **3.6.2 Características botánicas y taxonomía.**

El Rabanito se clasifica taxonómicamente de acuerdo a Cronquist, (1980) de la manera siguiente:

Reino.....	Vegetal
Subreino.....	Embriophyta,
Grupo.....	Polipétalas,
Division.....	Antophyta
Orden.....	Rhoedales
Familia.....	Cruciferae o Brassicaceae
Género.....	<i>Raphanus</i>
Especie.....	<i>R. sativus</i>

El sistema de raíces se encuentra distribuido entre los primeros 5 y 20 centímetros de profundidad. Su raíz principal y del hipocótilo; en las variedades con raíces carnosas redondas, se forman a partir del hipocótilo y por consiguiente, en este caso, la raíz carnosa es una transformación del tallo (Soria, 1993).

Las hojas son imparipinnadas, vellosas, de periferia dentada. La parte apical es más grande. El tallo alcanza 0,8-1,20 m de alto, puede ser cilíndrico, anguloso, vellosa o liso, de color verde, y fuertemente ramificado (Guenkov, 1974).

Las flores están agrupadas en racimos. Los pétalos pueden ser blancos, rosados o violáceos, raramente de coloración amarillenta.

El fruto es una silicua indehisciente, que termina en un largo apéndice en forma de pico. Su parte interior está rellena de tejido parenquimatoso, en el cual están situadas las semillas. Las semillas, morfológicamente, no son muy uniformes, ya que su color varía desde castaño claro hasta el castaño pardo (Reyes, 1985).

### **3.6.3. Exigencias ambientales**

#### **3.6.3.1. Temperatura**

La temperatura óptima para la germinación es de alrededor de 25°C y para el crecimiento y formación de la raíz es de alrededor de 16 a 17°C, aunque estas pueden variar con la intensidad luminosa (Soria, 1993).

#### **3.6.3.2. Fotoperiodo**

El rábano y el rabanito son plantas de día largo, y en caso de escasez de iluminación, el follaje crece notablemente, se alarga demasiado y se prolonga el ciclo vegetativo de las plantas (Guenkov, 1974; Soria, 1993).

#### **3.6.3.3. Necesidades hídricas**

Es un cultivo muy exigente en humedad, por lo que debe mantenerse el suelo a un 70% capacidad de campo, en caso de falta de humedad adecuada, las raíces carnosas se hacen más duras y pueden perder su consistencia interior (Soria, 1993)

### **3.6.4 El rabanito como bioindicador**

En estudios realizados por Koscha y Maring (1992) mencionan la efectividad del EDU como protector de ozono en plantas de rabanito var. 'Cherry Belle', realizaron aplicaciones a suelo en un ambiente de condiciones controladas en invernadero y sometidas a exposiciones críticas de O<sub>3</sub> (rango de 118-147 µg.m<sup>-3</sup>) por 7 h por día

durante 6 días por semana, el séptimo día se incrementó por la mañana a 235-274  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  durante una hora y gradualmente fue decreciendo a su nivel original. Encontraron que la aplicación de EDU en concentraciones de 100  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  presenta un mayor peso fresco del cotiledón (578 mg) en comparación con aquél que no se le suministró dicho compuesto (423 mg). Sin embargo concentraciones de 200 a 400  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  fueron en orden decreciente a la concentración de 100  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  pero superiores al testigo.

Krupa. (1999) menciona que el rabanito es una planta sensible a  $\text{O}_3$  pudiendo presentar de 10 hasta 40% de pérdida en rendimiento por exposiciones crónicas de este compuesto, estos datos son reflejo de diversas investigaciones al respecto. (Figura 3.7)



Fig.3.7 Respuesta del rabanito (*Raphanus sativus*) a oxidantes ambientales. A la izquierda planta sana y a la derecha planta expuesta a ( $\text{O}_3$ ). (Fuente: Krupa S.V. 1999)

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. MATERIALES

#### 4.1.1. Localización del área de estudio

El proyecto se realizó en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Méx. a un lado de la estación agroclimatólogica y del monitor de ozono (Figura 4.1). Las coordenadas geográficas son las siguientes: Latitud 19° 29' N, Longitud 98° 54' W, Altitud 2,250 msnm.

Según García (1973), el clima del lugar es un C(w<sub>o</sub>)(w)b(i)g, templado subhúmedo con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor del 5% del total anual (645 mm) y con una temperatura media anual de 15° C.

#### 4.1.2. La semilla utilizada

En el trabajo se utilizó semilla de rabanito (*Raphanus sativus* L.) var 'Cherry Belle'. El peso absoluto de la semilla es (0.850). La importancia de esta variedad radica en que es utilizada como planta monitora/indicadora de efectos por gases oxidantes.

#### 4.1.3. El protector antioxidante

Se utilizó como protector contra gases oxidantes al producto denominado EDU, el cual fué proporcionado por el Dr. W.J.Manning, de la Universidad de Massachusetts, EE.UU. ya que este producto no está disponible comercialmente.

El uso de éste antioxidante ha sido incorporado como un método alternativo para biomonitoreo y evaluación de efectos por ozono (Brunschön, 1995).

