

Efecto del dióxido de azufre (SO_2) sobre plantas jóvenes de *Phaseolus vulgaris*, L. Var. Jamapa¹

JESUS GARCIA V.²

RESUMEN

Plantas de caraotas, *Phaseolus vulgaris* L., de 10 días de edad fueron sometidas a diferentes concentraciones de Dióxido de Azufre (SO_2) para estudiar el efecto de dicho gas, un contaminante de la atmósfera, sobre las características morfológicas y de coloración de las hojas primarias; al mismo tiempo se estudió el efecto que produce dicho gas sobre la fotosíntesis neta a diferentes períodos de tiempo después del tratamiento con SO_2 (0, 24 y 48 horas después) y sobre el peso fresco tres días después del tratamiento.

Las plantas fueron expuestas dentro de una pequeña cámara cerrada herméticamente, a concentraciones controladas de SO_2 de 5,6 ppm, 14 ppm, 28 ppm y 42 ppm, durante un período de una hora. Para estas concentraciones altas y este corto tiempo de exposición se produce desde ningún daño visible hasta plantas fuertemente dañadas (plantas totalmente necrosadas para 42 ppm).

Cambios apreciables fueron conseguidos para los parámetros estudiados a que se aumentaba la concentración. Así tenemos que la fotosíntesis neta se reduce significativamente con los tratamientos de SO_2 comparados con el control, sucediendo lo mismo con el peso, el cual se hace menor a medida que aumenta la concentración de SO_2 .

ABSTRACT.

Bean plants, *Phaseolus vulgaris* L., ten days old were exposed to different concentrations of sulphur dioxide (SO_2) to study this gas effect as atmospheric contaminant, on the morphological characteristics and coloration of the primary leaves; at the same time, it was study the effect of the gas on net photosynthesis to different periods of time after SO_2 treatment (0, 24 and 48 after treatment) and fresh weight three days after treatment.

¹ Recibido para su publicación el 1-9-77.

² Ing. Agr., Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Apdo. 526. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Young plants were exposed within an hermetically closed chamber, to SO₂ concentrations of 5,6; 14; 28 and 42 ppm, during one hour. At these high concentrations and short exposition time a wide range of damage is produced.

Appreciable changes were obtained for all the studied parameters as concentration was increased. Net photosynthesis was significantly reduced with SO₂ treatment. Fresh weight was also reduced as SO₂ concentration increased.

INTRODUCCION

El esfuerzo dedicado por los investigadores al estudio de la contaminación ha sido hasta hace poco tiempo dedicado al efecto que dicha contaminación tiene sobre la salud humana. Ultimamente se está haciendo mucho énfasis al estudio del efecto de la contaminación sobre los cultivos, ya que ésta causa daño a muchos cultivos con consecuencias económicas graves. En un estudio económico hecho por Harris Benedict en 1971 se concluye que la cantidad de daño sobrepasa los 132 millones de dólares cada año (23).

Los contaminantes están representados por una gran cantidad de elementos químicos que se encuentran distribuidos en el aire, siendo los más importantes Fluoruro de Hidrógeno (HF), Ozono (O₃) y Dióxido de Azufre (SO₂).

El SO₂ es producido por la combustión de derivados del petróleo y carbón, ricos en azufre. El petróleo extraído en Venezuela presenta la particularidad de contener grandes cantidades de Azufre, de manera que durante su refinación se libera a la atmósfera SO₂.

La concentración de SO₂ se ve aumentada en aquellas zonas (ciudades) donde existe gran número de vehículos cuya combustión es a gasolina o gasoil; pudiéndose encontrar en algunos casos concentraciones tóxicas para las plantas.

Los contaminantes atmosféricos causan reducción del rendimiento, supresión del crecimiento (20) y baja la calidad del producto en las plantas afectadas (26). La lista de plantas estudiadas como afectadas por la contaminación es bastante amplia (13, 23, 11, 35, 32, 27, 19, 28, 29).

Las plantas pueden ser afectadas por concentraciones relativamente bajas de contaminantes. Concentraciones de 5 ppm de Ozono en *Phaseolus vulgaris* L. durante tres días de exposición causa reducción en el crecimiento y senescencia temprana de las hojas (12); exposición de 18 semanas para esa misma concentración en *Pinus elliotti*, produce reducción en fotosíntesis (4). La intensidad del daño va a depender de la concentración del contaminante y del tiempo de exposición principalmente, pero también influyen factores propios de la planta y condiciones ambientales (18, 17, 16).

Puede que ocurra daño por contaminante sin que este daño sea observado a simple vista. Hill y Bennett encontraron que concentraciones de Ozono que no produce lesiones necróticas puede inhibir en forma reversible la rata de fotosíntesis.

En sí, el efecto causado por los contaminantes sobre las plantas es muy diverso. En trabajos realizados se ha observado que tienen efecto sobre peso fresco y peso seco (32), fuerte reducción de la producción (6), daño en las hojas (9, 1), floración (1), crecimiento (1), fotosíntesis y respiración (33, 34).

