

UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Agronomía
Departamento de Producción
Agrícola.-

LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Y SUS

EFFECTOS FITOTOXICOS

Miguel Angel Altieri S.
Ingeniero Agrónomo

Santiago - Chile

1974

INTRODUCCIÓN.-

El aire es una mezcla incolora e inodora de gases (78% Nitrógeno, 21% Oxígeno y 0.3% de CO₂) y partículas sólidas y líquidas, esencial para el desarrollo de los procesos fotosintético y respiratorio de las plantas.

La creciente actividad industrial está continuamente afectando la calidad, naturaleza química y propiedades físicas del aire de las zonas urbanas al inyectar en la atmósfera sus desechos gaseosos, (Ver Tabla N°1) los que por efecto de la acción de los vientos y procesos de inversión de temperatura se desplazan hacia las zonas rurales afectando a los cultivos.

TABLA N°1.-

MAGNITUD RELATIVA DE LA CONTAMINACION DEL AIRE EN ESTADOS UNIDOS.- *

	Millones de toneladas métricas/año.-	
<u>Por contaminante</u>		
Monóxido de Carbono	65	(52%)
Oxidos de Azufre	23	(18%)
Hidrocarburos	15	(12%)
Partículas sólidas	12	(10%)
Oxidos de Nitrógeno	8	(6%)
Otros gases	2	(2%)
<u>Por el origen.-</u>		
Transporte	75.8	(59.9%)
Industria	23.4	(18.7%)
Producción de electricidad	15.7	(12.5%)
Calefacción especial	7.8	(6.3%)
Incineración de basuras	3.3	(2.6%)
TOTAL:	125.0	

En Estados Unidos las pérdidas en la agricultura derivadas de la acción de los contaminantes atmosféricos se estiman en 500 millones de dólares anuales.

*"Datos del informe de la Academia Nacional de Ciencias "Waste Management and Control".- (1966)

El efecto de los contaminantes sobre las plantas, varía de una zona a otra dependiendo de la concentración de los contaminantes, la emisión diaria por parte de industrias y vehículos y de las condiciones geográficas y meteorológicas presentes.

Según DARLEY (2), los efectos de los contaminantes en las plantas se pueden clasificar en:

(1) Interferencia de sistemas enzimáticos; (2) cambios en la estructura física y naturaleza química de las células; (3) retardo en el crecimiento y reducción de la producción debido al metabolismo alterado y (4) degeneración aguda inmediata de los tejidos, provocando síntomas típicos fácilmente confundibles con problemas fitopatológicos o deficiencias minerales.

La susceptibilidad de las plantas varía ampliamente y es posible que se deba a factores genéticos, pero el debilitamiento y la mayor vulnerabilidad a las enfermedades inducida por la acción sinérgica y continua de los contaminantes es compartida por la mayoría de los cultivos.

Sin considerar los efectos directos de los contaminantes sobre los animales, desde un punto de vista ecológico la destrucción total o parcial de la estrata vegetal por intoxicación afecta gravemente a los consumidores animales y al ecosistema en general (ODUM, 1972).

Si bien es cierto que en Chile el problema aún no alcanza dimensiones catastróficas, la sociedad tiende a industrializarse basada en modelos europeos y norteamericanos. Además debe tenerse presente que las corrientes de aire que circulan alrededor de la tierra demoran entre 12 y 21 días en circundarla, lo que indica que parte de los desechos originados en los países industrializados se dispersan por el mundo.

Es preciso entonces conocer las dimensiones y naturaleza del daño, en vías de tomar una solución anticipada y objetiva, ya que los intentos enderezados a reducir una fuente cualquiera de contaminantes como problema separado es totalmente ineficaz. Más bien es un asunto de conciencia y de cambio de actitud hacia los recursos naturales, como única alternativa de sobrevivencia.

Relaciones generales entre las plantas y los contaminantes atmosféricos.-

Las zonas de cultivos afectadas por los contaminantes atmosféricos se ubican a distancias variables de las fuentes de emisión, dependiendo de la topografía y de los vientos reinantes.

Las hojas son los órganos más activos en cuanto a intercambio gaseoso y fotosíntesis, razón por la que son más vulnerables al efecto de los contaminantes.

Los gases tóxicos penetran al mesófilo por los estomas, contactando la atmósfera saturada de los espacios intercelulares y la solución acuosa que baña las paredes celulares internas.

