

EFFECTO RESIDUAL DE LA CENIZA VOLCANICA EN LA CALIDAD FOTOSINTETICA DEL CAFETO *

Por: Marcelo Ruiz Zavaleta y
Eduardo Jiménez Sáenz**

S U M M A R Y

The residual effect of volcanic ashes on the carbon metabolism by coffee leaves was investigated through ten-minute exposures to $C^{14}O_2$ under sunlight. The influence of factors such as altitude, variety, age of the plant and age of the leaf were also studied in the absence of volcanic ashes. It was concluded that: 1) the volcanic detritus partially inhibited the Glycolate Pathway; 2) the only interaction which affected the physiology of the coffee tree was that between the ashes and the age of the leaf; and 3) that the only factors which, besides the volcanic ashes, influenced the photosynthetic quality of the coffee leaf, were altitude and age of the leaf.

Introducción

Poco es lo que se sabe acerca del efecto de la ceniza volcánica en la fisiología del café. La información disponible se refiere más que todo a los daños causados por la actividad volcánica a las plantaciones en general.

Green y Reeves (6) opinan que la ceniza volcánica provoca el secamiento prematuro de los frutos a través de la acción tóxica de sustancias desconocidas que no afectan el follaje del café. Alvarado (1), por otra parte, sostiene que el efecto de la ceniza es complejo, pues tanto induce clorosis, defoliación, interfiere con la polinización y predispone a la planta al ataque de plagas y enfermedades, como fertiliza el suelo al agregar elementos químicos nutritivos para las plantas.

Otros tipos de emanaciones volcánicas, además de la ceniza, deben ser nocivas para el café, pues se sabe, por ejemplo, que el dióxido de azufre es tóxico para la fotosíntesis aún a concentraciones muy bajas (15). Asimismo, el ozono, el sulfuro de hidrógeno, el etileno y ciertos fluoruros, entre otros compuestos contaminantes de la atmósfera, pueden afectar la eficiencia fotosintética de las plantas (3, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17).

El principal objetivo de este trabajo fue investigar el efecto residual de las cenizas lanzadas durante más de dos años por el volcán Irazú, sobre los cafetales de la Meseta Central de Costa Rica. Además, se analizó la influencia de la altitud, la variedad, la edad de la planta y la edad de la hoja en la utilización de los

productos fotosintéticos en ausencia de ceniza volcánica.

Materiales y Métodos

Este estudio fue realizado en 1965, cuando la actividad del volcán Irazú había terminado. La parte analítica se hizo en los laboratorios de Fitofisiología del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica.

El material experimental consistió de hojas tiernas o maduras (1° o 3er. par), obtenidas de plantas jóvenes o adultas (2 ó 10 años aproximadamente), de las variedades Typica o Bourbon de *Coffea arabica*. Los cafetos se encontraban en la zona severamente afectada por las erupciones volcánicas (cantones de Goicoechea y La Unión, a 1350 metros sobre el nivel del mar) o en localidades libres de la influencia de la ceniza (cantones de Jiménez y Turrialba, a 1165 y 600 metros de altitud, respectivamente). No obstante, las plantaciones afectadas por la ceniza estaban prácticamente defoliadas y la cosecha era insignificante, los cafetos mostraban signos marcados de recuperación.

En las pruebas fotosintéticas se usó $C^{14}O_2$, el cual fue liberado dentro de una cámara de plástico transparente, por medio de la reacción entre carbonato de bario y ácido láctico. La cámara fue colocada a plena exposición solar y el período de fijación fue de sólo 10 minutos. La extracción de los metabolitos así producidos se hizo con etanol caliente del 80% más dos lavados con agua destilada hirviendo. Los extractos fueron combinados y luego sometidos a evaporación hasta que el volumen se redujo a 0,5 ml. aproximadamente. Para la separación de las sustancias radiactivas se empleó la técnica de cromatografía bidimensional en papel, usando como primer solvente una solución acuosa de fenol al 80% (p/v) y como

* Resumen de la tesis presentada por el autor principal ante la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo.

** Fitofisiólogo Adjunto del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Dirección actual: Centro de Pesquisas do Cacau (CEPLAC. Caixa Postal 7, Itabuna, Bahia, Brasil).

Cuadro 1 — Distribución relativa (en por ciento)* del C¹⁴ en productos elaborados durante 10 minutos de fotosíntesis en cafetos afectados severamente por las erupciones del volcán Irazú (Costa Rica, 1963-1965).