El daño producido por contaminantes del ambiente puede ser evitado o reducido de varias maneras (ver bibliografía sobre protección). Puede hacerse: a) mediante el uso de productos químicos, entre los cuales se encuentran fungicidas (21, 30, 31), Antioxidantes (15), reguladores de crecimiento (3, 14). b) Haciendo uso de factores edáficos y ambientales, tales como: nutrición mineral (8, 7, 24, 2) y factores ambientales (18, 17, 29, 21). c) Buscando tolerancia genética.

En un estudio preliminar realizado, trabajando con ácido ascórbico a las concentraciones de 10^{-3} M, 10^{-5} M y 10^{-7} M y sumergiendo las plantas durante 1 y 5 minutos dentro de estas soluciones antes de ser sometidas a un tratamiento con SO_2 que causa daños fuertes y visibles a las hojas, se consiguió que a la concentración de 10^{-7} M para 1 minuto de inmersión en el ácido ascórbico las plantas no presentaban los síntomas de daño presentados por aquellas plantas no protegidas y colocadas en la misma cámara, que las protegidas para el tratamiento con SO_2 .

MATERIALES Y METODOS

Todo el material vegetal en este experimento, plantas de *Phaseolus vulgaris* var. Jamapa tenía 10 días a partir de la fecha de la siembra y eran sembradas en pequeñas macetas (2 plantas por maceta) en el invernadero. Un día antes de ser sometidas al tratamiento con SO_2 eran llevadas al laboratorio y colocadas bajo lámparas con luz artificial con una intensidad de 1.000 bujías-pié y 14 horas de luz por día. La temperatura en el laboratorio se mantenía a 25°C tanto durante el día como durante la noche.

Para efectuar el tratamiento, 5 de las macetas (diez plantas) eran colocadas en una cámara con una capacidad de 0.02154 m^3 , la cual era sellada herméticamente ofreciendo en la parte superior un tapón a través del cual podía ser inyectado el SO_2 con una jeringuilla.

Dentro de la cámara se colocó un pequeño ventilador que se mantenía funcionando durante el tiempo que durara la exposición al SO_2 (1 hora) para difundir el gas uniformemente.

El SO_2 era producido en un envase pequeño de plástico, al cual se le agregaban 10 cc de HCl 2 M y 10 cc de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1 M. Luego era extraído todo el aire con una jeringuilla y el envase era colocado en agua que se mantenía a 50°C constantes, hasta que se produjera gran cantidad de SO_2 . Esta producción puede notarse por la expansión del envase. Luego con una jeringuilla se tomaba 1, 2,5, 5 y 7,5 cc del gas liberado del envase y cada una de estas cantidades eran inyectadas por separado a las cámaras, constituyendo los tratamientos, se hacía funcionar el ventilador y el sistema se mantenía

cerrado durante una hora. El control era encerrado en la cámara por una hora pero sin la aplicación de SO_2 . Transcurrido este tiempo las plantas eran sacadas y pasadas a otra cámara para medir la fotosíntesis neta por medio de un "Infrared Analyzer", basándose en la medición de la concentración inicial y final de CO_2 dentro de la cámara cerrada herméticamente para un período de una hora. Las plantas eran luego sacadas y colocadas bajo las lámparas en el laboratorio a las condiciones ya descritas y a las 24 y 48 horas se realizaba de nuevo la medición de la fotosíntesis.

Tres días después del tratamiento con SO_2 eran cortadas y pesadas las hojas para cada tratamiento por separado. Por otro lado, se tomaron observaciones de las características que presentaban las plantas, particularmente en las hojas, como consecuencia del daño causado por el SO_2 desde el momento de sacar las plantas de la cámara hasta cuando nuevos síntomas y coloraciones no eran observados.

La medición de la concentración de SO_2 usada, se hizo mediante un "SO₂ Ultraportable Analyzer, Model U2-D" y para ello se inyectaba 0,25 cc del gas producido a una cámara cerrada, se medía la concentración y luego se calculaba la concentración para cada uno de los volúmenes usados, quedando en la siguiente forma:

Volumen inyectado en cc.	Concentración de SO_2 en ppm.
0	0
1	5,6
2,5	14
5	28
7,5	42

Nótese que son concentraciones mucho más altas que las conseguidas en un ambiente contaminado pero para un tiempo tan corto de exposición (una hora) sólo así puede producirse el daño y este daño es similar al producido por bajas concentraciones y tiempos prolongados de exposición.

El análisis de variancia fue realizado para un diseño estadístico completamente aleatorizado con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Esto se hizo para analizar fotosíntesis neta a los tres tiempos diferentes y para analizar peso. También se utilizó la prueba de Duncan para buscar si existía diferencia entre cada uno de los tratamientos, tanto para fotosíntesis como para peso.

RESULTADOS

Los síntomas presentados para cada una de las concentraciones de SO_2 usadas son los siguientes:

5,6 ppm de SO_2 : Para esta concentración las plantas no presentan ningún daño visible y presentan la misma apariencia del control.

14 ppm de SO₂: A esta concentración aparecen un día después del tratamiento pequeñas manchas cloróticas que con el tiempo se tornan de color marrón claro y luego van cambiando hasta llegar a color marrón oscuro. La zona alrededor de la nervadura aparece de color verde intenso y el resto de la lámina que no está manchada de marrón comienza a tornarse de color amarillo (1 semana después del tratamiento) y al poco tiempo caen las hojas (se acelera la senescencia grandemente).