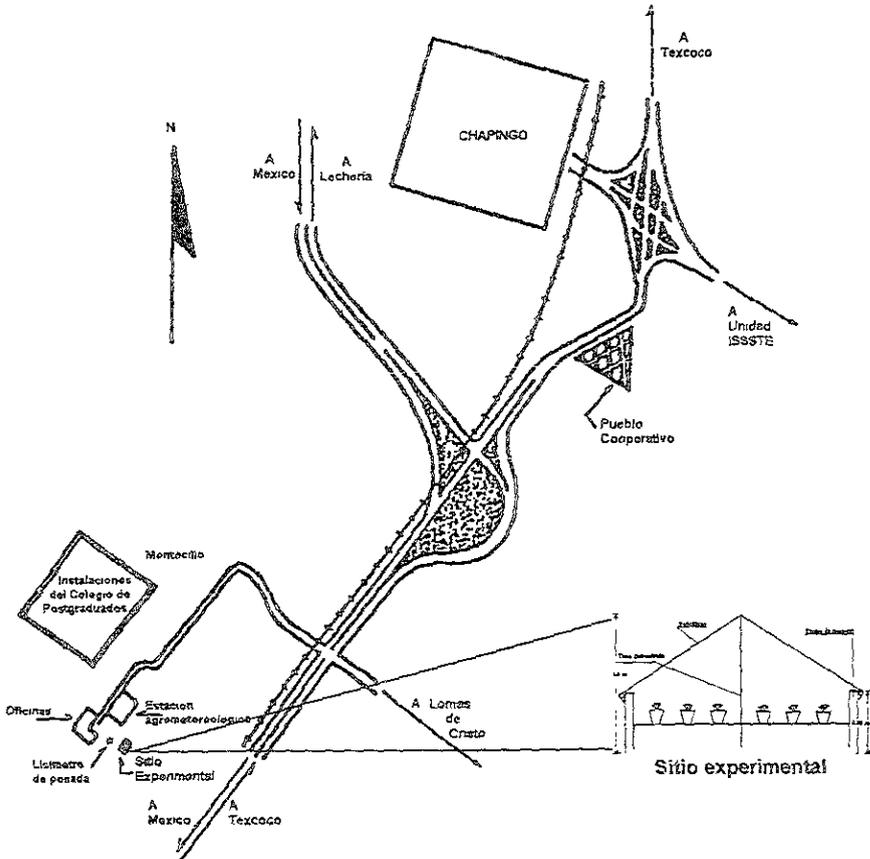


Fig. 4.1 Localización Geográfica del área de estudio

#### 4.1.4. Lista de Material utilizado

##### Material vegetativo

- Semilla de rabanito (*Raphanus sativus* L.) var. 'Cherry Belle'.

##### Reactivos

- Suelo desinfectado
- EDU (Etilenediurea)
- Bromuro de metilo

##### Equipo

- Báscula
- Integrador de área foliar
- Estufa

##### Accesorios

- Vasos de unicel
- Vaso de precipitado de 500 ml.
- Cinta métrica
- Vernier

## 4.2. Métodos

### 4.2.1 Control de la Humedad del suelo

Se determinaron constantes de humedad como: capacidad de campo y punto de marchitez permanente (**Cuadro 4.1**) fueron estimadas por el método de membrana y la olla de presión, respectivamente, la textura del suelo fue arcillo arenoso.

**Cuadro 4.1** Características del suelo utilizado en las macetas en relación con la capacidad de retención de agua.

TEXTURA	CC	PMP	DAP (g/cm <sup>3</sup> )
Arcillo-arenoso	20.73	10.34	1.3

CC = Capacidad de campo

PMP= Humedad a punto de marchitez permanente

Da = Densidad aparente

### 4.2.2. Método de siembra y establecimiento del experimento

La siembra del rabanito se realizó en vasos de unicel conteniendo suelo de textura franco arenosa y esterilizado con bromuro de metilo. Primeramente se determinaron las características físicas del suelo como capacidad de campo (cc), punto de marchitez permanente (pmp), y textura

Las plantas de rabanito se colocaron encima de una tarima y se taparon con una cubierta plástica como se aprecia en la (Figura 4.2). La siembra se realizó el 24 de Agosto de 1998 colocando en cada vaso 3 semillas para después aclarear y dejar solo una.

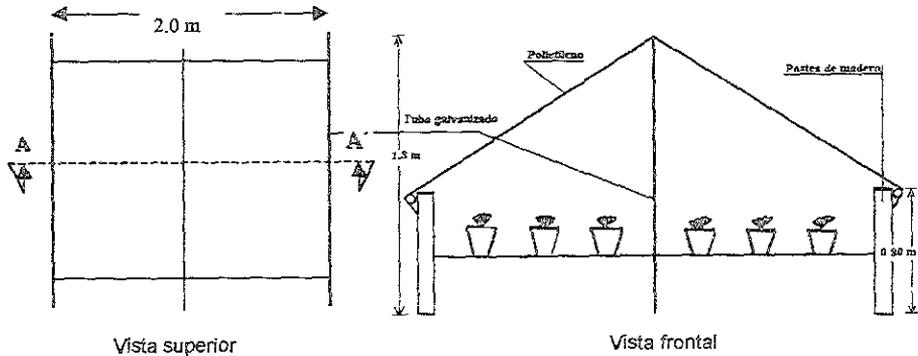


Figura 4.2. Cubierta plástica

#### 4.2.3 Cosecha

La cosecha fue el 8 de octubre de 1998, separando el follaje de la raíz carnosa y lavando cada planta dejándola libre de tierra, cada una de las plantas se colocaron en bolsas de papel, marcando la repetición y el tratamiento que correspondía a cada planta.

#### 4.2.4 Control de la humedad del suelo

En todo cultivo y experimento es importante calcular el consumo de agua que este necesita para satisfacer sus necesidades hídricas, debido a que la planta del rabanito es una especie que requiere a lo largo de su ciclo de producción una gran cantidad de agua, se decidió realizar el control de la humedad del suelo.

Desde el primer día de establecido el experimento se llevó a cabo el control de humedad del suelo tratando de mantenerlo a capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo.

Para aplicar el volumen de agua apropiado fue indispensable conocer los parámetros siguientes: El punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (cc), densidad aparente (da) y profundidad de raíz (pr).

