Notas

Efecto invernadero. ¿Qué provocará en la productividad de los cultivos?

Resumen

En el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", se realizó la búsqueda de información sobre el efecto invernadero y las teorías acerca de su influencia en la productividad de los cultivos, con lo que se elaboró este trabajo que contiene la descripción de lo que conceptualmente se conoce como efecto invernadero, un análisis de la influencia de este fenómeno sobre los cultivos agrícolas partiendo de los procesos de fotosíntesis y respiración; así como algunas consideraciones en cuanto al comportamiento de la interacción de los contaminantes atmosféricos con los patógenos de plantas.

Palabras claves: Contaminantes atmosféricos, Cambio global, Fotosíntesis, Respiración, Dióxido de Carbono (CO_2).

Introducción

la temperatura es uno de los principales factores determinantes del desarrollo de los cultivos en sus distintas fenofases (germinación, crecimiento, floración, cuajado, maduración de los frutos).(Palomar, 1998)

Los vegetales necesitan de una temperatura específica para realizar cada una de sus funciones. Por debajo o por encima de esta temperatura esas funciones se ven imposibilitadas.

Las bajas temperaturas provocan diversos daños en los vegetales, alteran su constitución, precipitan y deshidratan su acervo proteico. Así, cuando son demasiado bajas, las células se congelan, y si son demasiado altas se opera la coagulación del protoplasma celular. Sobrepasar estos límites significa la muerte o en el mejor de los casos quedarán sumidos en una forma de vida apenas latente, por supuesto, sin el menor futuro útil, sin embargo el adecuado desarrollo de las plantas requiere que haya diferencias de temperatura entre el día y la noche. (Robles, 1994)

Si tomamos como ejemplo las hortalizas tenemos que todas las especies tienen una temperatura mínima letal, por debajo de la cual se hielan los tejidos, una mínima biológica, por debajo de la cual se paralizan los procesos metabólicos, una temperatura óptima (tanto de noche como de día) en la que los cultivos se encuentran en mejores condiciones y una máxima letal que produce la deshidratación irreversible de los tejidos. (Palomar, 1988).

Durante 15000 años la tierra tuvo un incremento de su temperatura de 5ºC lo que permitió la adaptación paulatina de miles de especies; comportamiento que se debió al llamado efecto invernadero. (Funeco, 2003)

Un elemento indispensable para los cultivos es el Dióxido de Carbono (CO_2), el que se encuentra en forma natural en el aire (≈350ppm.), puesto que el Carbono componente de esta molécula es asimilado por las plantas, mediante sus pigmentos fotosintéticos, principalmente los clorofílicos, que absorben energía de la luz, con lo cual trasforman el anhídrido carbónico (material mineral) del aire en azúcares, proceso muy conocido, que se denomina fotosíntesis. Con estos azúcares y las sales minerales que provienen del suelo, las plantas fabrican toda la materia viviente que le es indispensable para su crecimiento y desarrollo.

Por otro lado, a través de la respiración, estos azúcares son quemados por la planta para liberar la energía necesaria para realizar los procesos metabólicos, por lo cual, estos procesos normalmente se equilibran.

Este fenómeno, origen de la vida en nuestro planeta se realiza con mayor intensidad cuanto mayor son las radiaciones solares. (Palomar, 1988)

La pequeña cantidad de (CO_2) que se encuentra en la atmósfera (0,03%), cumple una función muy importante, pues absorbe calor de los rayos solares. Desde el siglo pasado, la concentración atmosférica de CO_2 ha ido aumentando progresivamente debido principalmente al incremento de la combustión de los combustibles fósiles, a la destrucción de las selvas tropicales del planeta y a la permanencia en la atmósfera del CO_2 que ya no es consumido por los árboles que han sido talados, provocando la dificultad de disipación de la radiación calórica debido a la formación de una capa de óxido de carbono que provoca la elevación de la temperatura de la atmósfera próxima a la corteza terrestre. (EcoNet, 2003)

