

DECLINACIÓN FORESTAL

D. Granados-Sánchez; G. F. López-Ríos

Profesores-Investigadores de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. C.P. 56230.

RESUMEN

Se analizan las causas de la declinación forestal como son los factores climáticos, la lluvia y niebla ácida, el exceso y deficiencia de nutrimentos, plagas y enfermedades, los contaminantes gaseosos y otros factores; abordándose a la vez, varias hipótesis en la relación causa-efecto. Además, se enfatizan síntomas y daños en el crecimiento de los árboles, métodos de evaluación y clasificación de los árboles de acuerdo a su salud, así como el impacto de la declinación en aspectos adaptativos de sensibilidad, tolerancia y evolución de las especies arbóreas. También, se propone la consideración del ciclo del bosque en la dinámica de la declinación forestal.

PALABRAS CLAVE: contaminación ambiental, sanidad vegetal, impacto ambiental, estrés fisiológico.

DEGRADATION OF FORESTS

SUMMARY

The causes of forest degradation are analyzed, examining factors such as climate, acid rain, acid fog, excess or lack of nutrients, pests and diseases, and pollution. Several hypotheses of causes and effects are discussed. In addition, symptoms and damage to tree growth, methods of evaluation, and classification of trees by state of health, and the impact of degradation on adaptive aspects of sensibility, tolerance, and evaluation of tree species are highlighted. Also, it is proposed that the forest cycle in the dynamics of forest degradation be considered.

KEY WORDS: environmental pollution, plant health, environmental impact, stress physiology.

INTRODUCCIÓN

A principios de los años ochenta los botánicos europeos alertaron sobre la presencia de una misteriosa enfermedad de los árboles que se manifestaba como amarillamiento de las hojas y en un subsecuente debilitamiento gradual hasta ocasionarles la muerte, denominando a esto como declinación forestal. En esta ocasión, la contaminación atmosférica expresada por altos niveles de óxido nítrico, cambios en el nivel de ozono y en especial las lluvias ácidas, se propusieron como responsables del deterioro de los bosques templados. En este texto se analizan los múltiples aspectos relacionados con la declinación forestal, así como sus posibles consecuencias ecológicas a futuro.

Declinación forestal

El decaimiento forestal es uno de los problemas comunes de las naciones industrializadas que implica la reducción del vigor y sobrevivencia de los árboles de los bosques y dada la relación que existe entre los contaminantes originados por el hombre y otros factores

ambientales tensionantes, los patólogos forestales definen a la declinación forestal como una enfermedad multifactorial.

La palabra enfermedad designa a cualquier desviación del estado de salud normal de los árboles, ocasionado por algún patógeno. El término daño hace referencia al perjuicio localizado, causado por insectos o por factores abióticos como congelamiento, radiación luminosa o huracanes.

La declinación es la acumulación de varias «enfermedades» causadas tanto por factores abióticos como bióticos, que propician el deterioro gradual del individuo en forma general. Consiste en la pérdida del vigor del arbolado, expresado a través de un amplio rango de síntomas, incluyendo la decoloración o follaje anormal, reducción del crecimiento, disminución del follaje, rompimiento de las ramas y ramillas y enfermedades sucesivas, hasta llegar a la muerte de los árboles en un período más corto de lo normal (Carnier, 1986).

Los agentes de declinación pueden ser naturales (erupción volcánica) o inducidos por el hombre (lluvia ácida, cambios climáticos, contaminación del aire, entre otros). Si la declinación de un lugar es adjudicada a fuerzas naturales, esto ha ocurrido seguramente antes, por lo tanto, se puede suponer la ocurrencia de algún tipo de adaptación biológica en el ecosistema; en cambio, la declinación inducida presenta un comportamiento diferente para cada condición ecológica. (Figura 1)



Figura 1. Factores que inciden en el deterioro de los árboles.

Causas de la declinación forestal

Es difícil asegurar si los casos recientes de declinación forestal, ocurridos en áreas geográficas distintas, han sido desencadenados por un solo factor o por una combinación de factores, ya sea antrópicos o naturales. Autores como Manion (1981) y Kozlowski (1979) denominan a la declinación como «estrés ambiental», al considerar que el decaimiento es un complejo, con muchos de los tensionantes actuando secuencialmente o colectivamente, sin embargo, aún no se ha determinado el factor crítico.