28 ppm de SO₂: En el momento de salir de la cámara las plantas presentan manchas cloróticas y marchitez leve. Las manchas se acentúan, se tornan verde claro y aumenta la flacidez, pero ésta se recupera al poco tiempo después (1 a 1,5 horas después de sacadas de la cámara). En ocasiones, algunas hojas se marchitan totalmente y ya no se recuperan y en otras sus bordes se encorvan hacia el haz. Un día después las zonas afectadas aparecen de color grisáceo y algunas hojas se tornan de color marrón. Luego la mancha marrón se acentúa y aparecen zonas necrosadas totalmente o en parte, con un color marrón claro y con apariencia apergaminada (hay una destrucción total de la clorofila).

En ocasiones aparecen las hojas con clorosis entre las nervaduras, permaneciendo éstas de color verde. Estos colores, especialmente el marrón, se acentúan con el tiempo y las zonas no afectadas por el SO₂ se tornan amarillas y al poco tiempo las hojas se desprenden de la planta.

42 ppm de SO₂: En general presenta los mismos síntomas que para la concentración anterior, pero con daño más acentuado. Las plantas salen de la cámara ya con daños fuertes de coloración y marchitamiento que no se recupera o se recupera muy poco. El daño principal es por necrosamiento y muerte total de los tejidos en un porcentaje alto de hojas y plantas. Un día después del tratamiento las hojas, en su mayor parte, están marchitas totalmente. La parte de la hoja que no presenta esta característica se torna en gran parte de color marrón o amarillo y muy poca superficie de la lámina foliar permanece verde y está restringida a la zona de alrededor de las venas y cerca del pecíolo. Estas hojas comienzan a caerse a los tres días después del tratamiento.

El daño es causado sobre el haz de las hojas y puede ser observado a las concentraciones donde no hay necrosamiento, ya que los cambios de coloraciones sólo se observan en esta parte de la hoja. Todo esto indica que el daño no es por entrada de SO₂ a través de los estomas, ya que éstos se encuentran en mayor número en la parte inferior de la hoja.

Podemos decir que el daño es de contacto y realizado directamente sobre las moléculas de clorofila; ésta es mayor en el haz que en el envés de la hoja, a concentraciones bajas y medianas. A concentraciones altas (28 y 42 ppm de SO₂) hay daño de todos los tejidos que provoca la muerte rápida de la hoja.

Peso: El SO₂ causó reducción en el peso; éste fue medido tres días después del tratamiento con SO₂. En la tabla III puede observarse que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Según la prueba

de Duncan se consiguió que para las concentraciones de 0 (control), 5,6 y 14 ppm de SO₂ no había diferencia entre ellas pero si se encontró diferencia en peso para estas concentraciones comparadas con 28 y 42 ppm. También se consiguió diferencia entre los tratamientos de 28 y 42 ppm.

El peso verde promedio para 100 hojas como resultado de los tratamientos con SO₂ es presentado en la Tabla 1 y al mismo tiempo se expresa el equivalente en peso con respecto al control de cada uno de los tratamientos.

TABLA N° 1

Efecto de diferentes concentraciones de CO₂
sobre el peso de hojas de *Phaseolus vulgaris* L.

Conc. SO ₂ ppm	Peso verde grs. 100 hojas	% respecto control
Control	48,08	100
5,6	47,42	98,63
14	45,25	94,12
28	34,22	71,17
42	24,70	51,38

Como puede observarse, a medida que se aumenta la dosis el peso es fuertemente reducido y ya a 42 ppm se consigue una reducción en un 50 por ciento con respecto al control, lo que nos indica el fuerte daño producido por concentraciones altas de SO₂.

Fotosíntesis neta: Esta fué medida en tres épocas diferentes, en el momento de salir de la cámara con el tratamiento de SO₂, a las 24 y a las 48 horas después del tratamiento. Se consiguió una gran reducción en fotosíntesis a medida que se aumentó la concentración de SO₂. Según el análisis de varianza (tabla IV, V y VI), observamos diferencias altamente significativas para los tratamientos en todas las épocas en que se midió fotosíntesis neta. Para una prueba de Duncan la diferencia entre los tratamientos varía de acuerdo a la época de medición de la fotosíntesis neta; así tenemos que en el momento de salir de la cámara con el tratamiento de SO₂ no se consiguió diferencia entre la fotosíntesis neta para el control, 5,6 y 14 ppm, hubo diferencia para los tratamientos de 28 y 42 ppm de SO₂ comparado con los tres anteriores, no consiguiéndose diferencias entre ellos. Para 24 horas después no hubo diferencia entre el control y 5,6 ppm de SO₂ pero sí entre el control y 14, 28 y 42 ppm. No existe diferencia entre 6,5 y 14 ppm, existiendo entre 28 y 42 ppm. comparados con 6,5 y no hubo entre 14 y 28 ppm. pero sí entre éstos y 42 ppm de SO₂.

En la medición 48 horas después no se consiguió diferencias significativas entre un tratamiento con el que le sigue, pero sí entre el resto y el tratamiento (ver tabla VI).