De acuerdo a los resultados obtenidos por TRESHOW (10), las concentraciones del contaminante gaseoso necesarias para causar trastornos varían entre 0,1 ppb y 1 ppm. y la severidad del daño varía con el contaminante, su concentración, el tiempo de exposición y la especie vegetal.

El mismo autor señala que en general se observan 2 tipos de sintomatología en las hojas:

- Daño agudo : Muerte de ciertas zonas del tejido foliar. Estas zonas necróticas se secan y adoptan varios colores que van desde el blanco hasta el café oscuro.
- Daño crónico: No existe muerte de células, pero si se presenta una clorosis del tejido foliar.

Estos daños ocurren cuando el rango de absorción excede la capacidad de oxidación, reducción, respiración o translocación de los tejidos foliares.

Por último cabe señalar que los efectos combinados (sinergismo) de algunos compuestos a bajas concentraciones, pueden ser más severos que los efectos de un solo polutante a una concentración mayor (LOWRY, 1967).

Efectos específicos de los contaminantes
atmosféricos en las plantas.-

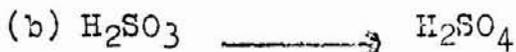
Dióxido de Azufre. (SO₂)

El SO₂ está presente en la atmósfera en pequeñas cantidades como producto de la oxidación biológica de sulfitos, pero el hombre ha aumentado su concentración por efecto de las emisiones desde fundiciones y minas de Cobre, Zinc y Hierro y como producto de la combustión del Carbón.

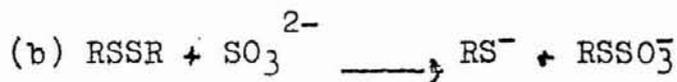
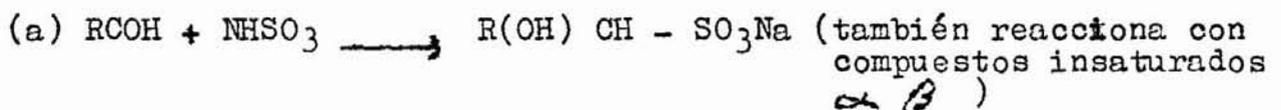
SMITH (2), señala que el SO₂ entra a la planta por los estomas y de ahí alcanza los espacios intercelulares, adhiriéndose a las paredes celulares húmedas del mesófilo. En la tabla N°2 se observan algunas de las posibles reacciones del SO₂ en el interior del mesófilo.

TABLA N°2.- Reacciones del SO₂ en el interior del mesófilo.- *

Reacciones en solución.-

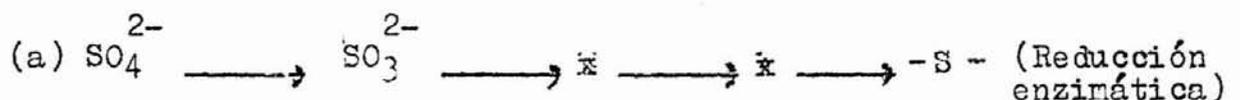


Reacciones tóxicas.-

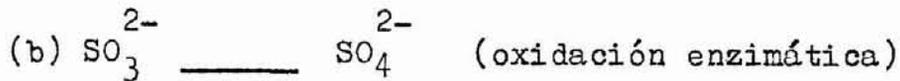


(c) Reacción con las pirimidinas (presentes en los ácidos nucleicos.-

Reacciones de detoxificación metabólica.-



* (MUDD, 1973)



Los mecanismos dañinos de la acción tóxica del SO_2 en las plantas se puede derivar de las reacciones anteriores o explicar a partir de las siguientes teorías: (TRESHOW, 1970).

- (1) Es posible que el SO_2 se combine con los aldehídos y azúcares, formando compuestos secundarios de descomposición lenta y que liberen ácido sulfúrico tóxico para las células.
- (2) El SO_2 puede interferir en las propiedades catalíticas del Hierro dentro de las granas al inactivarlo, lo que conduciría a la degradación de la clorofila.
- (3) El SO_2 causa una acidez local que separa el Magnesio de la clorofila, transformándola a ésta en Facitina. Este proceso origina clorosis y reducción de la fotosíntesis.
- (4) Altas concentraciones de CO_2 pueden limitar la absorción de iones tales como el calcio.
- (5) Un exceso de compuestos azufrados oxidados en el interior de la planta, desequilibran la utilización fisiológica del azufre y reducen la síntesis de proteínas.

De acuerdo a estas teorías, los efectos celulares de la acción tóxica del SO_2 se traducen en una desintegración de los cloroplastos, dispersión de la clorofila en el citoplasma y plasmólisis del mesófilo.