Los datos disponibles a la fecha apoyan la tesis de que los nuevos tipos de decaimiento forestal están relacionados de manera directa o indirecta con la concentración de ozono y posiblemente con el dióxido de azufre, con alteraciones en las relaciones de nutrimentos como es el exceso de nitrógeno y tal vez por una mezcla de factores ambientales tensionantes. Por ejemplo, el efecto de los veranos muy secos y las deficiencias de boro y magnesio, se agravan por la pérdida de la integridad de la cutícula de las hojas causada por la presencia de altas concentraciones de ozono y la depositación ácida (Manning y Krupa, 1992). Las características del suelo también tienen un papel importante en los cambios metabólicos dentro de

una planta y de respuesta de las plantas a los contaminantes.

Efecto de factores climáticos sobre las plantas

Se ha señalado que tanto la sequía como las heladas influyen en la declinación de los bosques, aunque, cabe mencionar que aun cuando pueden tener consecuencias críticas, como es la reducción de la vitalidad y de la densidad de las masas forestales, éstas son más severas si algunos patógenos u otros factores intervienen en el debilitamiento posterior. Además, ni la sequía ni las heladas por sí solas pueden explicar la gran diversidad de síntomas observados en este proceso (Johnson *et al.*, 1986).

Contaminación ambiental

En la declinación forestal recientemente se señaló a los contaminantes atmosféricos como los principales culpables de la declinación forestal; se dice que, aun en bajas concentraciones pueden intoxicar a las plantas.

Estos contaminantes pueden ejemplificarse bajo el siguiente esquema: el hombre genera emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno incrementando su concentración en la atmósfera; la acción de los rayos del sol causan la formación de contaminantes secundarios como el ozono; después de un tiempo (horas o meses) estos contaminantes son transferidos a los ecosistemas terrestres o acuáticos, por mecanismos de deposición seca o húmeda. Mientras tanto, una compleja serie de oxidaciones, principalmente en la fase húmeda (Ej. lluvia) incrementa la cantidad de acidificación dentro de la atmósfera.

Se han propuesto diferentes modelos para ilustrar los efectos de los contaminantes sobre los árboles. Uno de ellos considera los cambios externos de la planta en contacto de contaminación atmosférica, incluyendo al mismo tiempo las posibles respuestas internas. Así tenemos que por la combinación de contaminantes en las hojas se produce una capa cerosa que tapa los estomas, interrumpiéndose el proceso de intercambio de gases, respiración y fotosíntesis, con ello, el metabolismo general.

La deposición seca causa daño en las cutículas de las plantas pudiendo causar la lixiviación de iones y modificar la caída de la lluvia a través de las ramas de los árboles. La deposición ácida lixivia calcio y magnesio del suelo, lo cual provoca a su vez la movilización de iones de aluminio que dañan las raíces de los árboles, lo que influye en la recarga de nutrimentos y agua.

Más del 80 % de la contaminación total fluye durante la deposición seca, entrando por el estoma hacia adentro de las células. El estudio de su ultraestructura ha indicado

que los gases ácidos y sus productos tienen un rango de efectos en las membranas, especialmente en las de los cloroplastos. Los efectos del dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno dentro de las membranas, no se ha definido claramente pero las mezclas de sulfito y nitrito se sabe, participan en el intercambio para la formación de radicales libres y en consecuencia en la pérdida de ozono.

Los efectos de la contaminación del aire se observan en los constituyentes de la célula como en membranas y particularmente en el citoplasma y en las vacuolas; así también se modifica el pH intracelular que afecta los controles metabólicos.

La acumulación de efectos sobre las membranas y los procesos celulares repercuten en procesos como son la fotosíntesis, fotorespiración y respiración, así como en la ósmosis, el pH y la condición nutricional. A nivel extracelular se afectan procesos asociados con el transporte y traslocación. Así por ejemplo, la contaminación por óxidos de nitrógeno modifican eventos fisiológicos en relación a la asimilación y distribución de nitrógeno (Waring, 1987).

En plantas levemente afectadas por contaminantes, normalmente sólo tienen reajustes homeostáticos en su metabolismo, aún así, todos los procesos bioquímicos y controles fisiológicos repercuten en el crecimiento de las plantas. Además la contaminación causa daños «latentes o crónicos» o el llamado «daño invisible», el cual es una consecuencia de la desviación de energía durante el crecimiento. La sensibilidad y adaptación a contaminantes o tolerancia se establece por el balance entre procesos y todos los procesos fisiológicos que integran el metabolismo de cada planta.

Ozono. Se sugiere que la caída de las hojas asociada con la declinación forestal se debe a altos niveles de ozono, lo cual ocasiona un incremento en los niveles de peróxido de hidrógeno y fotooxidación (Colbeck y MacKenzie, 1994). Algunos de los efectos son daños a la membrana celular, amarillamiento de las hojas, senescencia acelerada de las hojas viejas, caída de árboles como consecuencia del ataque por patógenos, hongos e insectos y formación de un dosel delgado con síntomas visibles de decaimiento secundario (Manning y Krupa, 1992; Runeckles y Krupa, 1994).