Desarrollo

Efecto invernadero, Es un fenómeno que protege a la Tierra desde hace muchos miles de años, término que se aplica en la actualidad, al papel que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre. La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar de onda corta, absorbida por la superficie de la Tierra; Parte de este calor una vez que ingresa a la troposfera (capa más cercana a la atmósfera, hasta 10 Km de altura) es distribuido por todo el globo por medio de las corrientes marinas y los vientos. Otra parte es absorbida por los seres vivos que mediante procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración absorben y liberan CO_2, el saldo restante en el balance energético es reflejado hacia el exterior, con una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos. La barrera que impide que este calor vuelva al espacio son ciertos gases, entre ellos el Dióxido de Carbono, que pese a ocupar una fracción muy pequeña de la atmósfera, sólo cerca del 0,03%, es sin embargo muy importante porque a diferencia de los otros componentes de la atmósfera absorbe calor de los rayos solares. Esta radiación al ser reflejada hacia el espacio choca en la atmósfera, también con el vapor de agua, gas carbónico, monóxido de carbono, metano, clorofluorocarburos, óxidos de nitrógeno, los halocarbonos y el ozono (gases de efecto invernadero) (tabla1) que absorben las radiaciones infrarrojas de gran longitud de onda e impiden la liberación de parte de esta energía térmica hacia el espacio. Este balance es armónico y beneficioso para la vida en la biosfera, sin él, la vida que conocemos no sería posible en la tierra ya que la temperatura media durante el día sería de 100°C y 150°C bajo cero por la noche. Este efecto de calentamiento es la base de las teorías relacionadas con el calentamiento global. (EcoNet, 2003; Microsoft, 99;Funeco, 2003; Lambert, 2003)

Gases	Concentración atmosférica (ppm)*			Contribución al incremento temperatura %
	1800	1989	2040**	
Anhídrido carbónico	280	350	450/600	50
Metano	0,7	1,7	2,3/3,6	15
Óxidos de nitrógeno	0,28	0,3	0,33/0,42	10
Freones, CFC	0	6,10-4	20/80.10-4	20
Otros (vapor de agua, ozono, etc.)	-	-	-	5
Aumento de la temperatura media de la atmósfera	0	+0,5°C	+2°C/+5°C	-

TABLA 1.- CONCENTRACIÓN EN LA ATMÓSFERA DE LOS PRINCIPALES GASES QUE PRODUCEN EFECTO INVERNADERO DESDE EL COMIENZO DE LA ERA INDUSTRIAL Y CONTRIBUCIÓN ACTUAL ESTIMADA AL SOBRECALENTAMIENTO. (CARRASCO,2003)

(*) Partes por millón (**) Concentración estimada de seguir tendencia actual

El contenido en Dióxido de Carbono de la atmósfera ha venido aumentando un 0,4% cada año como consecuencia del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón; la destrucción de bosques tropicales por el método de cortar y quemar (tabla2) también ha sido un factor relevante que ha influido en el ciclo del Carbono. La concentración de otros gases que contribuyen al efecto invernadero, como el metano y nuevas especies creadas por la actividad antropogenia, los clorofluorocarbonos, está aumentando todavía más rápido. El efecto neto de estos incrementos podría ser un aumento global de la temperatura, estimado en 2 a 6°C en los próximos 100 años. Se estima que un calentamiento de esta magnitud alteraría el clima en todo el mundo, afectaría a las cosechas y haría que el nivel del mar subiera significativamente. De ocurrir esto, millones de personas se verían afectadas por las inundaciones.

Según un estudio reciente, publicado por la revista Nature, la primavera es más larga debido en parte al efecto invernadero. Este estudio afirma que desde principios de 1980 la primavera se adelanta y la vegetación crece con mayor vigor en las latitudes septentrionales; esto se debe al calentamiento global que ha afectado a una gran parte de Alaska, Canadá y el norte de Asia y Europa, que a su vez está relacionado con el efecto invernadero de origen humano (teoría según la cual la

población humana ha contribuido a la concentración de gases, tales como el Dióxido de Carbono, en la atmósfera). Mediante el uso de imágenes obtenidas a través de satélites climáticos, los científicos proporcionan pruebas del cambio climático y aportan datos significativos para el estudio del calentamiento global del planeta. (Microsoft, 99; Lambert, (2003)

Gases	Causas
Dióxido de carbono (CO2)	Utilización de combustibles fósiles, deforestación.
Metano (CH4)	Degradación de materia orgánica en cultivos de arroz y terrenos húmedos.
	Emisiones digestión de rumiantes y termitas.
Óxido nitroso (N2O)	Vertederos controlados.
	Prácticas agrícolas (abonos nitrogenados).
	Utilización de combustibles.Emisiones naturales del suelo (denitrificación).
CFCs (CF11, CF12)	Utilización de refrigerantes.
	Limpieza de componentes electrónicos.
Ozono (O3)	Embalaje isotermo.
	Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la utilización de combustibles.