La tabla II nos indica la fotosíntesis neta conseguida para cada tratamiento y cada época de medición, así como la reducción de ésta, comparada con el control, expresada en porcentaje.

TABLA N° 2

Fotosíntesis neta para cada tratamiento y época de medición.
Comparación con respecto al control*.

Conc. SO ₂ ppm.	Después del trat. SO ₂		A las 24 horas		A las 48 horas	
	Consumo de CO ₂	% respecto al control	Consumo de CO ₂	% respecto al control	Consumo de CO ₂	% respecto al control
Control	237,6	100	201	100	213	100
5,6	195	82,07	166	82,59	207	97
14	150	63,13	112	55,72	153	71,83
28	46	19,36	78	38,81	109	51,17
42	-25	-10,52	6	2,99	71	33,33

* Valores en ppm de CO₂ consumido conseguido por el Infrared Analyzer para 1 hora.

Puede notarse como la fotosíntesis neta se ve reducida a medida que aumentamos la concentración de SO₂ hasta llegar a conseguirse valores negativos en el consumo de CO₂ a la concentración de 42 ppm. de SO₂. Esto indica un aumento de la concentración de CO₂ como consecuencia de una mayor respiración con respecto a la fotosíntesis o paralización total de esta última.

DISCUSION

Los resultados de este estudio indican el gran efecto que tiene el SO₂ sobre las plantas. A medida que aumentamos la concentración se aumenta tanto el daño visible causado a las hojas como la reducción en peso y en fotosíntesis neta. A la menor concentración, 5,6 ppm de SO₂, a pesar de no observarse ninguna característica visible en las hojas y de no encontrarse diferencias significativas con respecto al control puede observarse en las figuras 1, 2, 3 y 4 que tanto el peso de las hojas a los tres días como la fotosíntesis neta se encuentran un poco por debajo del control. En el caso de fotosíntesis neta, para el momento de sacar las plantas de la cámara con el tratamiento de SO₂ y 24 horas después, es reducida a un 82 por ciento comparada con el control. En cambio, para la medición a las 48 horas después del tratamiento se reduce sólo a un 97 por ciento del control. Esto indica que a pesar de no existir daño aparente en la planta, algunos procesos fisiológicos pueden estar afectados, en este caso fotosíntesis, y que ésta puede recuperarse con el tiempo cuando no ha habido daño visible sobre las hojas.

Para el caso de la concentración de 14 ppm de SO₂ donde no se consiguió diferencia significativa con el control en cuanto a peso y de fotosíntesis neta en el momento de salir de las cámaras con el tratamiento de SO₂ puede ser explicado debido a que las hojas conservan su turgidez normal y aparecen clorosis y manchas leves sobre el haz uno o dos días después del tratamiento y el peso es tomado después de los tres días de manera

que, aunque se reduce con respecto al control, no es suficiente para dar diferencia significativa en ese corto período de tiempo. Es un hecho que la concentración afecta, ya que se presentan daños visibles sobre las hojas, lo cual afecta la fotosíntesis; muestra de ello es que la aparición de manchas cloróticas coincide con la diferencia significativa, en fotosíntesis neta que existe entre este tratamiento comparado con el control a las 24 y 48 horas después del tratamiento con SO_2 (ver figura 3, 4a y 4b).

En el caso de las concentraciones de 28 y 42 ppm de SO_2 se consiguió siempre diferencia altamente significativa con respecto al control y con 6,5 ppm de SO_2 (ver tabla IV, V y VI). Si observamos la figura 1 y 2, vemos como el peso es fuertemente reducido para estos dos casos, consiguiéndose una reducción de un 50 por ciento para la concentración de 42 ppm., al compararla con el control, a los tres días después del tratamiento. Esto está relacionado con el daño de necrosis y marchitamiento en forma avanzada que se observa en los tratamientos.

Para estos casos la fotosíntesis neta (ver figura 3 y 4) es reducida al máximo. Podemos observar que en la medición de la fotosíntesis neta, después de tratada con SO_2 , para 42 ppm fué negativa; esto puede ser debido a una rata de respiración mayor que la fotosíntesis o a una paralización total de la fotosíntesis. Para 28 ppm de SO_2 aunque no da negativo el consumo de SO_2 es reducido a sólo un 19 por ciento con respecto al control. Esta reducción tan drástica de la fotosíntesis neta coincide con la etapa de flacidez de las plantas después de salir de las cámaras donde fueron sometidas al tratamiento con SO_2 . Para 42 ppm. donde la flacidez es total al poco tiempo después del tratamiento con SO_2 , probablemente hay un cierre total de los estomas impidiendo la entrada de CO_2 necesaria para la fotosíntesis. Para 28 ppm también ocurre marchitez pero en menor grado, de allí que haya cierto consumo de CO_2 .

Se puede observar que para la medición de la fotosíntesis neta a las 24 y 48 horas después del tratamiento con SO_2 (ver figura 4b y 4c) el consumo de CO_2 aumenta. Esto puede ser debido a dos razones: 1) Que las plantas se recuperan en parte de la marchitez que provoca cierre de los estomas y 2) Que la primera hoja trifoliada ya ha aparecido para el segundo día después del tratamiento con SO_2 (quizás a esto se deba el mayor incremento para las 48 horas).