Sin embargo, al considerar al ozono como posible causa de declinación, debemos recordar que en los bosques existe una variación individual respecto a la sensibilidad al ozono. Estas inconsistencias han conducido a los investigadores a considerar al ozono en combinación con el dióxido de azufre, la depositación ácida y otros factores estresantes como interactuantes en la declinación forestal (Innes, 1987).

La evidencia de que el ozono es el responsable de los casos recientes de decaimiento forestal, es

circunstancial, es decir, el ozono podría explicar el fenómeno en algunas áreas pero no en todas. Donde el ozono no es la causa primaria del decaimiento, podría actuar predisponiendo al organismo a otros tensionantes, especialmente al dañar la cutícula de las hojas y por tanto, facilitar el lavado de algunos cationes. De una u otra manera el ozono parece íntimamente relacionado con este fenómeno al menos en algunas áreas.

Lluvia y neblina ácida. Se sugiere que en los suelos forestales se originan cambios químicos como consecuencia de la acidez excesiva. Inicialmente se propuso que ciertos ácidos tales como el sulfúrico y nítrico, formados a partir de las sustancias contaminantes de la atmósfera, conferirían a las lluvias y a la nieve su carácter ácido. Actualmente el término se utiliza para hacer referencia a todos los tipos de contaminantes que pueden presentarse por acarreo en los ecosistemas forestales, incluyendo el lavado de cationes en el suelo forestal. (Figura 2).

Cuando el decaimiento forestal se presentó en los bosques, se propuso que la acidificación de los suelos se aceleró por la depositación de sustancias ácidas de la atmósfera, como consecuencia, la solubilidad de ciertos iones como el aluminio aumentó y con ello su movilidad. El aumento en la concentración de aluminio en el suelo, por sus efectos tóxicos para el sistema radicular de las plantas, debilita y mata los árboles. La acidez además de aumentar la movilidad del aluminio, incrementa la solubilidad de otros elementos incluidos manganeso y otros metales pesados los cuales podrían estar también implicados en el decaimiento (Blank, 1985; Weiss & Rizzo, 1987).

Aun cuando la propuesta anterior ha recibido mucha atención, debe aclararse que presenta algunos problemas: los síntomas de toxicidad por aluminio no son parecidos a

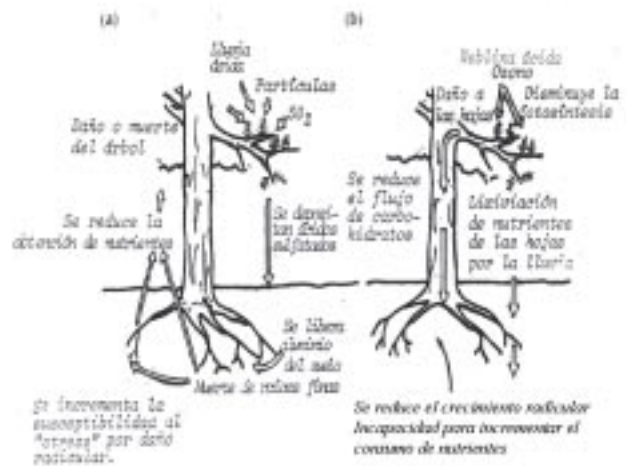


Figura 2. Declinación forestal. a) Hipótesis "acidificación del suelo" y b) Hipótesis "neblina ácida-ozono" (Roberts, 1987).

los del decaimiento, además este fenómeno es más frecuente en suelos calcáreos y alcalinos donde la concentración de aluminio es baja.

La acidificación podría afectar al suelo, pero se debe considerar que ellos poseen una capacidad de amortiguamiento importante, de manera que un aumento en la concentración de iones hidrógeno no necesariamente debe traducirse en un cambio drástico del pH del suelo. Los altos niveles de sulfuros y nitrógeno ocasionan un aumento en el crecimiento del árbol en virtud de sus efectos de fertilización, pero posteriormente, debido a las altas temperaturas, la depositación ácida reduce el efecto neutralizador del suelo (Roberts, 1987).

Se ha postulado que un efecto potencial podría ser la alteración en la disponibilidad de los nutrimentos, por ejemplo, la saturación de los ecosistemas con nitrógeno atmosférico incrementa la probabilidad de acidificación de los suelos y esta condición facilita la lixiviación del calcio.