TABLA 2.- ALGUNAS DE LAS PRINCIPALES CAUSAS QUE ORIGINAN LA PRODUCCIÓN DE GASES INVERNADERO. (CARRASCO,2003)

Expertos vaticinan una duplicación de la concentración global de CO_2 durante la segunda mitad del siglo XXl. (Bazzaz y Fajer,1992) Se calcula que para el 2040 habrá un aumento promedio anual de aproximadamente 2ºC y para el 2100 será de 5ºC, dando por resultado una temperatura media entre 18 y 20ºC. Las consecuencias de estos incrementos no deben saberse con certeza, puesto que esto ha provocado un incremento desmedido de la capacidad de absorber calor, y así este efecto invernadero tan necesario para el equilibrio de la vida sobre la tierra, comienza a convertirse en un alarmante planetario. (Funeco,2003)

A primera vista, las elevadas concentraciones de CO_2 podrían parecer una bendición para la agricultura. Las primeras investigaciones daban pie a suponer que un ambiente con elevada concentración de CO_2 favorecería el crecimiento de las plantas. Era de esperar que ese efecto de fertilización por CO_2, como dio en llamarse, se recibiera mejor en las plantas que disponen de abundantes nutrientes, luz y agua. (Bazzaz y Fajer,1992)

Al crecer más las plantas en estos ambientes, absorberían mayores cantidades de CO_2 de la atmósfera. Cabía, pues, suponer que el nivel de este gas que provoca el efecto invernadero fuera menor de lo esperado.

Experimentos llevados a cabo en la Universidad de Harvard, y trabajos de especialistas de otras instituciones, sugieren que la hipótesis acerca de los posibles beneficios de un mundo rico en CO_2 se ha exagerado. Se ha demostrado que un caso aislado de respuesta positiva de una planta a las elevadas concentraciones de CO_2 no tiene porqué traducirse necesariamente en un aumento del crecimiento de toda la comunidad vegetal. Más aún, hay razones para poner en duda la idea de que las plantas se conviertan en sumideros dispuestos a absorber los niveles crecientes de Dióxido de Carbono.

Las reflexiones acerca de los beneficios de un mundo enriquecido en CO_2 encuentran su justificación en el desarrollo de la fotosíntesis, debido a que el proceso fotosintético constituye para las plantas la vía que permite la acumulación de materia orgánica, es decir, la biomasa y por lo cual la capacidad fotosintética, en buena medida es determinante de la productividad y el rendimiento de las plantas. Esta capacidad es marcadamente influida por los factores edafoclimáticos, donde el agua y el CO_2 son dentro de los factores que la limitan, elementos base, pero también la luz, fuente de energía que permite la elaboración de los azúcares (Ferreira, 2003), y está en dependencia de la especie, la variedad, el número de hojas y su área, el número de estomas, dimensiones y localización, el grosor relativo de la hoja, el estado nutritivo de las plantas y el grado de hidratación de los productos fotosintéticos. En este proceso químico fundamental, las plantas captan moléculas de CO_2 y, con ayuda de la energía de luz visible fabrican hidratos de carbono. El anhídrido carbónico de la atmósfera penetra por difusión en el interior de la planta a través de los estomas y termina por llegar a los cloroplastos. Un mecanismo capaz de explicar por qué la concentración de CO_2 repercute en un aumento de las tasas de fotosíntesis y, por tanto, en el desarrollo vegetal lo podemos ver en su freno a las pérdidas de agua. La entrada de CO_2 viene a representar un costo para la planta; por cada molécula de Dióxido de Carbono que entra a través de los estomas se pierden entre 100 y 400 moléculas de agua.

Ahora bien, en una atmósfera rica en CO_2 el gradiente de concentración de este gas entre el interior de la hoja y el aire que circunda es más acusado. Se difundirían, pues, cantidades equivalentes de dióxido de carbono a través de los poros estomáticos, aún cuando las células de guarda, los mantengan menos abiertos. La reducción de la apertura estomática recortaría las pérdidas de agua; en consecuencia las plantas necesitarán menos agua para crecer y mejorarían su estado fitosanitario, al restringir la entrada de contaminantes presentes en el aire (Verbigracia, Dióxido de Azufre, Ozono).

Por otro lado un entorno rico en CO_2 puede servir para que ciertas plantas no derrochen energía durante la fotosíntesis, en particular plantas del grupo C_3, donde un 40% de la proteína soluble es ribulosa bifosfato (RuBP) (RUBISCO) para el CO_2, este alto requerimiento de proteína y el elevado uso del agua son dos importantes costos por tener que depender de la difusión para el suministro de Dióxido de Carbono. La inmensa mayoría de las especies forestales son plantas C_3; lo son también cultivos muy importantes: arroz, trigo, papa y muchas legumbres; En la etapa inicial de fijación del Dióxido de Carbono, estas plantas engarzan el gas a un azúcar de cinco átomos de carbono, en presencia de la enzima (RUBISCO), produciendo un compuesto inestable de seis átomos de carbono. Esta molécula de corta vida se descompone en dos derivados de tres átomos de carbono cada una, experimentan una serie de reacciones en el ciclo de Calvin- Benson, que culmina con la producción de azúcares.