Localidad	GOICOECHEA								LA UNION							
	Typica				Bourbón				Typica				Bourbón			
	Joven		Adulta		Joven		Adulta		Joven		Adulta		Joven		Adulta	
Par de hoja	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º
Metabolito																
Sacarosa	33,5	50,8	42,5	31,7	61,6	51,2	—	44,4	44,5	54,5	53,0	53,0	46,5	63,4	46,3	57,7
Glicina-Serina	39,8	32,3	32,4	48,5	27,4	34,2	—	39,7	17,1	12,2	17,0	12,3	15,6	18,0	22,8	13,3
Alanina	10,5	6,5	9,3	5,9	4,5	5,7	—	6,6	5,0	5,5	5,9	0,9	18,6	8,2	12,9	7,4
Glutamato	10,2	0	7,8	0	4,8	0	—	0,4	15,4	1,9	12,2	0	13,7	0	7,5	1,8
Glicerato	0	1,9	0	2,1	0	2,0	—	1,3	2,3	4,0	2,5	3,1	0	3,4	2,6	6,7
Otros	6,0	8,5	8,0	11,8	1,7	6,9	—	7,6	15,7	31,9	9,4	30,7	5,6	7,0	7,9	13,1

*Cada porcentaje corresponde a una observación.

Cuadro 2 — Distribución relativa (en por ciento)* del C¹⁴ en productos elaborados durante 10 minutos de fotosíntesis en cafetos que no fueron afectados por las erupciones del volcán Irazú (Costa Rica, 1963-1965).

Localidad	JIMENEZ (Juan Viñas)								TURRIALBA							
	Typica				Bourbón				Typica				Bourbón			
	Joven		Adulta		Joven		Adulta		Joven		Adulta		Joven		Adulta	
Par de hoja	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º	1º	3º
Metabolito																
Sacarosa	44,5	54,5	53,0	53,0	46,5	63,4	46,3	57,7	33,0	44,6	22,6	33,0	13,5	38,4	14,0	36,2
Glicina-Serina	17,1	12,2	17,0	12,3	15,6	18,0	22,8	13,3	37,9	36,0	37,7	37,2	52,7	31,8	36,9	30,6
Alanina	5,0	5,5	5,9	0,9	18,6	8,2	12,9	7,4	16,8	16,2	8,6	11,6	12,6	10,7	11,1	14,6
Glutamato	15,4	1,9	12,2	0	18,7	0	7,5	1,8	9,2	0	13,9	0	7,5	1,2	15,7	0
Glicerato	2,3	4,0	2,5	3,1	0	3,4	2,6	6,7	0	3,2	2,4	4,3	1,5	3,8	3,4	4,7
Otros	15,7	21,9	9,4	30,7	5,6	7,0	7,9	13,1	3,1	0	14,8	13,9	12,2	14,1	18,9	13,9

*Cada porcentaje corresponde a una observación.

segundo, una mezcla de butanol, ácido propiónico y agua (47:23:30) (2, 16). Las manchas radiactivas en los cromatogramas fueron descubiertas por medio de autoradiografía con placas para rayos X. La radiactividad fue medida directamente sobre el papel por medio de un tubo Geiger-Muller provisto de una ventanilla cuya densidad era de 1,9 mg/cm². Una vez hecha la identificación parcial de los principales metabolitos, lo cual se logró por comparación de sus valores R_f con los de sustancias conocidas, por cocromatografía o por medio de la reacción con ninhidrina para aminoácidos, se calculó la distribución relativa (en por ciento) de la radiactividad en cada cromatograma. Debido a la dificultad comúnmente encontrada en este tipo de trabajo para separar debida-

mente los aminoácidos glicina y serina, éstos fueron considerados como un par.

Con base en los resultados (Cuadros 1 y 2), se prepararon varios histogramas para analizar los efectos de las variables estudiadas.