Mucha de la investigación en torno al efecto de la lluvia ácida se ha dirigido hacia su influencia en las especies cultivadas. Los estudios realizados en ocho especies distintas han permitido concluir que la lluvia ácida (pH 3.8-5.1) no tiene efectos importantes en los cultivos. Sin embargo, una revisión de 90 estudios acerca de 30 especies vegetales, permitió concluir que el crecimiento puede ser estimulado o inhibido dependiendo del pH. De esta manera, estudios recientes sugieren que la depositación tiene un efecto pequeño e indirecto en la producción de los cultivos. El riesgo más importante, se da cuando la lluvia ácida (pH menor de 3.0) produce necrosis, sin embargo, el análisis de los registros, indican que esto es muy poco frecuente (Nilsson y Duinker, 1987).

Peróxido de hidrógeno. Las áreas de mayor industrialización en las que se ha presentado la declinación, parecen coincidir en su mayoría, con aquellas donde la niebla es frecuente. Por esta razón se ha propuesto que el peróxido de hidrógeno podría estar involucrado, ya que sus concentraciones oscilan entre 0.1 y 5 ppm. Cabe mencionar que el ozono es altamente reactivo y en soluciones puede actuar con ácidos grasos insaturados, y moléculas que contienen anillos sulfhidrilos. El peróxido de hidrógeno, por tanto, puede originarse al reaccionar el ozono con compuestos en solución que contienen dobles puentes olefínicos. En el agua la descomposición del ozono puede producir aniones hidroxyl, hidroperoxyl, superóxido y otros radicales libres que pueden ser más reactivos que el ozono mismo (Hinrichsen, 1987). De esta manera la concentración del peróxido de hidrógeno abre nuevas posibilidades en torno a las causas de la declinación forestal.

Oxidos de azufre y nitrógeno. Por ser un gas el dióxido de azufre es una de las principales causas de

declinación forestal, un indicador de ello es la presencia de líquenes en las ramas de los árboles, los cuales son más tolerantes a las condiciones de acidez. La interacción entre el dióxido de azufre y óxido de nitrógeno, especialmente en exposiciones intermitentes de ozono, es capaz de ocasionar reducciones en el crecimiento, así como un aumento en la sensibilidad de los árboles a ataques por patógenos.

La suma de contaminantes como los óxidos de nitrógeno junto con otras presiones ambientales, tales como deficiencia de minerales, heladas, sequías, etc., pueden causar un incremento de etileno que promueve la caída de las hojas y daños foliares por peroxidación.

Cloroetanos y fotoactivación. Los hidrocarburos que se producen al usar refrigerantes (tril y tetra cloroetanos) son capaces de causar efectos fitotóxicos asociados con la declinación forestal; especialmente en presencia de alta radiación (Cowling, 1985).

Los efectos tóxicos principales se relacionan con la capa de lípidos de las células vegetales donde el cloroetano se acumula, principalmente en la membrana de los tilacoides de los cloroplastos, donde están contenidos los pigmentos esenciales para la fotosíntesis, como la clorofila y el caroteno. Esto puede producir síntomas característicos como el blanqueamiento y el amarillamiento de las hojas, muy asociados a la declinación forestal.

Exceso de nitrógeno. La emisión de contaminantes pueden cambiar el balance atmosférico de dióxido de nitrógeno por diversas causas, entre las que tenemos: combustión de los autos, incremento en la aplicación de fertilizantes artificiales, aumento de agua residual y la cría intensiva de ganado. El incremento de amonio atmosférico modifica la concentración de ozono e incrementa la disposición de nitrógeno en los ecosistemas causándoles severos daños, por ejemplo en bosques incide en la acumulación de productos tóxicos.

Generalmente se acepta que la adición de nitratos y sulfatos al suelo, incrementa su fertilidad favoreciendo la salud de las plantas, asimismo, el enriquecimiento con nitrógeno puede realizarse foliarmente con óxidos de nitrógeno y amoniaco. No obstante, la volatilización de amonio, que se genera de la desnitrificación microbiana, por fertilización de los campos agrícolas, contribuye a que éste se presente en una concentración excesiva y con ello participa en la declinación forestal. Se ha postulado que un exceso de amoniaco causa la defoliación del abeto después de un período de 3 a 4 años de fertilización.