Las siguientes fórmulas fueron utilizadas para cálculo de la lámina de riego y el volumen de agua aplicado:

$$Lr = \frac{(cc - pmp) da \times pr}{100}$$

$$V = (Am) (Lr)$$

Los datos que se utilizaron en el experimento son los siguientes:

$$Lr = \frac{(20.73 - 10.34) 1.3 \times 11}{100} = 1.4857 \text{ cm}$$

$$V = (130.8275) (1.4857) = 194.37041 \text{ cm}^3$$

Donde:

$L_r$  = Lamina de riego, (cm)

$cc$  = Capacidad de campo (%)

$pmp$  = Punto de marchitez permanente (%)

$da$  = densidad aparente ( $gr/cm^3$ )

$P_r$  = Profundidad de la raíz (cm)

$V$  = Volumen ( $cm^3$ )

$A_m$  = Área de la maceta ( $cm^2$ )

**Cuadro 4.2** Cantidad de agua aplicada a cada maceta

% de humedad	Peso de cada una de las macetas en gramos	Volumen de H <sub>2</sub> O ml	Peso total de la maceta gramos.
100 (capacidad de campo)	1500	194.370	1694.310
80	1500	155.496	1655.496

\* Las macetas se mantuvieron entre 80 y 100% de humedad pesándolas periódicamente para aplicar el agua

#### 4.2.5. Aplicación del EDU

EDU (al 100% ia), se disolvió en agua caliente y se diluyó con agua corriente fría y entonces se aplicó a la superficie del sustrato usando un vaso de precipitado. Este método permitió la aplicación sin salpicar la solución a las hojas en los tratamientos que así lo requerían, **Cuadro 4.3**. En las macetas que se asperjó se trató de que la solución no tuviera contacto con el suelo tapándolo con bolsas de polietileno.

El EDU se aplicó cuando el primer par de hojas verdaderas estuvieron completamente desarrollados. Esto ocurrió a los 11 días después de la siembra. La concentración que se utilizó fue de 150 ppm, de acuerdo con Kostka y Manning (1993), quienes señalan que esta fue la más adecuada ya que estos y otros investigadores mencionan que concentraciones más elevadas causan toxicidad al rabanito.

Las aspersiones con EDU al follaje, se realizaron en dos aplicaciones, una el 5 de Septiembre de 1998 y la otra el 11 de Septiembre de 1998.

Cuadro 4.3

Tratamiento	Método de aplicación	Concentración (ppm)	Volumen/ Maceta mi
1	Sin aplicar EDU	s/a	s/a
2	Aplicación al suelo	150	194.370
3	Aspersión Foliar.	150	20
4	Aplicación al suelo y aspersión	150	214.31

#### 4.2.6 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, este diseño básico se caracteriza porque no estratifica el material experimental en bloques, por ser innecesario. Tal situación experimental puede ocurrir, cuando las unidades experimentales son tan homogéneas, que no se descubren gradientes de variabilidad. Es el único de los diseños experimentales comunes que admite números desiguales de repeticiones de los tratamientos, sin que altere el método de análisis estadístico (Martínez, 1994).

El diseño completamente aleatorio (Figura 4.3) es ideal para los experimentos en invernadero que usualmente se realizan en macetas, puesto que las diferencias son mínimas y pueden eliminarse mediante cambios aleatorios de posición de las macetas (Martínez, 1994).

En el experimento se manejaron 4 tratamientos con 6 repeticiones dando un total de 24 Unidades experimentales. Que constaron de 1 maceta por cada una. La distribución se puede observar a continuación.

1 T4	2 T4	3 T2	4 T4	5 T3	6 T1
7 T1	8 T3	9 T0	10 T2	11 T4	12 T2
13 T4	14 T1	15 T3	16 T1	17 T2	18 T1
19 T2	20 T2	21 T3	22 T3	23 T3	24 T4

Figura 4.3 Distribución de los tratamientos

- T1 (testigo) Sin aplicar EDU
- T2 Aplicación de EDU al suelo
- T3 Aspersión Foliar (tapar la superficie con polietileno)
- T4 Aplicación al suelo y aspersión

## **4.2.7 Parámetros Evaluados**

### **4.2.7.1. Diámetro ecuatorial**

Se midió el diámetro ecuatorial de cada una de las raíces carnosas con un vernier el día de la cosecha.

### **4.2.7.2. Altura de la planta**

El día de la cosecha se midió el largo de la planta completa, anotando para cada uno de los tratamientos su valor.

### **4.2.7.3. Diámetro polar**

Se realizó la medición del diámetro polar de cada una de las raíces carnosas con el vernier en el día de la cosecha.

### **4.2.7.4. Peso fresco de la raíz carnososa**

Fueron pesadas las raíces de cada una de las unidades experimentales y de cada tratamiento y así se obtuvo el rendimiento

### **4.2.7.5. Peso fresco del follaje**

Se realizó el peso del follaje para obtener una relación de cada uno de los tratamientos

#### **4.2.7.6. Peso seco del rabanito**

El peso seco del rabanito se cuantificó para obtener la cantidad de materia seca con la que contaba el cultivo, y así tener una posible relación entre materia seca y niveles de contaminación.

#### **4.2.7.7. Peso seco del follaje**

El peso seco del follaje fue otro parámetro importante que se midió para cuantificar la materia seca.

#### **4.2.7.8. Area foliar**

Se utilizó el integrador de área foliar para cuantificar esta, en cada una de las unidades experimentales y tratamientos.

## V. RESULTADOS

Con base a las observaciones efectuadas durante la fase experimental no se detectaron síntomas perceptibles de daño visual característico que induce el ozono en la especie estudiada; así mismo al realizar los análisis de varianza correspondientes a cada uno de los parámetros que se consideraron para este trabajo no se encontró diferencia estadística significativa, sin embargo se obtuvieron datos que revelan la efectividad del EDU como protector contra daños por ozono.

Se puede observar en la **Figura 5.1** la mayor altura de planta la presenta el tratamiento al que se aplicó EDU directamente al follaje y el de mayor demérito fue la aplicación a suelo-follaje. Sin embargo el testigo contó con una altura de planta muy similar al del tratamiento 3 (15 y 15.5 cm respectivamente).