Resultados y Discusión

Efectos de la Ceniza Volcánica

a) *Primario*.— El efecto residual de la ceniza en la fisiología del café se manifestó, principalmente, a través de una alteración del metabolismo del carbono. Se encontró (Gráfico 1) que la síntesis y acumulación de sacarosa, ácido glicérico y ácido glutámico disminuyó sen-

siblemente mientras que aumentó la del par glicina-serina. Estos resultados sugieren una fuerte acción inhibitoria de la ceniza sobre la Vía del Glicolato, o sea la secuencia de reacciones que explica la formación de hexosas en el citoplasma vegetal, a partir del ácido glicólico que es uno de los primeros compuestos fotosintéticos (7, 8). Como intermediarios en ese proceso se sabe que participan, entre otros metabolitos, la glicina, la serina y el glicerato. Evidencia de que en la hoja del café también funciona la Vía del Glicolato, fue obtenida en pruebas metabólicas realizadas *in vitro*, en las que se usó glicolato-2-C¹⁴*

El bloqueo del sistema enzimático que cataliza la transformación de la serina en glicerato constituiría, entonces, el efecto nocivo de la ceniza. Además, explicaría la disminución en la concentración de sacarosa que se observó en las hojas afectadas. Del mismo modo quedaría esclarecida la menor formación de ácido glutámico en esas hojas, pues se sabe que el ácido alfa-cetoglutarico, precursor inmediato del aminoácido en referencia, es producido en la etapa final de la degradación oxidativa del azúcar.

b) *Secundarios*.— Si se analiza la influencia de la ceniza en función de los otros factores estudiados, tal como se hizo en los Gráficos 2, 3 y 4, se revelan los efectos secundarios de aquella. Siguiendo ese criterio se encontró que las interacciones entre la ceniza y la variedad (Gráfico 2), tanto como entre la ceniza y la edad de la planta (Gráfico 3), fueron nulas. Lo contrario sucedió, sin embargo, en el caso de la interacción entre la ceniza y la edad de la hoja (Gráfico 4-a vs 4-b), lo cual muestra una marcada diferencia en la capacidad metabólica de la hoja, conforme ésta madura fisiológicamente.

Otros Efectos

Independientemente de la influencia de la ceniza volcánica se estimaron los efectos de la altitud (Gráfico 5), variedad (Gráfico 6), edad de la planta (Gráfico 7) y edad de la hoja (Gráfico 8), en la reducción del C¹⁴O₂ y la utilización subsecuente de los productos fotosintéticos en el café. En vista de que en este tipo de análisis se usaron únicamente los resultados de Turrialba y Jiménez, los valores mostrados en los histogramas 5-8 son medias de seis repeticiones.

* Jiménez Sáenz, E. y N. E. Tolbert. 1960. Resultados sin publicar.

De estos resultados se desprende que sólo la altitud y la edad de la hoja afectaron marcadamente la calidad fotosintética del café, pues las diferencias metabólicas atribuibles a los demás factores fueron tan pequeñas que pueden ser ignoradas. Es evidente que la Vía del Glicolato funcionó con mayor eficiencia en las plantas cultivadas a 1165 metros que a 600 metros sobre el nivel del mar y que esa misma tendencia se observó en la hoja madura. Si a esto último se agrega el hecho de que la hoja tierna reaccionó en forma contraria a la madura cuando ambas estuvieron expuestas a la acción de la ceniza, podría concluirse, aunque tentativamente, que la Vía del Glicolato no funciona normalmente en hojas que aún no han alcanzado un completo desarrollo fisiológico.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

1. El efecto residual de la ceniza volcánica se manifestó como una inhibición parcial del mecanismo metabólico llamado Vía del Glicolato.
2. Entre las interacciones investigadas, sólo aquella entre la ceniza y la edad de la hoja tuvo una influencia marcada sobre la fisiología del café.
3. Independientemente del efecto de la ceniza, los únicos factores que afectaron la calidad fotosintética del café fueron la altitud y la edad de la hoja.

Resumen

Por medio de reducciones de C¹⁴O₂ durante 10 minutos y usando material vegetativo recogido en diferentes áreas de la zona cafetalera de Costa Rica, se investigó el efecto de la ceniza volcánica en el metabolismo del carbono en el café. Además, se estudió la influencia directa de la altitud, la variedad, la edad de la planta y la edad de la hoja, llegándose a las siguientes conclusiones: 1) El efecto residual de la ceniza se manifestó principalmente como una inhibición parcial de la Vía del Glicolato; 2) Sólo la interacción entre la ceniza y la edad de la hoja tuvo influencia sobre la fisiología del café; 3) Independientemente del efecto de la ceniza, los únicos factores que alteraron la calidad fotosintética del café fueron la altitud y la edad de la hoja.