Se sabe que el nitrógeno estimula el crecimiento apical durante el verano, predisponiendo al árbol a daños

durante el invierno. Por otro lado, el exceso de nitrógeno, ocasiona indirectamente, una disminución del crecimiento radicular, haciendo a la planta más susceptible a la sequía (Innes y Boswell, 1987), además, puede modificar la demanda de otros elementos, particularmente de magnesio, potasio, fosfato, molibdeno y boro. Dichas deficiencias pueden alterar la asimilación de nitrógeno y afectar la síntesis de proteínas. Este exceso, al mismo tiempo, puede ocasionar la formación de células con paredes delgadas, que les confiere a las plantas mayor susceptibilidad, condiciones de estrés y al ataque de hongos o insectos (Knight, 1987).

Sensibilidad y tolerancia en respuesta a la contaminación

Mediante ciertos mecanismos de adaptación bacterias e insectos adquieren resistencia hacia antibióticos y otros químicos, así también las ratas a los raticidas y las plantas a herbicidas. Un ejemplo clásico de adaptación genética lo constituye el mimetismo en relación al oscurecimiento de la corteza de los árboles por contaminación atmosférica. El fenómeno llamado «Melanina industrial» se observó en la mariposa *Piston betulia*, comúnmente denominada como «carbonaria». En la zona industrial de Manchester en 1948 se convirtió en la población dominante en tan solo un año; de esta manera podía escapar a la depredación de los pájaros, es decir, por selección natural se favoreció una pequeña variación genética que permite la sobrevivencia de la especie, lo cual es un excelente ejemplo de evolución hacia el completo dominio del moderno tipo oscuro.

Así también, algunas plantas pueden sobrevivir y crecer en presencia de altas concentraciones de metales pesados o sales, en condiciones de sequía prolongada o en una variedad de condiciones adversas. Se considera como resistencia a la capacidad de las plantas para mantener el crecimiento y permanecer libres de daño en presencia de contaminación ambiental. Este fenómeno tiene, como explicación dos posibilidades: la de evitar el estrés, por exclusión de contaminantes y la tolerancia al estrés cuando existe un mecanismo de desintoxicación para contrarrestar los efectos de los contaminantes. Por ejemplo, se tienen evidencias que sugieren que las plantas toman óxidos de nitrógeno y los incluyen en su metabolismo al ocupar una parte como nutrimentos para la formación de follaje, y otra para la desintoxicación.

En los casos de tolerancia a contaminación del aire y al estrés, la selección natural redundará en la adaptación a un rango amplio de agentes contaminantes en diversas especies.

Efecto de la deficiencia de nutrimentos sobre las plantas

Las deficiencias de nutrimentos junto con la poca disponibilidad de agua, han sido propuestas como causas de la declinación forestal. La limitación del agua disponible en la que los nutrimentos podrían ser transportados al árbol puede limitar de manera importante su incorporación y con ello la sobrevivencia del árbol.

La declinación de árboles por deficiencia de boro se caracteriza por amarillamiento y caída prematura de las hojas, además del debilitamiento general. La relación del boro con la concentración de reguladores del crecimiento (ácido absísico), aporta un fuerte argumento en favor de la correlación de este elemento con el decaimiento (Blank *et al.*, 1988).

Algunas evidencias apoyan la hipótesis de que la deficiencia de boro incrementa la respuesta de la planta ante la sequía contribuyendo así a su decaimiento. Si efectivamente el boro estuviese implicado, el desbalance boro-nitrógeno podría explicar las respuestas tan variadas de las especies vegetales, como la acentuada susceptibilidad de los árboles maduros y la no afectación de las plantas cultivadas. Otro argumento sería que el boro interactúa a nivel meristemático en los mecanismos hormonales (Shortley y Smith, 1988).

Los patógenos y las plantas

Dentro de esta categoría se describe tres grupos de causas: aquellas que inician la enfermedad, factores a corto plazo y factores que contribuyen a la declinación a largo plazo. La primera incluye cambios climáticos, contaminación del aire, pobreza del suelo, potencial genético de los árboles y envejecimiento. Los factores que la incitan a corto plazo incluyen lesiones mecánicas, daño por insectos defoliadores, heladas, sequía, exceso de sales y contaminación del aire. Dentro de la tercera categoría están algunos agentes bióticos como hongos, insectos, virus y nemátodos. Por ejemplo, en Noruega se ha determinado que hongos tales como *Lophodermium viceae*, *L. macrosort* y *L. filliforme* han estado relacionados con eventos de declinación forestal, sin embargo, se ha considerado que estos factores biológicos actúan sólo sobre árboles predisuestos a su ataque por otros factores (Mueller y Dombois, 1987).

Hipótesis de mala práctica. La hipótesis de mala práctica hace referencia al ataque de patógenos favorecido por las prácticas de monocultivo; cuando esto sucede, la destrucción alcanza grandes escalas, que afecta principalmente a los árboles más viejos en las plantaciones.