Si observamos la figura 3, podemos ver que en la medición de fotosíntesis neta para las 24 horas después del tratamiento se ve reducida, con excepción de 28 y 42 ppm de SO_2 por la razón ya descrita, con respecto a la medición anterior; esto puede ser debido al trato recibido por las plantas en el momento de meterlas y sacarlas de las cámaras para hacer la medición. El aumento observado a las 48 horas es debido, quizás, a la aparición de la primera hoja trifoliada en cada una de las plantas usadas para medir la fotosíntesis neta.

CONCLUSIONES

Tratamiento a las plantas con SO_2 causa en poco tiempo reducción en peso y consumo de CO_2 como consecuencia del daño provocado a las moléculas de clorofila a concentraciones moderadas.

Concentraciones bajas no producen daño visible sobre las hojas pero sí afectan, aunque no en forma significativa, el peso y la fotosíntesis neta cuando se compara con el control.

Concentraciones altas causan un daño fuerte tanto en el peso como sobre la fotosíntesis neta, consiguiéndose para ésta valores negativos como consecuencia de una paralización total de la fotosíntesis o por una rata de respiración superior a ésta.

Con el tiempo la fotosíntesis aumenta debido a la producción de nuevas hojas y no a la recuperación del daño, a excepción de concentraciones bajas, ya que las partes de las hojas afectadas no se recuperan sino que por el contrario el daño se acentúa por muerte progresiva de los tejidos.

Figs. 1 y 2.— Efecto del SO_2 sobre el peso de 100 hojas expresado en gramos y en porcentaje.