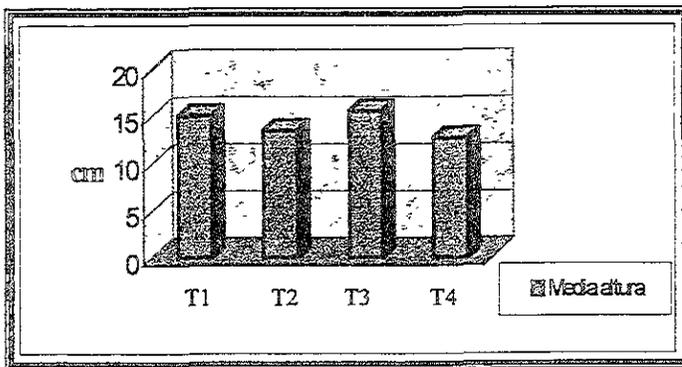
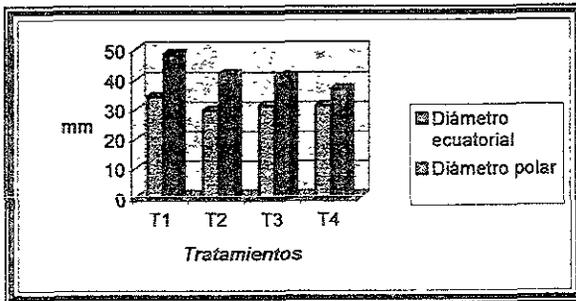


Figura 5.1 Altura media de la planta en rabanito

contrariamente a lo esperado el tamaño de la parte comestible del rabanito (raíz carnosa) presenta mayores valores, tanto en diámetro ecuatorial como polar, en el tratamiento al que no se le aplicó EDU, los demás tratamientos van decreciendo en lo que se refiere a este parámetro siendo uno de los menores valores el tratamiento 4 (aplicación al suelo y al follaje-suelo) **Fig. 5.2**



**Fig. 5.2** Diámetro ecuatorial y polar de la raíz carnosa

En relación con el peso en fresco y seco de la raíz carnosa (**Fig.5.3**) presentan el mismo comportamiento, teniendo el mayor valor el tratamiento 1, siguiéndole aquel al que se aplicó EDU al follaje. Los tratamientos de aplicación al suelo y suelo-follaje, solo presentan una diferencia en peso en fresco y en seco de 0.5 y 0.1 de gramo respectivamente.

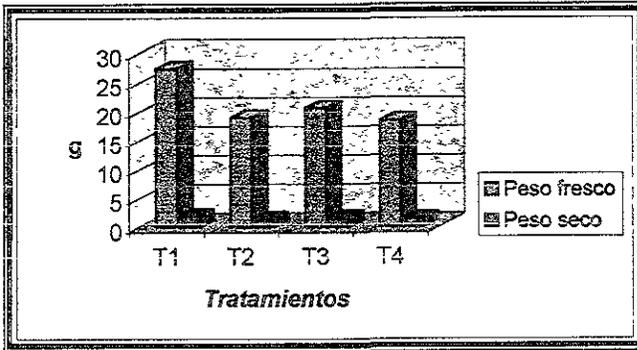


Fig.5.3 Peso en fresco y seco de la raíz carnosa

A diferencia de todos los parámetros anteriormente descritos, el peso del follaje (Fig. 5.4) arrojó datos que podrían no ser congruentes con ellos, en este caso se obtuvieron los mayores valores por aquel tratamiento que tuvo una aplicación suelo-follaje y el menor valor al cual no se le aplicó EDU, sin embargo la diferencia en peso fresco del tratamiento 1 y aplicación al suelo es solamente de 0.434 de gramo, en cambio en lo que se refiere a peso seco el tratamiento 4 tiene un valor mayor sobre el que no tiene aplicación.

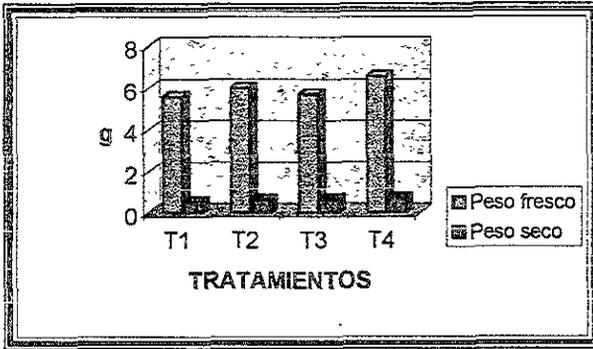


Fig.5.4 Peso en fresco y seco del follaje

El parámetro que más apoya la hipótesis planteada para este trabajo es la determinación de área foliar que puede observarse la Figura 5.5, donde los tratamientos con aplicación con EDU se encuentran por arriba del que no tuvo ninguna aplicación siendo el de mayor valor aquel al que se le colocó al follaje-suelo. Siguiéndole el tratamiento 3 y tratamiento 2 con áreas mayores al testigo del orden del 14.33%, 11.186% y 6.70% respectivamente.

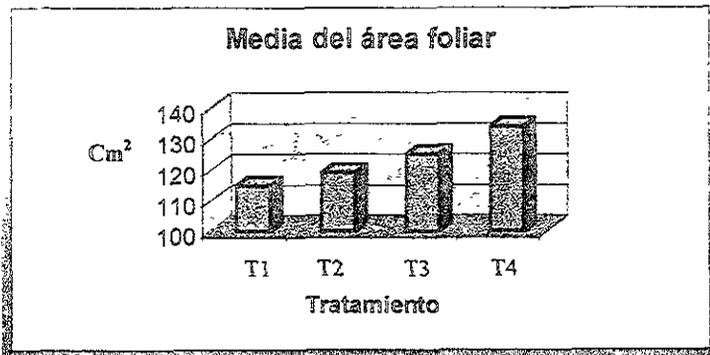


Fig. 5.5 Área foliar

El promedio general de datos que se estimaron para este trabajo se presentan en el cuadro 5.1 donde se muestran cada uno de los parámetros que se evaluaron por tratamiento, además en la figura 5.6, se puede observar las concentraciones de ozono que se registraron durante todo el experimento, a partir del día 24 de agosto de 1998, fecha de siembra, hasta la cosecha. Estos datos, para Montecillo, fueron proporcionados por la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA) del Departamento del Distrito Federal para la estación ubicada en esta localidad.