Hipótesis alternativa. Se refiere a micro contaminantes orgánicos de varios tipos, que pueden ser la causa de la declinación forestal. Se han catalogado

alrededor de 1500 componentes orgánicos en áreas rurales y urbanas, entre los que se pueden citar a los dinitrofenoles que son potentes inhibidores de la respiración, y los hidrocarburos poliaromáticos que son fitotóxicos.

Hipótesis multi-intermitente. Algunos resultados indican que en plantas con tolerancia al ozono, el contacto intermitente de contaminación por ozono tiene más efecto fitotóxico que altos niveles continuos del mismo.

Hipótesis multifactorial. Como los síntomas de decaimiento de los árboles varían de región en región, los investigadores creen que los fenómenos actuales de declinación se deben a más de una causa, es decir, el problema se debe a una serie de factores que interactúan entre sí.

Síntomas de declinación

Los árboles maduros son los más afectados cuando se presenta la declinación forestal. Los síntomas que presentan a través de las etapas de declinación hasta llegar a la muerte, tomando en cuenta los planteamientos de varios autores como Waring (1987) y Blank *et al.* (1988) pueden enmarcarse en las siguientes observaciones generales: (Figura 3)

- Decaimiento del follaje superior de la copa.
- Moteado clorótico y amarillamiento de las ramillas o follaje maduro.
- Amarillamiento y deformación del nuevo follaje, similar al causado por deficiencia de minerales.
- Reducción del crecimiento del árbol; disminución del crecimiento de los brotes y renuevos, así como del entrenudo y más tarde la muerte del follaje.
- Degradación de raíces y micorrizas, comenzando con el agotamiento de las reservas de la raíz.
- Caída gradual del follaje, ocasionando una copa irregular o asimétrica con porciones muertas.
- En maderas duras el agua es absorbida a lo largo del tallo formándose brotes de follaje.
- Dependiendo del vigor del árbol, se presentan ramas adventicias o pequeños brotes de apariencia sedosa o tersa.
- La raíz es invadida por hongos que parasitan el sistema radicular acentuándose el síndrome de declinación hasta matar el árbol.
- Invasión por hongos en la base del árbol.
- Presencia de descortezadores en el árbol.
- Desprendimiento de la corteza en las ramas y el tronco.

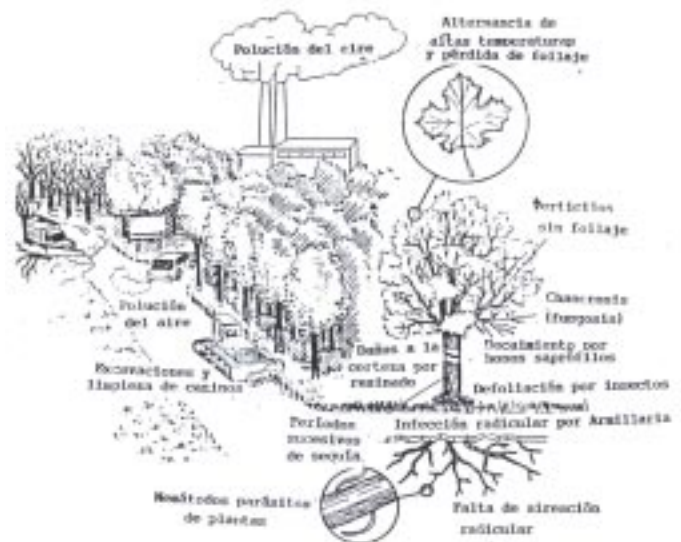


Figura 3. Factores asociados con la declinación del maple.

En los casos recientes, se presentan características únicas, tales como la aparición repentina en áreas geográficas muy extensas, con síntomas que varían en cada especie y que involucran respuestas de crecimiento anormal. (Figura 4)