Bajo condiciones atmosféricas normales, el oxígeno compite con el CO_2 por el centro activo de la RuBP-carboxilasa. Si esto ocurre la planta pierde energía porque fija menos Dióxido de Carbono. En este caso el oxígeno se combina con la RuBP-carboxilasa para formar un azúcar de tres átomos de carbono y otro compuesto de dos que se recicla mediante un proceso de fotorrespiración, que consume energía.

Al aumentar la concentración de CO_2 potencia su capacidad para ocupar el centro activo de la RuBP-carboxilasa, puesto que la proporción de moléculas de CO_2 presentes es mayor.

Conceptualmente, un ambiente enriquecido en CO_2 mejoraría la actividad fotosintética en plantas del tipo C-3, por eliminación gradual de la fotorrespiración, aunque este mismo efecto no se notaría en plantas del tipo C-4, pues en ellas este proceso no es detectable. Sin embargo en algunos experimentos se ha comprobado que la fotorrespiración disminuyó hasta un 50% al aumentar la concentración de CO_2 hasta 600 ppm., señal de que las plantas empleaban más energía para construir sus propios tejidos.

Las plantas C-4, necesitan menos RUBISCO para conseguir la misma tasa fotosintética que las plantas C-3, debido a que esta enzima se encuentra en la mayoría de estas plantas en el interior de las células de la vaina, más desarrollada que en plantas C-3. La vaina C-4 es menos permeable a los gases que otros compartimentos del interior de las hojas, en su interior el Malato y el Asparato son descarboxilados aumentando los niveles de CO_2 y de esta manera la enzima trabaja a niveles óptimos de Dióxido de Carbono; Por esta razón, las plantas C-4 necesitan menos RUBISCO para conseguir la misma tasa fotosintética que las plantas del tipo C-3.

La capacidad inicial que posee A pesar de estas consideraciones fisiológicas y bioquímicas, las tasas fotosintéticas no siempre son mayores en los ambientes ricos en CO_2. A menudo las plantas que crecen en estos ambientes aumentan de inicio su tasa de fotosíntesis, más, con el transcurso del tiempo, la tasa decrece hasta aproximarse a la que presentan las plantas que viven en ambientes donde la concentración de CO_2 es equivalente a la de la atmósfera actual, lo cual trata de ser explicado por alguno de estos mecanismos:

- El incremento de la fotosíntesis se traduce en un exceso de almidón acumulado en los cloroplastos, lo que entorpece el funcionamiento normal de esos orgánulos.
- Una planta de sintetizar azúcares excede a su capacidad para movilizar los subproductos de almidón y transportarlos hasta las partes del vegetal en crecimiento activo. En estas condiciones un mecanismo bioquímico de retroalimentación frenaría la tasa de fotosíntesis.
- Tal vez el fósforo deje de reciclarse al ritmo que procede ahora la fotosíntesis.
- Disminución de la cantidad y la actividad de la RuBP-carboxilasa. Los valores de CO_2 en el estroma de las plantas que dependen de la difusión del mismo, están por debajo de la KM de la enzima RUBISCO para el CO_2. Ello implica que las plantas deben contener grandes cantidades de la enzima para mantener altas tasas de fotosíntesis.

Aun cuando la tasa fotosintética se acompasara al ritmo de crecimiento del nivel de CO_2, las plantas podrían no acelerar su desarrollo, ni alcanzar mayores tamaños o acumular más sustancias. Se ha demostrado que no siempre se da una relación positiva entre la tasa fotosintética por unidad de superficie y el crecimiento, el que depende de varios factores, por ejemplo: Cantidad de superficie foliar disponible para interceptar la luz, modo en que la planta distribuye sus recursos entre las raíces, los tallos, hojas flores y semillas, se cree que en algunas partes del mundo pueden alargarse las estaciones del crecimiento de especies vegetales y aumentar

las precipitaciones, esto en conjugación con el aumento de los niveles de Dióxido de Carbono disponible para las plantas, daría como resultado mayor productividad agrícola. (Ferreira, 2003; UNAH, 2003)

En otros sectores del mundo, sin embargo, se piensa que las precipitaciones se reducirían significativamente disminuyendo los rendimientos de los cultivos y en las áreas ya áridas, acelerando la expansión de los grandes desiertos que existen en el mundo.