TAYLOR (8) encontró que bajo condiciones de alta intensidad química y alta humedad relativa, el SO_2 a concentraciones superiores a 0.5 ppm causa una necrosis intercostal y marginal aguda de las hojas, permaneciendo verdes las venas. Además observó que a concentraciones menores de 0.3 ppm. el SO_2 es oxidado a sulfato no tóxico tan pronto es absorbido. Es posible que a estas bajas concentraciones no letales, el SO_2 presenta una reacción de sinergismo con el ozono causando daños graves.

Las plantas jóvenes y una buena nutrición nitroge-

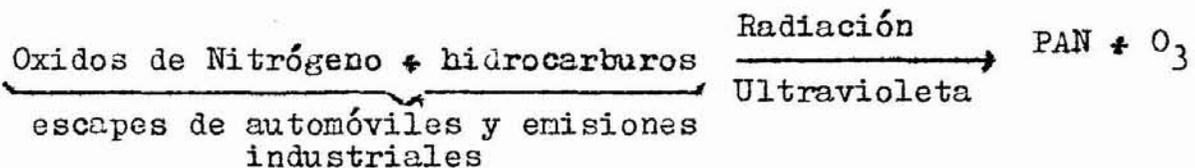
nada son menos susceptibles al daño. Entre los cultivos más susceptibles se destacan la alfalfa (medicago sativa), cebada (Hordeum sativum), algodón (Gossypium herbaceum), y lechuga (Lactuca sativa), y entre los más resistentes: gladiolos (Gladiolus segetum), maíz (Zea mays) y cítricos (Citrus sp). (TRESHOE, 1970).

En las noches cuando la mayoría de los estomas permanecen cerradas, es posible neutralizar el SO₂ adosado a la epidermis con aspersiones de amonio o sulfato de calcio y álcalis, formando sales fácilmente removidas por las lluvias y la gravedad. (MIDDLETON and DARLEY, 1971).

SMOG (PAN)

El SMOG es una mezcla de gases y partículas, de los que el nitrato de peracilo (PAN) se destaca por su fitotoxicidad.

El PAN es un oxidante fitotóxico fotoquímico que se origina a partir de la siguiente reacción: (TAYLOR, 1964).

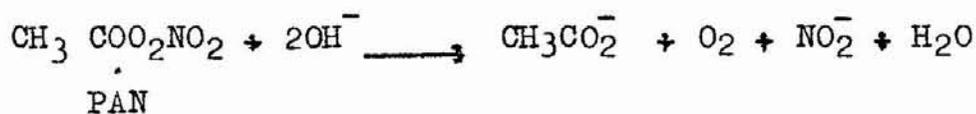


El PAN penetra a las hojas por los estomas funcionales, bordeando los espacios intercelulares y atacando las células del mesófilo.

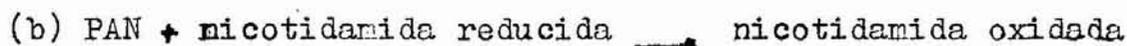
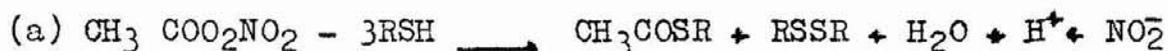
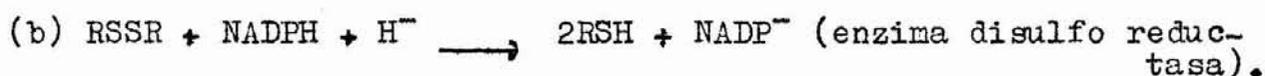
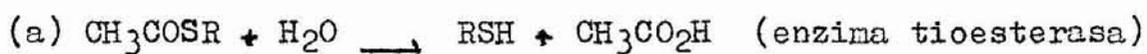
En la tabla N°3 se observan las principales reacciones del PAN en el interior del mesófilo.

TABLA N°3.- Reacciones del (PAN) *

Reacciones en solución.-



* (MUDE, 1973).-

Reacciones tóxicas.-Reacciones de destoxificación.-

ODUM (7), señala que los primeros daños se producen en los cloroplastos, ya que el PAN bloquea la reacción de Hill al afectar las enzimas necesarias para la fotofosforilación.

Además, el PAN inhibe la fosfoglucomutasa esencial para la síntesis de la glucosa, afectando directamente la producción de galactosa, xilosa, arabinosa y celulosa. (TAYLOR, 1969)

Esta inhibición del metabolismo de la celulosa y otros polisacáridos no celulósicos limita el crecimiento y la formación de paredes celulares.