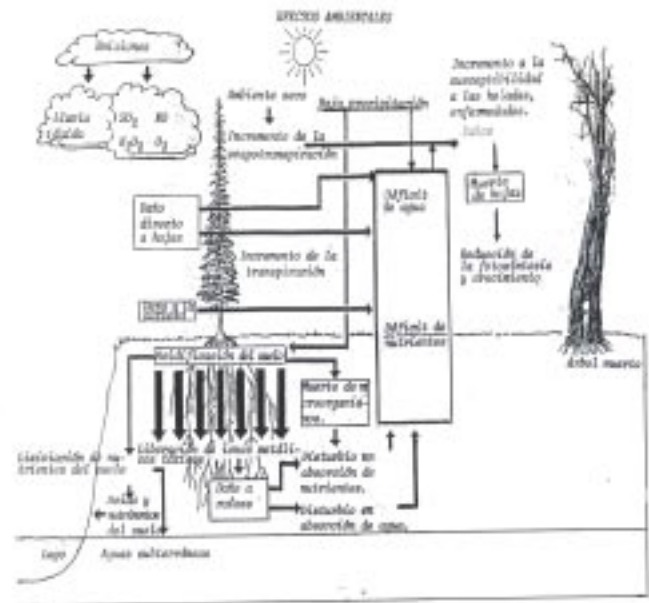


Figura 4. Efecto de los contaminantes atmosféricos sobre los árboles.

Clasificación de los árboles de acuerdo a su salud

Diversos autores se han preocupado por clasificar los daños ocasionados en los árboles a causa de factores de declinación, pero debido a las variaciones de región en región es difícil adoptar un parámetro general. No obstante,

la Comunidad Europea propuso una clasificación estándar considerando el rango del daño entre cero (saludable) y cuatro (muerto) como lo muestra la Tabla 1.

TABLA 1. Clasificación de árboles en relación a salud, propuesto por la comunidad Europea.

Clase	Pérdida de hojas	Descripción
0	0-10%	Sano
1	11-25	Daño leve
2	26-60	Daño medio
3	60-99	Daño mayor a moribundo
4	100	Muerto

Por estimación visual se puede valorar la pérdida de hojas del árbol y la proporción del follaje que presenta una alteración del color (amarillamiento), aunque ambas condiciones, si no se cuantifican, son subjetivas. (Figura 5).

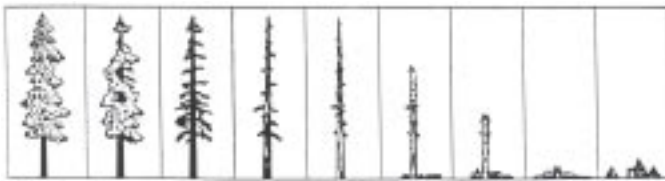


Figura 5. Secuencia de la declinación de un árbol hasta su muerte en el proceso de declinación forestal.

Evaluación del crecimiento

Antes de la aparición de síntomas foliares, los árboles responden al estrés disminuyendo su crecimiento, por lo que este fenómeno puede ser considerado como un indicador de decaimiento. El primer paso en la evaluación de la declinación forestal consiste en hacer una caracterización detallada del tiempo y la naturaleza de las alteraciones en el crecimiento.

La disminución en la tasa de crecimiento se refleja en la estrechez en los anillos de crecimiento, lo cual puede observarse en una sección transversal del tronco. El impacto de las condiciones ecológicas y en especial del papel ejercido por el clima puede estudiarse mediante el análisis de los anillos anuales de crecimiento en relación a fenómenos ambientales. Este método permite detectar los períodos en que el árbol ha sufrido condiciones estresantes, ya que se corresponde con un menor crecimiento del anillo correspondiente. En el caso de que la disminución de la anchura en los anillos de crecimiento no sea pronunciada, la densidad de la madera puede ser utilizada como indicador del clima.

Debe considerarse que las técnicas dendrocronológicas revelan no solamente la reducción del crecimiento anual, sino también la causa. El análisis de numerosos casos de decaimiento forestal, ha permitido relacionarlo de manera clara con factores climáticos como la disminución de la precipitación, aparición de heladas, inviernos excesivamente fríos e incluso la concentración de nitrógeno en la atmósfera.

Para juzgar la evolución a largo plazo del crecimiento, hace falta tener en cuenta el efecto de la edad, ya que bajo la influencia de su envejecimiento un árbol produce con el tiempo anillos de crecimiento cada vez menos amplios.

También se ha sugerido una interacción de los contaminantes emitidos a la atmósfera con el clima. En países europeos se ha determinado una fuerte correlación entre la presencia de años secos con la disminución de la tasa de crecimiento. Los investigadores han establecido una relación entre este fenómeno y el desarrollo industrial, particularmente la industria del aluminio. Por ejemplo, en Grecia se asoció la disminución de los anillos de crecimiento, cuyo inicio se determinó en 1960, con la rápida urbanización de Atenas, junto con el incremento del número de automóviles (15 %) y con la contaminación atmosférica.

Declinación forestal en el “Desierto de los Leones”, México.