Cuadro 5.1 Promedio de cada uno de los parámetros que se estimaron para este trabajo.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Altura planta (cm)	Diámetro polar (mm)	Peso fresco del rabanito (g)	Peso fresco follaje (g)	Peso seco rabanito (g)	Peso seco follaje (g)	Area foliar (cm <sup>2</sup> )
T1	34 166	15 000	48 33	27 250	5 566	1 716	0 5166	114.751
T2	29 500	13 416	41 66	18 783	6 000	1 233	0 600	118 966
T3	31 166	15 500	40 83	20.450	5 683	1 500	0 633	124 975
T4	31.083	12 666	36 66	18.283	6 550	1 303	0 700	133 951

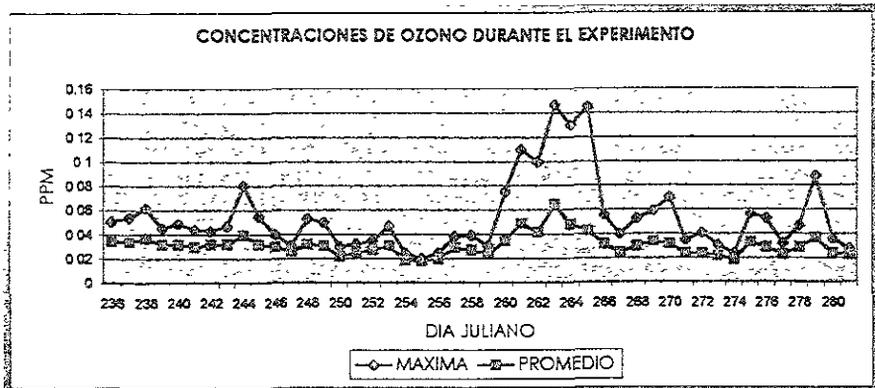


Fig. 5.6 Concentraciones de ozono en Montecillo Mex. Los meses de Agosto - Octubre, entre las 08:00 y las 17:00 hrs.

El (anexo, 11) muestra los valores graficados de los niveles más altos de contaminación durante el tiempo que duró el experimento y el promedio de la radiación solar durante estos días, se puede observar que en los primeros días a partir del 11 de septiembre al 16 de septiembre los niveles de ozono no fueron muy altos pero la radiación estuvo fluctuando en valores altos, mientras que desde el día 16 de septiembre hasta el 18 de septiembre se observa un incremento en los valores de ozono así como los de radiación, sin embargo en los días 19 y 20 de septiembre los niveles de contaminación fueron altos, sin que la radiación fuera alta. En los días subsecuentes se nota nuevamente una correspondencia entre el aumento de la radiación y los niveles de ozono, otro de los factores que pudo haber influido en las altas concentraciones de ozono y baja radiación, es la humedad relativa y temperatura promedio que se presentó en esos días como se muestra en el (anexo, 12).

## VI DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

De acuerdo a los resultados obtenidos pudimos observar una diferencia substancial entre la parte aérea de la planta y la zona radical. En lo que respecta a la raíz carnosa del rabanito, en esta investigación, se obtuvieron valores elevados en el tratamiento testigo con respecto a las aplicaciones de EDU, el crecimiento de este órgano no se vio limitado como puede verse en la medición de diámetros ecuatorial y polar y que se reflejan además en el peso fresco y seco del mismo, esta condición puede deberse a una toxicidad del EDU que limitó su crecimiento; es importante hacer referencia que las concentraciones de ozono que se presentaron durante el mes de septiembre en el área de trabajo fueron solo 4 días, los que rebasaron las norma de 0.11 ppm/hora (**anexo 9**)

Es importante estimar esta fitotoxicidad que puede generar el EDU cuando se aplica en altos niveles como lo menciona Kotscha y Manig (1991), pero no debemos descartar su utilización por el simple hecho de no tener los resultados esperados, puesto que las investigaciones realizadas al respecto han estado condicionadas a niveles críticos de ozono. Es sin duda apremiante la necesidad de establecer trabajos de esta índole en zonas donde el crecimiento urbano e industrial es inevitable ó en otra época del año. Se debe considerar que la ciudad de México presenta niveles críticos de ozono durante la época invernal presentándose el fenómeno de inversión térmica; por tanto los resultados, a bajos niveles de este contaminante nos presenta una respuesta positiva con la

aplicación de EDU, se puede considerar que la época invernal puede darnos un resultado favorable en la vegetación urbana de esta ciudad, así como en otras con problemas de contaminación similares por lo tanto, es necesario establecer una línea de investigación al respecto

Otra causa por la cual no se presentan daños visibles y los cuantificables no son estadísticamente significativos es la baja concentración que se presentó durante los días en que se llevo el experimento, debemos considerar que los niveles superficiales de  $O_3$  se producen principalmente por procesos fotoquímicos, las altas concentraciones de  $O_3$  en la atmósfera están relacionados con elevada radiación y temperatura y baja humedad relativa (el  $O_3$  se descompone rápidamente en condiciones de alta humedad y baja acidez y su concentración baja a cero durante las lluvias). Por tanto las altas concentraciones atmosféricas de  $O_3$  se observan usualmente durante la estación cálida o en los meses de verano como lo menciona Krupa (1999), siendo un caso similar el del mes de septiembre en la zona de investigación donde la humedad relativa se encontró por arriba del 70% promedio provocando baja concentración de este gas, dato que podemos corroborar con los días en que los niveles de ozono fueron elevados y se tuvo los valores más bajos en los que a humedad relativa se refiere (anexo,10).

A pesar de que los resultados de rendimiento no fueron los esperados debido, a que la importancia comercial del rabanito es su raíz carmosa y de acuerdo a lo anteriormente descrito el testigo superó a los aplicados con EDU, no podemos decir que no tuviera efectividad este producto. Las evaluaciones en lo que

respecta a la parte aérea nos arrojan datos importantes en cuanto a la actuación del EDU como protector contra el ozono puesto que se observa en los parámetros de peso fresco y seco así como el área foliar los tratamientos donde se aplicó el compuesto fueron más elevados que el testigo. Así se pone en evidencia que el antioxidante protegió a las hojas de posibles daños producidos por ozono manteniendo una mayor área foliar en los tratamientos donde se aplicó.