El PAN afecta principalmente las células del mesófilo inferior las que se presentan bronceadas y brillantes, además es común observar ciertas ampollas como resultado de la hinchazón de las células de guarda. Concentraciones menores a 10 pphm (partes por cien millones) producen punteados cloróticos en la epidermis inferior.

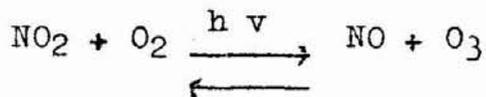
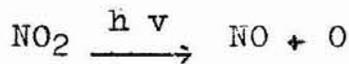
Entre los cultivos susceptibles se encuentran: espinaca (Spinacea oleracea), lechuga (Lactuca sativa), tabaco (Nicotiana tabacum), trébol (Trifodiumse), pimienta (Capsicum annum), alfalfa (Medicago sativa), porotos (Phaseoulus vulgaris), remolacha (Beta vulgaris), avena (Avena sativa).

Entre los cultivos resistentes: coliflor (Brassica oleracea), zanahoria, cebolla (Alliumcepa), frutilla (Fragaria sp.) pepino (Cucumis sativa).

OZONO (O₃)

El ozono (O₃) es un componente natural de alta atmósfera y juega un papel importante en la absorción de la radiación ultravioleta.

En los centros urbanos se genera por la acción de la luz ultravioleta sobre los óxidos emitidos por los automóviles.



Por acción de los hidrocarburos presentes que remueven el NO, la reacción se torna irreversible, acumulándose el O₃ sobre la superficie terrestre. (TRESHOW, 1970).

HECKETAL (3), señala que el O₃ penetra a la hoja por los estomas migrando hacia la epidermis superior debido a su afinidad con la clorofila. Al contactar el O₃ las células de guarda pierden su turgor cerrándose el estoma, pero no lo suficiente para prevenir la entrada del contaminante.

Según estos dos autores, a concentraciones superiores de 5 pphm (partes por cien millones) el O₃ causa daños en las plantas, pero éste varía de acuerdo a su concentración, al pH de la solución celular y a la edad fisiológica del tejido.

Al inducir el cierre estomático, previene el intercambio gaseoso afectando la respiración y la fotosíntesis. El cierre de los estomas se verifica debido a que el O₃ afecta la permeabilidad de las células induciendo una pérdida de agua. (TAYLOR, 1973).

En concentraciones subletales el O₃ influencia el metabolismo de los carbohidratos (aumenta la cantidad de azúcares reductores), acelerando la respiración y consecuentemente agotando las reservas alimenticias de la planta.

La superficie superior de las hojas presentan un manchado necrótico y una apariencia brillante y aceitosa. Las hojas afectadas lucen lánguidas, empapadas y cloróticas.

En los frutales se manifiestan daños en los frutos a concentraciones de 1,8 ppm, presentándose en estos moteados grisáceos alrededor de las lenticelas.

Las plantas son más susceptibles a medio día, en verano y cuando se desarrollan en suelos arenosos y bien aireados.

Entre los cultivos más sensibles se destacan: espinaca (Spinacea oleracea), tabaco (Nicotiana tabaci), alfalfa (Medicago sativa), trigo (Triticum aestivum), avena (Avena sativa) centeno (Secale cereale), trébol (Trifolium sp.), porotos (Phaseolus vulgaris), maíz (Zea mays) y tomate (Lycopersicon esulentum).

Entre los más resistentes: remolacha (Beta vulgaris), algodón (Gossypium herbaceum), lechuga (Lactuca sativa).

De acuerdo a los resultados obtenidos por WOODWELL (3), es posible reducir el daño usando variedades resistentes, espolvorear las plantas con azufre o fungicidas ditrocarbonatos, espolvorear en el aire carbón seco triturado u óxido férrico o aplicar a los cultivos compuestos antiozonantes (Quelatos de Manganeso y Cobalto).

FLUOR (F).-

El fluor (F) es un componente natural del suelo, rocas minerales tales como la criolita, hornblenda, micas y topaz. Cuando se calientan estos materiales en las refineras se liberan cantidades tóxicas de Hidróxidos de Fluor y Fluoruros de Calcio, alcanzando concentraciones de hasta 10 ppb en zonas urbanas. (LOWRY, 1967).