Usando modelos de simulación, se ha realizado un análisis de las posibles consecuencias sobre la viticultura europea del cambio climático global. El Modelo de Circulación General (GCM) predice un calentamiento más rápido en el hemisferio norte durante los próximos 50 años. Esto cambiaría considerablemente los márgenes de adecuación para el crecimiento de la uva, desplazando los límites septentrionales del cultivo de la vid unos 10 a 30 Km., por década hasta el año 2020, y duplicando esta tasa entre 2020 y 2050. esto también cambiaría en Europa la distribución de las variedades más adaptadas.

La respuesta directa de las vides ante un aumento de la concentración de CO_2 parece comparable a los resultados obtenidos en la mayoría de estudios con plantas anuales y perennes, en las que se observan incrementos en la fotosíntesis neta, la biomasa y el rendimiento de los cultivos, así como en la eficiencia de la utilización de luz, nutrientes y agua. A corto plazo, una mayor concentración de CO_2 estimula la fotosíntesis y la eficiencia en la utilización del agua (relación entre la fotosíntesis y el consumo de agua). Las vides que crecen en regiones áridas como España pueden por tanto beneficiarse de una mayor concentración de CO_2 y puede que, al menos en parte, superen algunas de las condiciones adversas creadas por la frecuencia y la gravedad de los períodos de sequía. Sin embargo, en general la exposición elevada al CO_2 puede tener a largo plazo efectos muy distintos. El incremento inicial de la fotosíntesis puede sufrir una regulación negativa parcial o total si no existen suficientes sumideros para la materia fotosintetizada, de modo que en un período de días, semanas o meses de crecimiento bajo una concentración de CO_2 elevada, se dé una respuesta de aclimatación suficientemente sustanciosa como para que la tasa de fotosíntesis de las plantas que han crecido con estos niveles elevados de CO_2 sea igual a la de plantas bajo las concentraciones ambientales actuales.

Existe una regulación de la fotosíntesis a nivel bioquímico, fisiológico y molecular y, a juzgar por la gran diferencia de desarrollo vegetativo y reproductivo entre cultivos de uva, es probable que el tamaño y la actividad de los sumideros afecten en gran medida las respuestas de las distintas variedades frente al aumento de CO_2. Llevaron a cabo un estudio en el que, durante varios meses, utilizaron en el campo un sistema FACE (enriquecimiento del dióxido de carbono en atmósfera libre) con la variedad Sangiovese. Los autores descubrieron un incremento mayor de la superficie foliar (+ 35%) y del peso seco vegetativo (+ 49%), que del peso seco reproductivo (+21%) al aumentar la concentración de CO_2 a 700 ppm. El incremento de la materia seca vegetativa al considerarse también los cambios simultáneos de temperatura y de radiación solar en distintos escenarios de cambio climático y GCM, pero la respuesta del rendimiento resultó negativa para la mayoría de casos y, en concreto, más para la Cabernet sauvignon que para la Sangiovese. El desarrollo rápido de una mayor superficie foliar puede a su vez tener consecuencias importantes sobre el consumo de agua y la gestión del follaje, lo cual indica la dificultad de predecir la acción combinada de varios factores ambientales cambiantes. (Schultz, 2003)

El cultivo bajo invernadero se emplea para el cultivo y la conservación de plantas delicadas, o para forzar su crecimiento fuera de temporada, así como para satisfacer las necesidades de desarrollo de un gran número de legumbres y frutos. Los invernaderos están ideados para transformar la temperatura, humedad y luz exteriores y conseguir un microclima especial dentro del mismo, logrando condiciones ambientales similares a las de otros climas, provocando un efecto similar, al efecto invernadero. Los más típicos son los que reproducen una atmósfera tropical, ideal para las orquídeas y palmeras, o los de ambiente desértico indicados para el cultivo de cactus. (Pérez, 1984; Robles, 1994)

La luz natural es suficiente en la mayoría de las regiones templadas, pero las zonas donde el invierno ofrece pocas horas de sol se hace necesario el suministro de luz artificial, necesaria para el crecimiento de las plantas. En verano, en cambio, se suelen cubrir algunos paneles transparentes con umbráculos, para reducir la excesiva penetración de sol. El calor interior se aminora tapando las cristaleras, abriendo los orificios de ventilación o haciendo circular aire fresco mediante cualquier otro sistema. En invierno, casi todo el calor de un invernadero

se obtiene de la radiación solar, pero también se puede procurar calor adicional a través de la aspersión de vapor, con agua hirviendo, o mediante un sistema de circulación de aire caliente. La humedad se controla sobre todo a partir de la cantidad de agua del riego.

Se puede afirmar que los factores que rigen el clima de un invernadero son: la luz, la temperatura, la humedad atmosférica, el anhídrido carbónico, y de manera indirecta, el oxígeno y el viento.