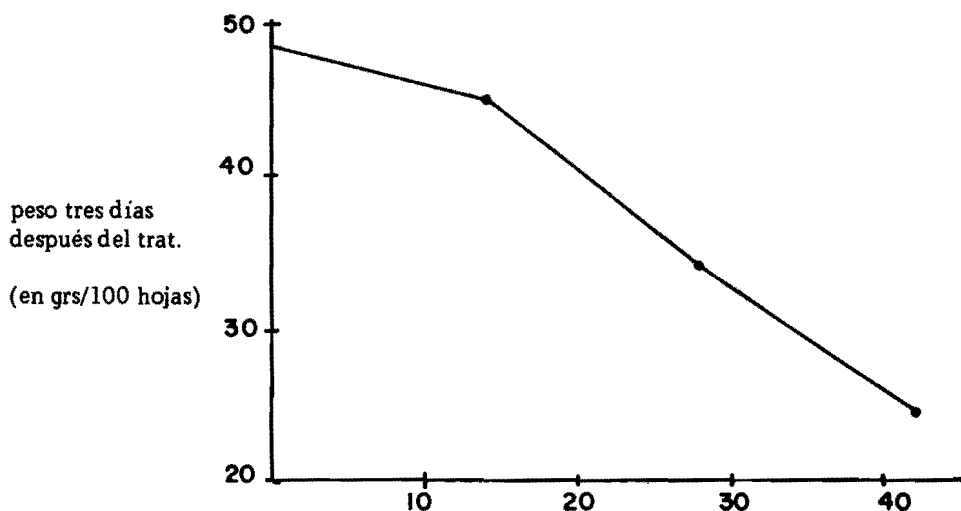


Fig. 1.— Concentraciones de SO_2 en ppm

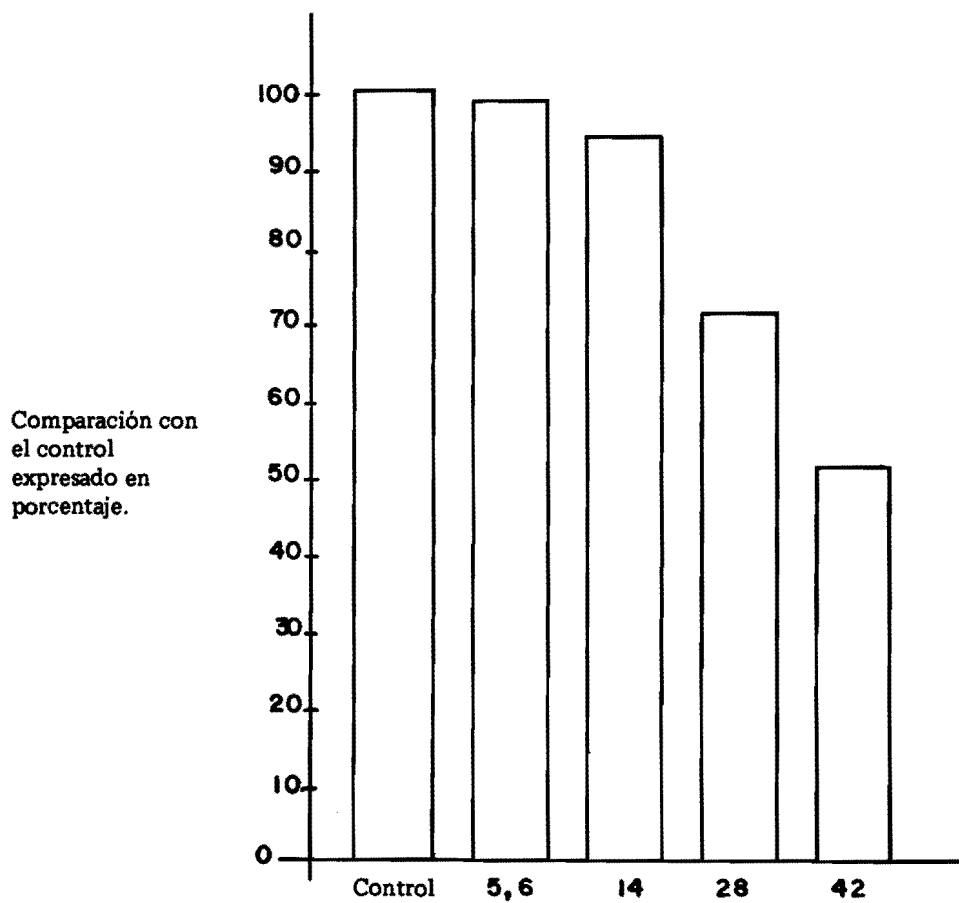
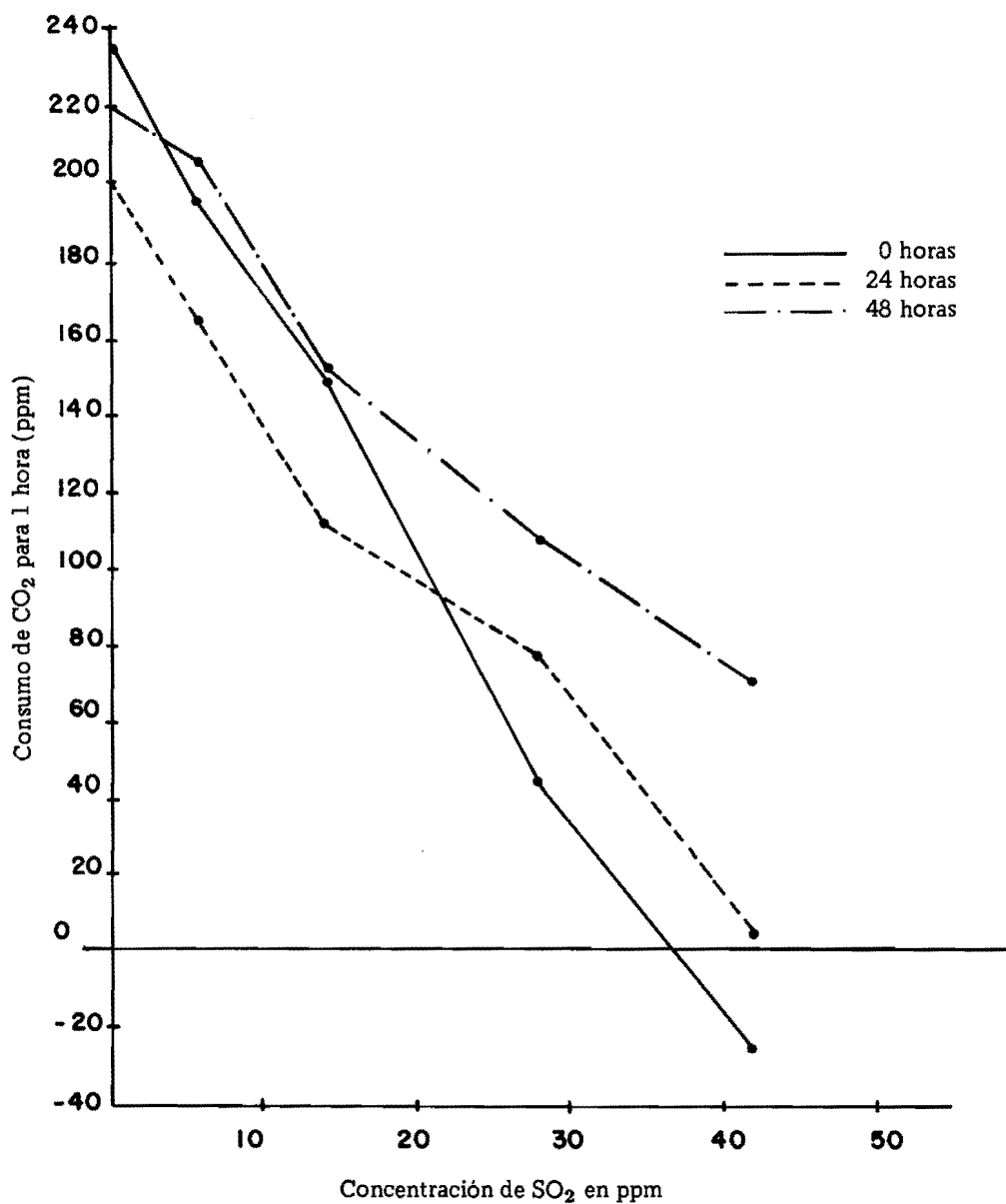


Fig. 2.— Concentración de SO₂ en ppm.