Una vez que el HF penetra a los espacios intercelulares, es transportado disuelto en el agua por los tejidos vasculares hacia los márgenes de las hojas donde se acumula.

Es posible también que el F sea absorbido por las raíces, especialmente en suelos ácidos con excesos de NaF, KF, y HF₂.

TRESHOW (10) indica que el fluor actúa como un inhibidor enzimático, afectando principalmente las enzimas del ciclo glicolítico de la respiración (enolasa y fosfoglucomutasa) impidiendo la respiración y el metabolismo de los carbohidratos. Esta inhibición está condicionada por una formación de complejos metálicos fluorados (Fluoruro de Calcio) a partir de iones que catalizan la actividad enzimática. Este proceso origina un colapso del parenquima esponjoso y de la epidermis inferior, seguido de una destrucción de los cloroplastos y distorsión de la epidermis superior.

El mismo autor señala que las plantas de hoja ancha presentan síntomas característicos de necrosis y clorosis en los márgenes y extremos foliares, dominando un color café rojizo en las áreas afectadas. Mientras que las monocotiledóneas presentan una necrosis que se desarrolla desde el extremo de la hoja hacia la base, agudizándose más por un costado. En maíz (Zea mays), y sorgo (Sorghum sp.) es fácil observar un punteado clorótico a lo largo de los márgenes.

En observaciones de campo, DARLEY (2) encontró que a concentraciones mayores de 1 ppb. los frutos presentan una comisura suave rodeada por un rojo intenso, compartiéndose las flores como órganos resistentes.

El gladiolo (Gladiolus sp.), es una planta altamente sensible desde concentraciones de 50 ppm., mientras que el algodón (Gossypium herbaceum) no muestra síntomas a concentraciones de 5.000 ppm.

La intensidad del daño depende de la sensibilidad del cultivo, de la capacidad de absorción de la planta y concentración del HF en la atmósfera. Cuando los niveles foliares de potasio o fósforo son deficientes, la quemadura apical e intercostal aumenta en las hojas. (TAYLOR, 1973).

Partículas sólidas (Polvo)

El polvo atmosférico está constituido por partículas de 0.01 a 100 micrones (u) entre las que se cuentan esporas de algas u hongos, pólen, polvo del suelo, polvo de construcciones, polvo de oxidaciones industriales y refinerías. Estos polvos pueden alcanzar concentraciones de hasta 200 u/mg³ en áreas urbanas y 30 u/mg³ en zonas rurales. (LOWRY, 1967).

De acuerdo a TRESHOW (10) su mayor efecto fitotóxico consiste en el taponeo de los estomas, reduciendo el intercambio gaseoso. Algunas partículas en presencia de alta humedad forman soluciones alcalinas sobre las hojas causando toxicidad.

Se ha observado que los daños alcanzan mayores magnitudes en días nublados, acentuándose más en las coníferas y en los frutales de hoja caduca. (UDALL, 1965).

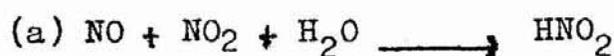
Oxidos de Nitrógeno.-

Cualquier combustión a altas temperaturas en la presencia de nitrógeno y oxígeno generan óxidos de nitrógeno (NO), dióxido de N(NO₂) y tetróxido de N (N₂O₄).

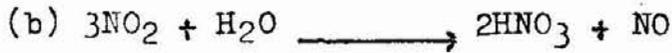
El 70% de NO₂ atmosférico proviene de escapes de automóviles alcanzando sus mayores concentraciones en la noche, ya que durante el día grandes cantidades precipitan en reacciones fotoquímicas.

En la tabla N°4 se pueden observar las diferentes reacciones de los óxidos de nitrógeno en el interior del mesófilo.

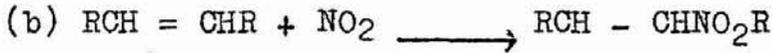
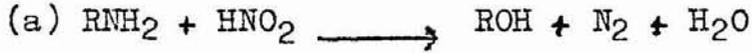
TABLA N°4.- Reacciones de los óxidos de Nitrógeno.-*

Reacciones en solución.-

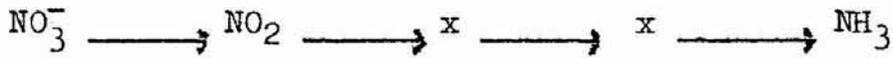
* (MUDD, 1973)



Reacciones tóxicas.-



Destoxificación metabólica.-



El daño por NO_2 en las plantas se reduce durante el día, ya que aparentemente existe una reacción enzimática dependiente de la luz, que reduce los nitritos a amonio, compuesto utilizado en la nutrición vegetal. Bajo condiciones de oscuridad esta reacción no existe, acumulándose niveles tóxicos de nitritos. (TRESHOW, 1970).