Todos estos factores varían según la estación del año e incluso día a día; por otro lado, la variación de un factor produce en el vegetal variaciones morfológicas y fisiológicas.

Existen variaciones de forma porque, al ser la planta esencialmente plástica, la longitud de los entrenudos, la superficie foliar, la pigmentación y espesor de las hojas, etc., son susceptibles de modificaciones de acuerdo con uno cualquiera de los factores climáticos.

Hay variación de la composición química puesto que esta depende del modo en que se realicen las diferentes funciones. Como los factores del medio influyen sobre algunas de estas, también influyen en la composición química.

Finalmente, existe una variación en el desarrollo. El ciclo vegetativo de una planta tiende a modificarse según el medio. Cada estado de desarrollo, por ejemplo la floración, depende de un valor crítico de cada uno de los factores del medio.

La temperatura es un factor importante en todas las funciones de la planta, teniéndose que encontrar entre determinados valores en cada instante de la vida vegetativa. Estos valores no sólo varían en el transcurso de su vida sino también debe haber diferencias entre el día y la noche. Por supuesto, habrá además que contar con la influencia que ejerce el resto de los factores climáticos. (Pérez, 1984)

Interacción de los contaminantes atmosféricos con los patógenos

Hoy se puede incorporar a la patología, los conocimientos sobre fisiología vegetal, biología y ecología, y como consecuencia de ello, cada vez se presenta como más raro, la existencia de asociaciones específicas y genuinas, entre una enfermedad y un agente patógeno, en el sentido, de que para que tal relación se manifieste, se necesita que confluyan muchas otras circunstancias, tan importantes o más para el desarrollo de la enfermedad que el propio agente patógeno, que posibiliten la aparición de la misma, en el sentido que actualmente la entendemos.

Las condiciones ambientales dentro de las que se encuentran las atmosféricas, juegan su rol en las diferentes manifestaciones de las enfermedades. El ambiente atmosférico, aporta más del 95% de los constituyentes de las plantas, y en la actualidad, está sometido a la presión de numerosos agentes que inciden sobre él, provocando alteraciones mucho más rápidas que los procesos adaptativos de los seres vivos que habitan en él. El calentamiento global, el incremento de los niveles de CO_2, o de Ozono, así como los episodios de deposiciones ácidas, se comportan como unos condicionantes evolutivos muy importantes, al tiempo, que juegan un importante papel en las interacciones planta-patógenos, ya sea favoreciendo, o modificando el desarrollo de la interacción.

El estudio de material vegetal de herbarios recolectados en los últimos doscientos años, permite observar como ha disminuido la densidad estomática entre un 20 y 30%, como consecuencia, entre otras causas, del incremento de CO_2 en más de 80 ppm en los últimos años. Este incremento ha venido acompañado de un aumento de la tasa fotosintética de las plantas, y en el crecimiento vegetal, lo que implicaría, una demanda mayor de nutrientes como N y P. Estos aumentos son un incremento de las tasas de fijación simbiótica del primero, o un incremento de la eficiencia de las micorrizas en el caso del segundo. Si estos resultados se confirman, en la medida que aumente el CO_2, las áreas de suelos moderadamente fértiles, podrían evolucionar a muy limitadas por nutrientes, y las fértiles iniciarían un declive evolutivo, que requeriría la aportación de mayores cantidades de elementos nutritivos.

La calidad del exudado radicular, va a servir entre otras funciones, para definir un tipo de selección de microorganismos en las zonas más próximas a la raíz, y en este sentido proveer a cierto tipo de hongos, bacterias y nemátodos, de un medio energético para su reproducción y desarrollo. Sin embargo, y en la medida que la composición de este exudado va a ser influenciado en la calidad y cantidad por la contaminación del aire, aparecerá una influencia indirecta del medio aéreo, en el desarrollo de patogénesis en el medio subterráneo.

El aire contaminado puede aumentar o suprimir la infección, la penetración y en consecuencia, la interpretación y evolución de los resultados experimentales.

Igualmente los patógenos, pueden también modificar la sensibilidad de las plantas huéspedes a los contaminantes, y en definitiva estas alteraciones, pueden producir una modificación en el propio desarrollo y evolución del agrosistema.

El aire contaminado, es uno de los factores abióticos que puede afectar el equilibrio en el intercambio de metabolitos entre dos organismos que se encuentren en asociación simbiótica, ya sea porque afecta a ambos o a uno de ellos, así por ejemplo, una alteración en el transporte de metabolitos de la parte aérea a las raíces afecta tanto a los Rhizobium inductores de nódulos en las leguminosas, como a los hongos asociados en la rizósfera, incluyendo a las micorrizas. Se ha encontrado una reducción en el tamaño, número y peso de nódulos de Rhizobium en leguminosas expuestas a Ozono.