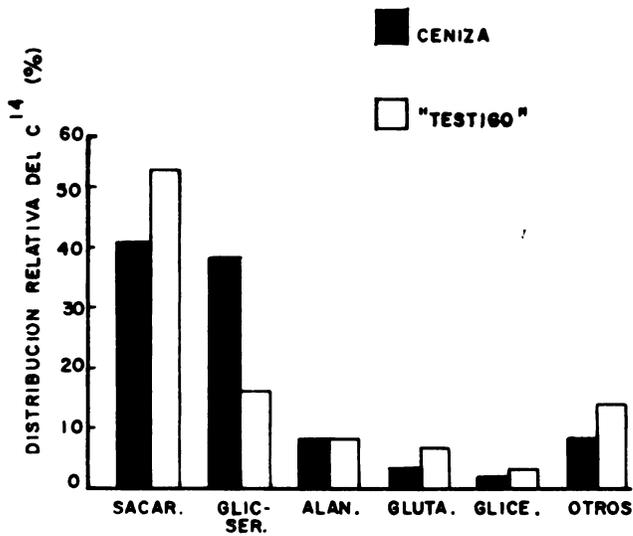


GRÁFICO 1

Efecto primario de la ceniza volcánica en la calidad fotosintética del café.

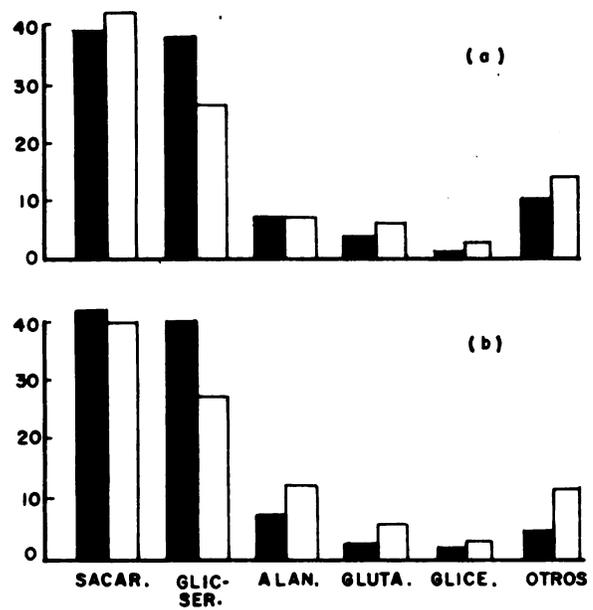


GRÁFICO 2

Efecto de la ceniza volcánica en función de la variedad: a) Typica; b) Bourbonn.

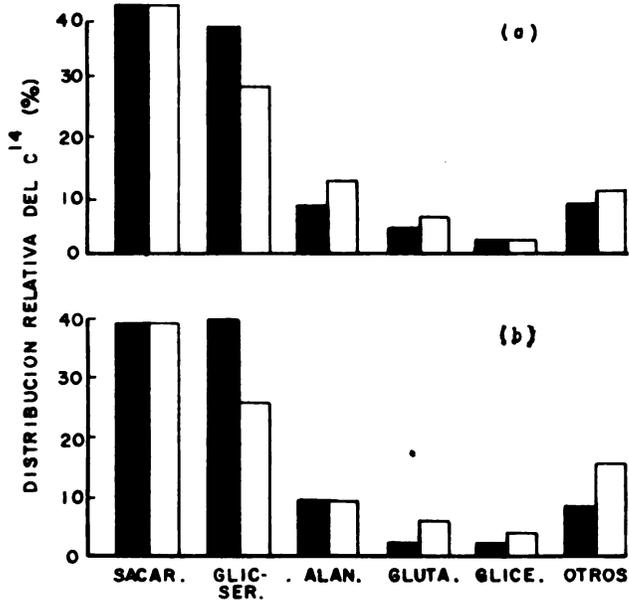


GRÁFICO 3

Efecto de la ceniza volcánica en función de la edad de la planta: a) joven; b) adulta.