A concentraciones de NO_2 superiores a 3 ppm se presenta un oscurecimiento de los márgenes foliares, lesiones necróticas en el tallo y defoliación. (TAYLOR, 1973).

CONTAMINANTES MENORES.-

ETILENO ($CH_2 = CH_2$)

El etileno es un hidrocarburo insaturado presente en gases de automóviles, la combustión del gas natural, humos de cigarrillos y de manufacturas químicas.

El etileno es además un producto natural de la planta que juega un papel importante en la abscisión normal y maduración de hojas y frutos, elongación de brotes, maduración y coloración del fruto, dormancia, etc.

Según MUDD (6), cantidades excesivas de etileno en la planta joven acelera la respiración, retarda el crecimiento, estimula la abscisión prematura de hojas y frutos, y la aber-

tura irregular de las flores,

Las plantas más susceptibles (orquídeas) presentan clorosis y necrosis ocasional de las hojas basales e inhibición del crecimiento apical.

AMONIO (NH₄)

El amonio se origina principalmente a partir de procesos de combustión, escapes de sistemas de refrigeración y volatilización de fertilizantes de amonio anhidro,

Al penetrar por los estomas o heridas en la epidermis, produce reacciones alcalinas induciendo una decoloración de los pigmentos. Este proceso condiciona la aparición de manchas oscuras en las hojas y cambios de coloración de los frutos (HECK et al, 1973),

Es común observar algunas terófitas y cereales con necrosis y clorosis intervenal aún a grandes distancias de las fuentes de emisión.

COLORO.-

El cloro (Cl) y ácido clorhídrico (HCl) escapa a la atmósfera de accidentes industriales y tratamientos de depuración de aguas.

Las hojas dañadas muestran varios estados de degeneración celular, entre las que se incluyen cloroplastos amorfos, difusión de la clorofila en el citoplasma y plasmólisis del protoplasma (1).

TRESHOW(10) informó que a concentraciones mínimas de 10 ppm (partes por cien millones) algunas plantas tales como Alfalfa (medicago sativa), petunia (Petunia violacea), rábano (Raphanus sativus), y crisantemo (Crisantemun sinence), muestran síntomas cloróticos y necróticos típicos.

Entre las especies más resistentes se encuentran: el tabaco (Nicotiana tabaci), maíz (Zea Mays), y cebolla (Allium cepa).

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE AIR CONSERVATION AAAS Publ. num. 80, Washington D.C., 335 p 1965.
- 2.- DARLEY, E.F. Vegetation damage from air pollution. Sr.: Combustion generated air pollution. Plenum Press pp. 245-254, 1971.
- 3.- HECK, W.W. et al. Air pollution research needs: Herbaceous and ornamental plants and agriculturally generated pollutants. APCA Journal, Vol. 23, No4, April 1973.
- 4.- LOWRY, W.P. The climate of cities. Scient Amar., 217 (2): 15-23, 1967.
- 5.- MIDDLETON, J.T. and Control of air pollution affecting or DARLEY, E.F. caused by agriculture. En: Pollution: Engineering and scientific solutions. Plenum Press 148-157 pp., 1971.
- 6.- MUDD, J.B. Biochemical effects of some air pollutants on Plants. En: Advances in chemistry series. No122 31-47 pp., 1973.
- 7.- ODUM, E.P. Ecología. Interamericana, México. 476-491 pp., 1972.
- 8.- TAYLOR, D.C. Acute responses of plants to serial pollutants. En: Advances in chemistry, No122 9-20 pp, 1973.
- 9.- TAYLOR, D.C. Importance of Peroxy acetyl nitrate (PAN) as a phytotoxic air pollutant. APCA Journal, Vol. 19, No5, May 1969.
- 10.- TRESHOW, M. Environment and plant response. Mc Graw Hill Book Co., New York. 422 pp., 1970.

- 11.- UDALL, S.L. The Quiet Crisis. Holt, Rinehart and
Winston, New York. 209 p., 1965.
- 12.- WHITTAKER, R.H. Communities and Ecosystems. Mac Millan
Co., New York. 158 p., 1970
- 13.- WOODWELL, G.M. Toxic Substances and ecological cycles
Scientific. Amer, 216 (3): 24-31, 1967.
-