La reducción en la asimilación biológica de nitrógeno, traerá consecuencias desfavorables para los organismos en simbiosis, pero también para los suelos que se encontrarán mermados en su contenido de compuestos nitrogenados, por lo que habrá que incrementar las aportaciones de nitrógeno tradicionales.

El ozono afecta a la fotosíntesis, y ésta, afecta indirectamente al crecimiento de las raíces, senescencia y cambios en la translocación del Carbono, el que a su vez, puede afectar al crecimiento radicular y la senescencia. Exposiciones crónicas de Ozono sobre la rizósfera de judía provocaron la aceleración de la senescencia y el incremento del grado de colonización de raíces e hipocotilos por algunos hongos oportunistas; ninguno de los cuales era patógeno en ausencia de daños provocados por Ozono.

La dificultad para establecer las causas y extensión de las enfermedades que se desarrollan en las plantas, cultivadas en un aire contaminado, surge de que existe además un amplio conjunto de factores, que contribuyen significativamente a la expresión de la enfermedad.

Existen muchas publicaciones en las que se abordan las relaciones entre las enfermedades fúngicas de las plantas y el Ozono:

Los primeros trabajos para estudiar las interacciones Ozono-hongos, se realizaron por Manning et. al. en 1969, sobre hojas de papa, cebolla, judía y geranio, con Botrytis ; donde comprobaron la predisposición de la papa, a causa del Ozono, frente a Botrytis cinerea . Posteriormente se realizaron estudios en este cultivo con Alternaria solani.

Se ha demostrado que ante exposiciones a Ozono la pudrición de raíces causada por Heterobasidium annosum aumenta, los daños causados por Leptographium wagneri var. Pondorosa, se incrementaban en raíces de pino, la infección de raíces de pino por Verticiclaidella procera también aumenta, así como que la marchitez provocada por Fusarium en tomate, se desarrolla más lentamente, mientras que en soja y coles no se aprecia influencia y que los daños en tomate provocados por Pyrenochaeta lycopersici también se incrementan. El Ozono ha sido señalado como causante de la reducción de endomicorrizas en cítricos y tomate pero no en soja. En cuanto a la interacción con ectomicorrizas se han obtenido resultados dispares. Se ha observado en diversos tipos de pinos como el número de raíces micorrizadas se reducía tras la exposición a Ozono, y en su lugar se desarrollaban hongos saprofitos, que producían daños en las raíces absorbentes; de igual forma en cítricos, se observó una reducción considerable que produjo una disminución en el crecimiento del propio plantón. Por otra parte, en estudios desarrollados con el hongo micorrítico Glomus fasciculata, se observó, que cortas exposiciones a Ozono producían una importante reducción en la producción de esporas que llegó hasta el 50%.

En general lo que se observa, es un aumento de los grados de infección o severidad de la enfermedad, debido a la disponibilidad de las lesiones inducidas por Ozono, que servían como punto de infección para el hongo.

Trabajos realizados en cereales, han demostrado que son necesarios daños agudos por Ozono para que los ataques de algunos otros hongos como: Drechslera sp., Gerlachia nivalis, Ascochyta sp. y septoria nodorum, incrementen los porcentajes de superficie de hoja colonizada. En otros casos, el Ozono parece no tener efectos en el desarrollo de enfermedades foliares, por ejemplo: Helminthosporium maydis en maíz, Marsonia brunnea en algodón y Botrytis cinerea en uvas.

Factores como el tiempo de exposición en relación con la infección, presencia o ausencia de daños agudos causados por Ozono antes de la inoculación y la específica relación entre huésped- parásito, juegan un importante rol para determinar los efectos de la predisposición.

Las bacterias también sufren la influencia del aire contaminado; se ha descubierto que algunas bacterias se inactivan y esterilizan bajo la influencia del Ozono. Se encontró que Pseudomonas syringiae pv. Phaseólicola (Burkh) no podía infectar judía tras una lluvia ácida.

El aire contaminado produce una precoz abrasión de las hojas jóvenes, y estrés que podría unirse a las micro heridas provocadas por los vientos e incrementar la infección bacteriana. Por otra parte los efectos de acidificación de los contaminantes gaseosos del aire sobre bacterias nitrificantes simbióticas deben ser considerados uno de los más dañinos efectos de interacción porque, en la biología del suelo, el Nitrógeno de muchas plantas depende en medios naturales de la nitrificación y capacidad nitrificadora de estas bacterias. Se ha estudiado la predisposición provocada por los efectos del Ozono para enfermedades bacterianas y se encontró en alguno de los casos que el tratamiento de pre- inoculación con Ozono reducía la gravedad de la siguiente afección bacteriana y en otros casos no se encontró relación.