Si bien no se conoce la forma de actuar del EDU, se sabe que el ozono afecta directamente al metabolismo de la planta, puesto que este forma fácilmente radicales libres como el hidroperoxil ( $HO^2$ ), radical hidróxido ( $OH$ ) y el super oxido ( $O^2$ ), los cuales causan daño a nivel molecular, celular y hasta su muerte. Debemos considerar lo que menciona Guencov, (1974) con respecto al contenido de peroxidasa que presentan los rabanitos según Salisbury y Roos (1994), esta es una isoenzima que forma peróxido de hidrógeno que da como resultado la liberación de dos moléculas de agua a partir de alcoholes aromáticos dejando restante un radical libre y el ozono puede facilitar dicho proceso razón por la cual se le puede considerar como susceptible a dicho compuesto.

Considerando lo anterior se puede establecer que el mecanismo de penetración del ozono es vía estomática razón por la cual los daños iniciales y más severos se presentan en las hojas afectando según Krupa (1999) principalmente las células del parénquima en empalizada. Puesto que en esta estructura es donde se concentra la mayor cantidad de cloroplastos, responsables de proceso fotosintético lugar donde mencionan (Volin, Reich and Givnish, 1997) actúa el

ozono. Es por ello que a pesar de haber existido bajos niveles de ozono durante el experimento se presentaron daños en las plantas donde no se aplicó el antioxidante que dieron como resultado un decremento en el dosel vegetativo y como puede observarse en los resultados la aplicación de EDU fue efectiva permitiendo un mayor crecimiento de las hojas, siendo la colocación del producto tanto al suelo como al follaje la que mejores resultados ofreció aunque es importante establecer que no fue el que generó el mejor producto comercial, siendo de esta forma la aplicación únicamente al follaje la que permitió valores más aceptables en relación parte aérea y sistema radical.

De los diferentes tratamientos que se sometieron a experimentación se permite apreciar la variación que hay entre uno y otro. Los resultados obtenidos resultan de la influencia del ozono y las diferentes formas de aplicación de EDU a la planta. Las evaluaciones visuales del daño producido por antioxidantes al follaje de la planta, son de tipo subjetivo, de forma que una vez hecha la evaluación, la exactitud puede ser cuestionable. Se podría considerar que la evaluación cuantitativa es más precisa, sin embargo las pérdidas de peso fresco y contenido de clorofila se relacionan con el daño foliar, a mayor daño de las hojas menor peso fresco del follaje

## VII CONCLUSIONES

- El EDU tiene una efectividad como antioxidante permitiendo un mejor crecimiento de las hojas aunque puede tener un efecto fitotóxico en la zona radical.
  
- El tratamiento que presentó los mejores resultados en cuanto al lugar de aplicación fue el que se asperjo al follaje debido a que el ozono penetra a la planta vía estomática y sus primeros daños son en las células del parenquima en empalizada.
  
- La aplicación de EDU al suelo puede generar respuestas negativas por toxicidad ya que la planta lo absorbe fácilmente y esto generó que, a pesar de que el tratamiento con aplicación a suelo y follaje presentó los mayores niveles de tamaño de hoja, no se obtuviera el mayor volumen de producto comercial.

## VIII RECOMENDACIONES

- Realizar el experimento en diferentes épocas del año para poder determinar en que tiempo existe mayor daño dado que en el presente experimento no se tuvieron resultados que reforzaran las hipótesis formuladas.
  
- Probar diferentes niveles de humedad en el cultivo de rabanito con el fin de conocer la respuesta de este bajo diferentes tipos de estrés hídrico.
  
- Realizar un mayor número de repeticiones en cada uno de los tratamientos.
  
- Recabar material fotográfico de los daños visuales del cultivo y así poder realizar una guía de apreciación visual de daño.
  
- Realizar investigaciones que permitan conocer la forma y sitio de acción del EDU.

## IX BIBLIOGRAFIA

- ATLAS DEL MEDIO AMBIENTE 1997. Editorial Cultural, S.A. Barcelona España. 112pp.
- BAUER, L.I. DE. 1972. Uso de Plantas Indicadoras de aeropoiutos en la Ciudad de México. Revista "Agrociencia", Rama de fitopatología,. Chapingo México. pp 139-141.
- BAUER, L.I. DE. 1996 Monitoreo biológico y calidad ambiental, in: Agroecología y desarrollo sustentable, ed. Pérez- Moreno, J. Y Ferrera Cerrato, Montecillo, Estado de México, México. pp 197-202
- BAUER L.I DE. y HERNANDEZ T.T. 1986, Contaminación una amenaza para la vegetación en México. C.P. Chapingo, México. 84 p.
- BRAVO, A.H. 1987. La contaminación del Aire en México. Universo Veintiuno. México. 296p.
- BRUNSCHÖN S., FANGMEIER, A. and JÄGER, H.J.1995. Influence of ozone and ethylendiurea (EDU) on growth and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in open-top field chambers. Env. Poll. 90.89-94.
- COMISION NACIONAL DE DERECHOS HUMANOS. 1992. La contaminación Atmosférica en México (Sus causas y efectos en la salud). CNDH, México. D.F.
- CRONQUIST, A 1980. Introducción a la Botánica. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F
- DANN, M.S.; PELL, E.J. 1989. Decline of activity and quantity of ribulose biosphate carboxylase/oxygenase and net photosynthesis in ozone-treated potato foliage. Plant Physiol. 91 427-432.
- ECKARDT, N. A and PELL, E. J. 1995. Efects of Ethylenediurea (EDU) on ozone-induced Acceleration of Foliar Senescence in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Environmental Pollution. 93: 299-306
- GARCIA, E. 1973. Los climas del Valle de México según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen Modificado. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Sobretiros No. 6 ENA, Chapingo, Mex.
- GONZALEZ, L. 1992, Pudrición bacteriana del Rabano (*Rhapanus sativus* L.) en el municipio de Tepic, Nayarit. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. Pag. 6-14.