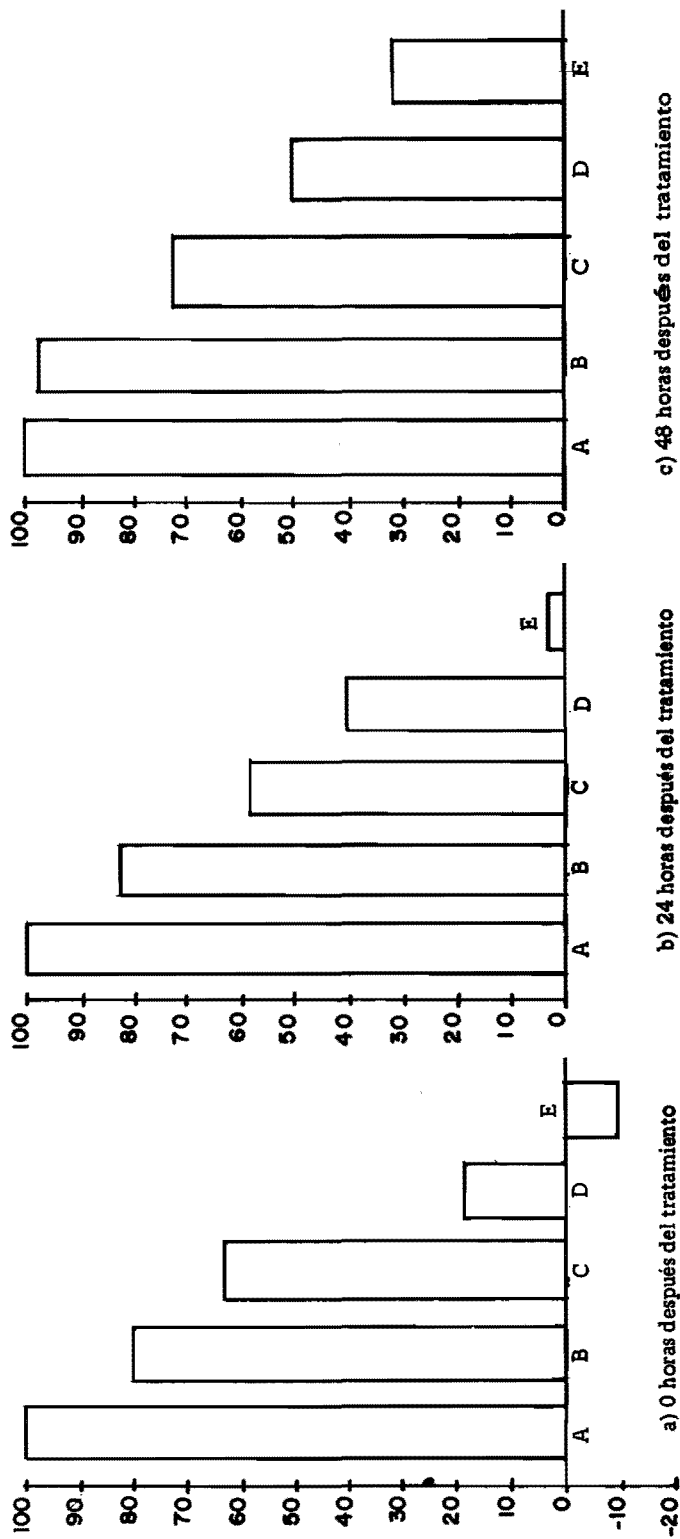
Fig. 3.- Efecto del SO_2 sobre Fotosíntesis neta en tres épocas diferentes después del tratamiento con SO_2 *



* Valores en ppm de CO_2 consumido conseguido por el Infrared Analyzer para una hora.

Figs. 4a, 4b y 4c.— Comparación del efecto causado por el SO₂ sobre la fotosíntesis neta con respecto al control. Expresado en porcentaje.

A = control
B = 5,6 ppm de SO₂
C = 14 ppm de SO₂
D = 28 ppm de SO₂
E = 42 ppm de SO₂