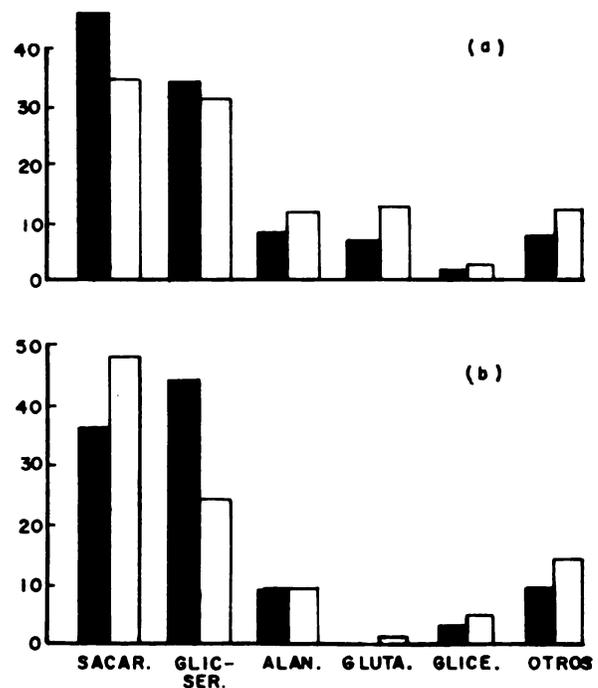


GRÁFICO 4

Efecto de la ceniza volcánica en función de la edad de la hoja: a) tierna; b) madura.

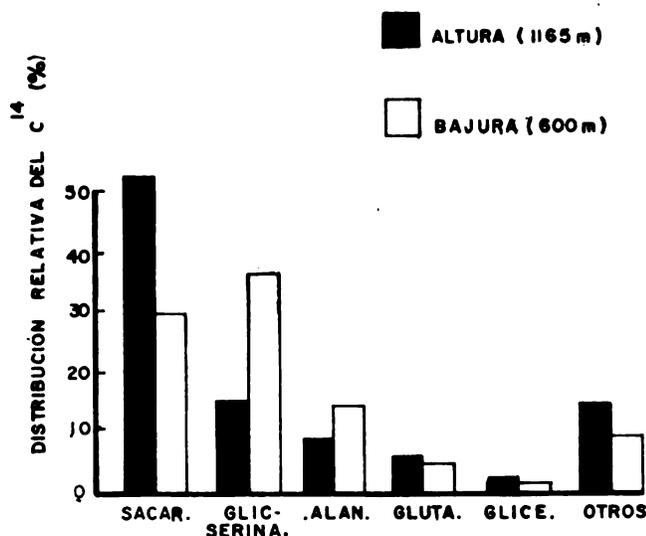


GRÁFICO 5

Efecto directo de la altitud en la calidad fotosintética.

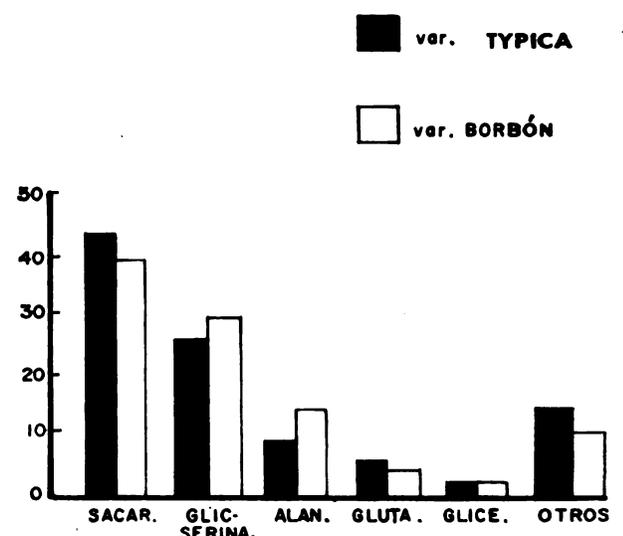


GRÁFICO 6

Efecto directo de la variedad en la calidad fotosintética.

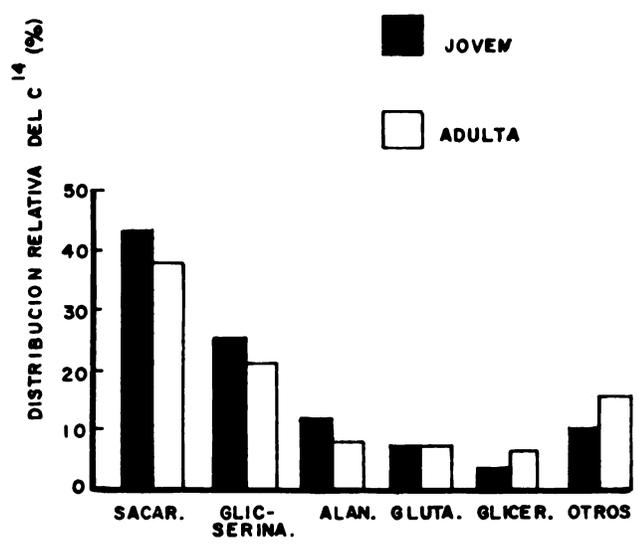


GRÁFICO 7

Efecto directo de la edad de la planta en la calidad fotosintética.