- GUENCOV G. 1974, Fundamentos de la horticultura cubana. Instituto Cubano del libro. La Habana Cuba. Pag. 268-276
- GREENHALGH, B., BRENNAN, E. and LEONE, I. 1987. Evidence in support of the use of EDU (Ethylene diurea) to assas ozone-induced plant injury. *Phytopath.*, 77, 1761
- HERNANDEZ, T.T. y BAUER, L.I. 1989. La Supervivencia Vegetal ante la Contaminación Atmosférica. C.P. Chapingo, México. 79p.
- INEGI, 1999. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana.
- JACOBSON, J. and Hill C. A. 1970. Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas. Air Pollution control Association, Pittsburh, Pennsylvania EUA. pp B1-B6
- KOSTKA-RICK, R. and MANNING, W., 1993. Dose-response studies with ethylene diurea (edu) and radish. *Environ. Poll.*, 79, 249-260.
- KRAMER B. J. 1989, Relaciones Hídricas de suelos y plantas. Harla. México. 538 p.
- KRUPA S.V. 1999 POLUCION, POBLACION Y PLANTAS, Colegio de Postgraduados 184p anexos (Versión en Español de AIR POLLUTION, PLANTS and PEOPLE. Traductores: L.I. de Bauer y Hector E De lille. Edición en Inglés: American Phytopatological Society 1997)
- LEGASSIICKE, B.C. and ORMROD, D.P. 1981, Supression of ozone-injury on tomatoes by ethylene diurea in controlled environments and in the field. *HortScience*, 16, 183-184.
- LEFOHN, A. S. 1992, Surface level ozone exposures and their effects on vegetation. Lewis Publishers USA. pp 146
- MANNING W. J. 1996, The Use of Plants as Bioindicators of Ozone.(Artículo presentado en el Simposio Internacional de contaminación del aire y efectos del cambio climático en ecosistemas forestales, febrero 5-9, 1996, Riverside, California) Departament of Microbiology, university of Massachusetts, Amherst. Pag 1-12
- MAROTO B, J.V. 1989, Horticultura herbácea especial, 3ra edición, Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. Pag. 36-41.
- MARTINEZ, G. A. 1994. Experimentación Agrícola, Métodos Estadísticos. UACH, México. 357p.

- ORTIZ G, C. F. 1988. Efecto de los Oxidantes Ambientales en El Rendimiento Agronómico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- PELL, E.J, PUENTE, M. 1986. Emission of Ethylene by oat plants treated with ozone and simulated acid rain. *New Phytol.* 103: 709-715
- PELLISSIER M., LACASSE N. L. *et al.* 1972. Effects of Hydrocarbon Wax Emulsion Sprays in Reducing Visible Ozone Injury to *Phaseolus vulgaris* pinto III. *Plant Disease Reporter* 56 (1).
- QUEIROZ, O. 1988. Air Pollution, gene expression and post-translational enzyme modifications. Eds. Air pollution and plant metabolism. London, United Kingdom: Elsevier Applied Science; pp. 238-254
- REYES F, M.E. 1985. Inducción de la Floración por la Luz Roja en Plantas de Día Corto, Frijol y Soya, de Día largo Rabanito y de Día Neutro frijol. Ing. Agrícola UNAM, México. pp. 18-20
- RODRIGUEZ F, C. 1996. Influencia del ozono y la humedad del suelo en el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var Tempo en Montecillo, Mexico. 108p.
- SALISBURY F.B. Y ROSS C.W. 1994, Fisiología vegetal, Grupo Editorial Iberoamericana México D F. 689p
- SHOWMAN R. E 1990. Acomparison of Ozone Injury to Vegetation During Moist and Drought Years. American Electronic Power Service Corporation. Columbus, Ohio.
- SORIA M. J 1993. Producción de Hortalizas en la Península de Yucatán Centro de Investigación y Graduados agropecuarios (ITA#2) Yucatán México. Pag. 230-235
- TERRON, P.V. 1992. Tratado de Fitotecnia General 2ª ed. Mundi Prensa, Madrid, 895p
- TEMPLE, P.J. and BISESSAR, S. (1979). Responses of white bean to bacterial blight, ozone, and antioxidant protection in the field. *Phitopath.*, 69, 101-3
- VOLIN, C.J.

# ANEXOS

## X ANEXOS

## ANEXO 1. ANDEVA Diámetro ecuatorial en mm

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	68.36458333	22.78819444	0.668888481	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	681.375	34.06675			
Total	23	749.7395833				

## ANEXO 2. ANDEVA Altura de la planta

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1452.53125	484.177083	1.21539926	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	7967.375	398.36875			
Total	23	9419.90625				

## ANEXO 3. ANDEVA Diámetro polar

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	4.197916667	1.399305556	1.088600756	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	25.70833333	1.285416667			
Total	23	29.90625				

## ANEXO 4. ANDEVA Peso fresco del rabano en gramos

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	309.0716667	103.0238889	1.220903285	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	1687.666667	84.38333333			
Total	23	1996.738333				

## ANEXO 5. ANDEVA Peso fresco del follaje en gramos

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3.483333333	1.161111111	0.115685005	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	200.7366667	10.03683333			
Total	23	204.22				

## ANEXO 6. ANDEVA Peso seco del rabano en gramos

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.849133333	0.283044444	0.737286909	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	7.678	0.3839			
Total	23	8.527133333				

**ANEXO 7. ANDEVA Peso seco del follaje en gramos**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.104583333	0.034861111	0.283231776	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	2.461666667	0.123083333			
Total	23	2.56625				

**ANEXO 8. ANDEVA Area foliar**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1248.23041	416.076804	0.12221004	3.10 NS	4.94 NS
Error	20	68092.0811	3404.60405			
Total	23	69340.3115				

Anexo 9 Concentraciones máximas y promedios de O<sub>3</sub> en Montecillo Mex.