LITERATURA CITADA

1. ADEDIPE, N.O., R.E. BARRETT and D.P. ORMROD. Phytotoxicity and growth responses of ornamental bedding plants to Ozone and Sulfure dioxide. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 341-345. 1972.
2. ADEDIPE, N.O., G. HOFSTRA and D.P. ORMROD. Effects of sulphur nutrition on phytotoxicity and growth responses of bean plants to ozone *Can. J. Bot.* 50: 1789-1793. 1972.
3. ADEDIPE, N.O. and D.P. ORMROD. Hormonal regulation of ozone phytotoxicity in *Raphanus sativus* *Z. Pflanzen. Physiol.* 68: 254-258. 1972.
4. BARNES, R.L. Effects of chronic exposure to ozone on photosynthesis and respiration of pines. *Environ. Pollut.* 3: 133-138. 1972.
5. BELL, J.N.B. and R.A. COX. Atmospheric ozone and plant damage in the United Kingdom. *Environ. Pollut.* 8: 163-170. 1975.
6. BELL, J.N.B. and W.S. CLOUGH. Depression of yield in ryegrass exposed to Sulphur dioxide. *Nature* 241: 47-49. 1973.
7. BRENNAN, E., I.A. LEONE and R.H. DAINES. Fluorine toxicity in tomato as modified by alterations in the nitrogen, calcium and phosphorus nutrition of the plants. *Plant. Physiol.* 25: 736-747. 1950.
8. BREWER, R.F., F.B. GUILLEMENT and R.K. CREVELING. Influence of N, P, K fertilization on incidence and severity of oxidant injury to mangles and spinach. *Soil Sci.* 92: 217-219. 1962.
9. CATHEY, H.M. and HEGGESTAD, H.E. Effects of growth retardants and fumigations with ozone and Sulphure dioxide on growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98: 3-7. 1963.
10. CATHEY, H.M. and HEGGESTAD, H.E. Reduction of ozone damage to petunia hybrida Vilm., by use of growth regulating chemicals and tolerant cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 695-700. 1972.
11. DUGGER, W.M. Jr., O.C. TAYLOR e. CARDIFF and R.R. ROMANOWSKI, Jr. Tipburn on ozone-incited response in onion, *Allium cepa* L. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 86: 468-474. 1965.
12. ENGLE, R.L. and W.H. GABEL. The effects of low levels of ozone on pinto beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91: 304-309. 1974.
13. FEDER, W.A., F.L. FOX, W.W. HECK and F.J. CAMPBELL. Varietal responses of petunias to several air pollutants. *Plant. Dis. Rptr.* 53: 506-509. 1969.
14. FLETCHER, R.A., N.O. ADEDIPE and D.P. ORMROD. Absciscic and protects bean leaves from ozone induced phytotoxicity. *Can. J. Bot.* 50: 2389-2391. 1972.
15. FREEDAIRN, H.T. and O.C. TAYLOR. Prevention of plant damage from air-borne oxidizing agents. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 76: 693-699. 1960.
16. GENTILE, A.G., W.A. FEDER, R.E. YOUNG and Z. SANTNER. Suceptibility of *Lycopersicon* spp. to ozone injury. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 94-96. 1971.
17. HECK, W.W., J.A. DUNNING and I.J. HINDAWI. Interactions of enviromental factors on the sensitive of plants to air pollution. *J. Air pollut. Control Assoc.* 15: 511-515. 1965.
18. HECK, W.W. Factors influencing expression of oxidant damage to plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 6: 165-188. 1968.
19. HECK, W.W. Air pollution injury to vegetable. *Vegetable growers Messenger.* 4: 1. 1971.
20. HEGGESTAD, H.E. Plants under siege. *Agric. Res.* 18: 8-10. U.S.D.A. Washington D.C. 1970.

21. JUHREN, M., W. NOBLE and F.W. WENT. The standardization of *Poa annua* as an indicator of smog concentrations I: Effects of temperature, photoperiod and light intensity during growth of test plants. *Plant. Physiol.* 32: 576-586. 1957.
22. KENDRICK, J.B., J.T. MIDDLETON and E.F. DARLEY. Chemical protection of plants from ozonate (smog) injury. *Phytopathology* 44: 494 (Abstr). 1954.
23. LEONE, I.A. and E. BRENNAN. Sensitivity of begonias to air pollution. *Hort. Res.* 9: 112-116. 1969.
24. LEONE, I.A. and E. BRENNAN. Sulfur nutrition as it contributes to the susceptibility of tobacco and tomato to SO_2 injury. *Atmos. Environ.* 6: 259-266. 1972.
25. MARK, J.L. Air pollution: Effects on plants. *Science* 187: 731-733. 1975.
26. ORMROD, D.P. and N.O. ADEDIPE. Protecting Horticultural Plants from atmospheric pollutants. A. Review. *Hort. Sci.* 9(2): 108-109. 1974.
27. REINERT, R.A., D.T. TINGEY and H.B. CARTER. Sensitivity of tomato cultivars to ozone. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 149-151. 1972.
28. RICHARDS, B.L., J.T. MIDDLETON and W.B. HEWITT. Air pollution with relation to agronomic crops. *J. Oxidant. Stipule of grape. Agron. J.* 50: 559-561. 1958.
29. RICH, S. Ozone damage to plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 2: 253-666. 1964.
30. SEEM, R.C., H. COLE Jr. and N.L. LACASSE. Suppression of Ozone injury to *Phaseolus vulgaris* L. "Pinto III" with triaridinol and its monochlorophenyl cyclohexyl analogue. *Plant. Dis. Rptr.* 56: 386-390. 1972.
31. SEEM, R.C., H. COLE, Jr. and N.L. LACASSE. Suppression of Ozone injury to *Phaseolus vulgaris* L. with thiophanate ethyl and its methyl analogue. *J. Environ. Anal.* 2: 266-268. 1973.
32. TINGEY, D.T., W.W. HECK and R.A. REINERT. Effect of low concentrations of ozone and sulphur dioxide on foliage, growth and yield of radish. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 369-371. 1971.
33. TODD, G.W. Effect of ozone and ozonated 1-hexane on respiration and photosynthesis of leaves. *Plant Physiol.* 33: 416-420. 1958.
34. TODD, G.W. and B. PROPST. Changes in transpiration and Photosynthesis rates of various leaves during treatment with ozonated 1-hexane or Ozone gas. *Physiol. Plant.* 16: 57-65. 1963.
35. WEAVER, G.M. and H.O. JACKSON. Relationship between bronzing in white beans and phytotoxic levels of atmospheric ozone in Ontario Can. *J. Plant. Sci.* 48: 561-568. 1968.