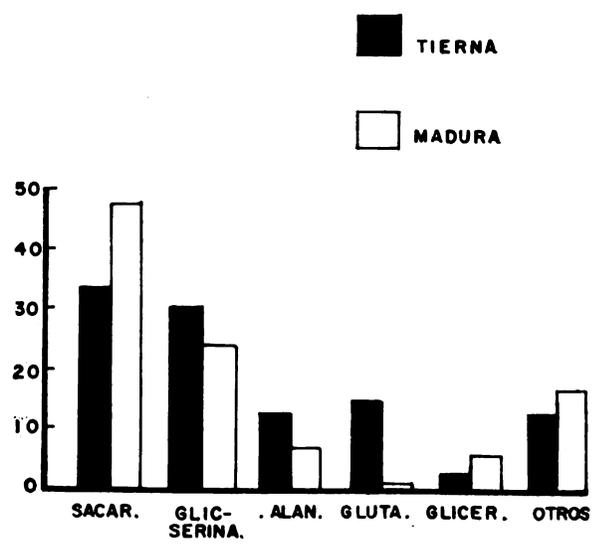


GRÁFICO 8

Efecto directo de la edad de la hoja en la calidad fotosintética.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO, J. A. Tratado de caficultura práctica. Erupciones volcánicas. Tipografía Nacional, Guatemala. Tomo II. 1956. 525 p.
2. BENSON, A. A. et al. The path of carbon in photosynthesis. Paper chromatography and radioautography of products. *J. Amer. Chem. Soc.* 72: 1710-1718. 1950.
3. BLEADSDALE, J.K. Atmospheric pollution and plant growth. *Nature.* 169: 376-377. 1952.
4. CLAGETT, C. O., TOLBERT, N. E. y BURRIS, R. H. Oxidation of alfa-hydroxy acids by enzymes from plants. *J. Biol. Chem.* 178: 977-987. 1949.
5. DARLEY, E. F. y DUGGER, W. M. Plant damage by pollution derived from automobiles. *Arch. Environ. Health.* 6: 761-770. 1963.
6. GREEN, L. y REEVES, R. G. Daño causado por la ceniza volcánica al café. Cosecha 1947. *El Café de El Salvador.* 208: 653-659. 1948.
7. JIMENEZ SAENZ, E. et al. Distribution of C¹⁴ in sucrose from glycolate C¹⁴ and serine-C¹⁴ metabolism. *Arch. Biochem. Biophys.* 98: 172-175. 1962.
8. KEARNEY, P. C. y TOLBERT, N. E. Appearance of glycolate and related products of photosynthesis outside the chloroplasts. *Arch. Biochem. Biophys.* 98: 164-171. 1962.
9. KORITZ, H. G. y WENT, F. W. The physiological action of smog on plants. I. Initial growth and transpiration studies. *Plant Physiol.* 28: 50-62. 1953.
10. MEYER, B. S. et al. Factors affecting photosynthesis. Introduction to plant physiology. D. Van Nostrand C., Inc. New Jersey. 1963. pp. 206-229.
11. MIDLETON, J. T. Photochemical air pollution damage to plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 12: 431-448. 1961.
12. ORDIN, L. et al. Ozone effects on cell wall metabolism on avena coleoptile sections. *Plant Physiol.* 39: 751-755. 1964.
13. RABINOWITCH, E. Inhibition and stimulation of photosynthesis. I. Catalytic poisons and narcotics. Interscience Publishers Inc. New York. Vol. I 300-321. 1945.
14. TAYLOR, O. C. et al. Interaction of light and atmospheric photochemical products (Smog) within plants. *Nature.* 192: 814-816. 1961.
15. THOMAS, M. D. Effect of ecological factors on photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 6: 135-156. 1965.
16. TOLBERT, N. E. y ZILL, L. P. Photosynthesis by protoplasm extruded from *Chara* and *Nitella*. *J. Gen. Physiol.* 37: 575-588. 1954.
17. ZIMMERMAN, P. W. Effects on plants of impurities associated with air pollution *Air Poll. Proc. U.S. Tech. Conf. Air Poll. McGraw-Hill Book Co. New York.* 1952. pp. 127-139.