Día juliano	Día	Agosto		Día juliano	Septiembre		Día juliano	Octubre	
		Máxima ppm	Promedio ppm		Máxima ppm	Promedio ppm		Máxima ppm	Promedio ppm
	1			244	0.080	0.040	274	0.024	0.019
	2			245	0.055	0.032	275	0.057	0.033
	3			246	0.040	0.030	276	0.053	0.029
	4			247	0.031	0.026	277	0.032	0.023
	5			248	0.053	0.032	278	0.047	0.029
	6			249	0.050	0.031	279	0.088	0.037
	7			250	0.030	0.022	280	0.036	0.024
	8			250	0.032	0.025	281	0.028	0.023
	9			251	0.035	0.027			
	10			252	0.047	0.031			
	11			253	0.025	0.019			
	12			254	0.020	0.018			
	13			255	0.025	0.020			
	14			256	0.038	0.029			
	15			257	0.039	0.027			
	16			258	0.031	0.024			
	17			259	0.075	0.035			
	18			260	0.110	0.049			
	19			261	0.100	0.042			
	20			262	0.147	0.065			
	21			263	0.130	0.048			
	22			264	0.145	0.043			
	23			265	0.056	0.032			
236	24	0.051	0.035	266	0.040	0.025			
237	25	0.054	0.034	267	0.053	0.030			
238	26	0.062	0.037	268	0.059	0.034			
239	27	0.045	0.032	269	0.070	0.032			
240	28	0.049	0.032	270	0.035	0.024			
241	29	0.044	0.030	271	0.041	0.024			
242	30	0.043	0.032	272	0.031	0.022			
243	31	0.047	0.032	273					

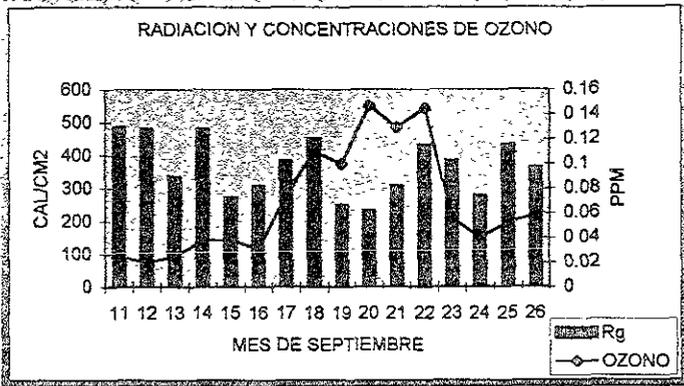
**ANEXO 10. Datos promedios diarios de la estación meteorológica de Montecillo Edo. De México**

Año	Día	Temp. Media promedio °C	Radiación Global Promedio	Velocidad Viento altura 2m m/s <sup>2</sup>	Dirección del viento 4 m	Humedad Relativa Max. promedio %	Humedad Relativa Min. Prom. %	Humedad Relativa Media Promedio %	Ozono Maximo promedio ppm.
1998	236	20,5				96	39	67	0,051
1998	237	20,5			Norte	91	38,5	64,7	0,054
1998	238	17			Noroeste	96	46	71	0,062
1998	239	20,8			Norte	90	34	82	0,045
1998	240	18,3			Norte	92,5	49	70,8	0,049
1998	241	20				92	43	67,5	0,044
1998	242	20,3				92	42	67	0,043
1998	243	18,5			Sureste	93,5	48	70,8	0,047
1998	244	20,5	374,7	0,3		93,5	48	70,8	0,08
1998	245	20,5	317,1	0,2		92	53	72,5	0,055
1998	246	18,3	345,9	1,3	Noroeste	96	49	72,5	0,04
1998	247	17	365,1	1,5	Norte	93	44	68,5	0,031
1998	248	21,3	297,9	0,8		89	45	67	0,053
1998	249	20,5	317,1	1,1		93,5	50	71,7	0,05
1998	250	19	297,9	1,1		96	60	77,5	0,03
1998	251	19,8	292,1	0,7	Norte	96	59	77,5	0,032
1998	252	20	482,4	0,5	Norte	94	48	71	0,035
1998	253	19,5	461,2	0,5	Noroeste	97,5	47	72,2	0,047
1998	254	19,5	486,2	3,1	Sur	85,5	53	69,3	0,025
1998	255	21	460,5	2,2		90	52	71	0,02
1998	256	16,7	336,3	1,3		91,5	34	62,8	0,025
1998	257	19,2	480,5	1,3		87	46	66,5	0,038
1998	258	20,5	273,7	0,2		93	50,5	71,7	0,039
1998	259	20,3	307,5	0,3		92,5	51	71,7	0,031
1998	260	21	384,4	0,6	Sur	93,5	53	73,3	0,075
1998	261	20,8	451,6	0,6	Norte	93,5	44	63,8	0,11
1998	262	20,5	249,8	0,6		93	53	73	0,1
1998	263	21	232,4	0,6		93	47	70	0,147
1998	264	19,5	307,5	0,3		96	52	73,5	0,13
1998	265	19,2	432,4	0,4	Norte	96	47	71	0,145
1998	266	17,7	384,4	3	Sur	93	52	72,5	0,056
1998	267	20,3	278,9	0,5	Norte	94	45,5	68,8	0,04
1998	268	20,5	432,4	1	Noroeste	94	56	76	0,053
1998	269	20,8	365,1	0,3		93	49	71	0,059
1998	270	20	317,1	0,2		92	54	73	0,07
1998	271	19,2	999	0,4		94	55,5	74,8	0,035
1998	272	20,8	307,5	0,6	Sur	98	53	75,5	0,041
1998	273	20	394	999	Noroeste	90	52	71	0,031
1998	274	18,8	490,1	1,5	Sur	90	52	71	0,024
1998	275	17,5	451,2	0,6		93	44	68,5	0,057
1998	276	19,5	297,9	0,3		92	46	69	0,053
1998	277	20				96	52	73,5	0,032
1998	278	17,3				97	48	72,5	0,047

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

1988	279	17,5	442	999	Noroeste	95	45	70	0,088
1993	280	19	269	1,1	Noroeste	96,5	58	77,2	0,038
1998	281	17	403,6	1,6	Noroeste	94	59	76,5	0,028

ANEXO 11. Niveles de contaminación en relación con la radiación presentada durante el experimento.



ANEXO 12 Humedad relativa y temperatura en comparación con niveles de ozono en Montecillo Mex.