Algunos de los procesos de la infección viral como pueden ser los efectuados a través de insectos, hongos y mecánicos pueden ser cambiados por la contaminación del aire; la herida de la planta huésped puede aparecer sin que exista ninguna intervención de insecto u hongo por medio del aire contaminado (en rotura de epidermis u otros órganos), por lo tanto la posibilidad de tener más o menos daño por virosis parece evidente. Las lesiones producidas por TMV (virus del mosaico del tabaco), se incrementan si las plantas son expuestas a fluoruro de hidrógeno, mientras que decrecen si el aire contiene Ozono. Se observó que los daños de Ozono eran menores en plantas infectadas por virus, por lo que se han utilizado alguno de estos para proteger a la planta de daños por ambientes oxidantes.

Existen también algunos ejemplos de efectos aditivos de infecciones virales y daños por Ozono y algún caso aislado sin interacción. Estudios preliminares desarrollados por el CIEMAT y el servicio de Sanidad Vegetal de Silla (Valencia) parecen confirmar la existencia de tales interacciones, de tal forma que las concentraciones de ozono a las que se ven sometidas las plantas durante épocas concretas de primavera y verano, actuarían predisponiendo a las plantas cultivadas para el desarrollo de enfermedades virales.

La reacción de la planta frente al aire contaminado depende del ambiente, de la cantidad de contaminante difundido a través de las hojas y de las características de la planta para resistir. Esta resistencia está controlada inicialmente por los caracteres genéticos de la planta, estado de desarrollo y tiempo de exposición y en segundo lugar por las influencias que pueden modificar estas respuestas debido a factores externos.

Dependiendo de la intensidad, de la naturaleza y frecuencia de la exposición a oxidantes fotoquímicos, la respuesta de la planta estará influenciada por condiciones ambientales como el suelo, el clima y factores bióticos. La respuesta puede ser aguda, crónica o subletal, y afectar desde una planta o provocar cambios en la composición y estructura de una comunidad de plantas. (Porcuna y Gimeneo, 1996)

Referencias bibliográficas

Bazzaz Fakhri A. y E. D. Fajer.

1992. La vida de las plantas en un mundo enriquecido con CO_2. Investigación y Ciencia (186), p. 6-13,

Carrasco García J. E.

2003. Aspectos medioambientales de la producción y uso de la biomasa como recurso energético. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). On line [http://www.gem.es7materiales/document/document7g027d02105/d02105.htm] (2003)

Microsoft.

1999 "Efecto invernadero", Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

EcoNet.

2003 Efecto invernadero. Materiales Econet 99-E. On line [http://www.gem.es7materiales/document/document7g027d02105/d02105.htm] (2003)

Funeco

2003 Efecto invernadero. On line [http://www.econet21.org/es7guia/glosario/e.htm1](2003)

Ferreira de Castro C. E.

2003 El CO_2 elemento de vida indispensable para la producción de vegetales. On line [http://www.ediho.es/horticom/tem_aut/flores/co2.htm1#back](2003)

Lambert, G.

2003 Los gases de efecto invernadero, Mundo científico 12(126): 648-655.

Manning W. J.; Feder W. A.; Perkins I.; Glickman M.

1969 Ozone injury and infection of potato leaves by Botrytis cinerea. Plant. Dis. Rep. 53: 691-693.

Palomar Oviedo F.
1988 Nuevas técnicas en horticultura.—Almeria: Cajalmería.—347p.
Pérez Alfonso J. L.
1984 El cultivo del pepino en invernadero.—Madrid: Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación.-- 303pp.
Porcuna, J. L.; B. S. Jimeneo.
1996 Efecto de los contaminantes atmosféricos interacciones con patógenos. Agrícola Vergel, 15(174): 382-395
Robles J.
1994 Cómo se cultiva en invernadero.—Barcelona: Editorial de Vecchi.--187p.
Schultz Hans R.
2003 ¿Cómo puede afectar el clima a la viticultura en Europa? Ciencia y Tecnología. ACE Revista de Enología. 2003. On line [http://www.acenologia.com/figs59-ciencia04.htm](2003)
UNAH (Universidad Agraria de la Habana).
2003 Conferencias del curso de Bioquímica y fisiología Vegetal, Maestría en Sanidad Vegetal, Tema 2: Balance del metabolismo del Carbono, 20p.

Mercedes Cruz Borruel[1]
Ramiro Valdez Carmenate[2]
1-Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova".
2-Universidad Agraria de la Habana,"Fructuoso Rodríguez".