Un ejemplo de declinación forestal se muestra para el bosque del Desierto de los Leones en la Ciudad de México. En un estudio realizado por Alvarado en 1989, se señala que a partir de 1970, el arbolado del parque muestra un menor crecimiento de sus anillos. Para 1982, se detecta claramente una fuerte declinación forestal semejante a la del bosque del Ajusco y a la de los Dínamos de Contreras. La especie más afectada es *Abies religiosa* hasta en un 36 %, probablemente por los altos niveles de ozono y dióxido de azufre.

Se sabe que los contaminantes emitidos por la industria y vehículos de motor de la Ciudad de México, son transportados por los vientos, causando daño a la vegetación herbácea y arbórea a lo largo de su trayectoria. Particularmente, las áreas más afectadas son las de barlovento, donde llegan los vientos de la Ciudad de México, especialmente en cañadas donde se encajonan dichos vientos

De acuerdo a Paz (1989) otros factores asociados a la declinación del parque son: la falta de manejo forestal que no ha permitido su regeneración y la extracción de agua, lo cual ha impactado al arbolado, principalmente en las cañadas, provocando su debilitamiento y susceptibilidad a patógenos.

Alvarado (1989) y López (1993) indican que en la vegetación del parque, las hojas en declinación inicialmente

tienen lesiones blanquecinas (semejantes a las producidas por ácaros), que posteriormente se tornan café rojizas por deficiencia de manganeso y finalmente la hoja entera se seca, ocurriendo esta secuencia en meses o aún en años.

Los árboles en declinación sólo conservan sus hojas por dos años, en contraste con árboles sanos que las conservan hasta por seis años; en cuanto a ramas, los árboles en declinación tienen pocas ramas vivas, ubicándose hacia el interior del árbol, siendo el ápice el último en morir. Por el estrés a que están sometidos dichos árboles suelen desarrollar ramillas adventicias.

En general la declinación se inicia en un pequeño grupo de árboles y se va extendiendo su efecto en cadena, formándose espacios de mortandad o claros que cubren hasta unas 20 hectáreas, que se conocen como cementerios de árboles. (Figura 6)

El bosque de *Abies* presenta una mortandad que va del 54 al 100 % afectando principalmente a los árboles jóvenes. Las coníferas van siendo reemplazadas por latifoliadas como *Garrya laurifolia* y *Quercus* spp, las cuales al parecer son más tolerantes a los contaminantes.



Figura 6. Secuencia de la declinación forestal en espiral (Manion, 1981).

CONCLUSIONES

El enfoque sobre el ciclo de vida del bosque y la teoría de cohorte-senescencia, se han desarrollado para explicar el decaimiento de los bosques, como historia demográfica del sitio. En ello se considera que si un sitio se convierte en un gran cohorte de individuos similares fisiológica y genéticamente, se predisponen a un gran declinamiento; a la vez, los cohortes del sitio cumplen un ciclo y eventualmente llegan a la senescencia.

Los disturbios naturales, por ejemplo, inestabilidad climática a corto plazo (una severa tormenta, inundación temporal del sistema radicular, sequía en un bosque tropical lluvioso, etc.), como eventos climáticos estresantes pueden ocurrir repetidamente en el sitio durante el tiempo de vida del cohorte. Mientras éste se encuentre en un estado de vigor normal, se puede recuperar, pero si alcanza la edad de envejecimiento o entra al estado de senescencia, una inestabilidad puede disparar su declinación.

La senescencia del cohorte, que es vista como un factor endógeno de estrés, es sólo un factor de predisposición. Otro factor es el hábitat, particularmente en relación a condiciones de pobreza del suelo. También el frío, en zonas templadas, húmedas y biomas húmedos de montaña, repercute en el decaimiento paulatino, al causar cada vez daños irreversibles a algunos individuos. La muerte de los árboles puede acumularse por décadas y permanecer como esqueletos por largos períodos de tiempo. Los fuegos son raros o ausentes en estos medioambientes y los descomponentes activos, tales como termitas, están confinados a tierras bajas tropicales. Todo ello predispone a la declinación forestal.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO R. I. 1989. Declinación y muerte del oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Valle de México, Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- BLANK, L.W. 1985. Annes type of forest decline in Germany Nature (London) 214:311-314.
- BLANK, L.W.; ROBERTS, T.M.; SKEFFINGTON, R.A. 1988. New perspectives on forest decline. Nature 336: 27-30.
- CARNIER, L. 1986. "Decline in Quebec's forests; Assessment of the situation". Service de la Recherche Applique. Ministère del Energie et des Ressources, Quebec .
- COLBECK, I.; MACKENZIE, A. R. 1994. Air pollution by photochemical oxidants. Elsevier Scientific, Amsterdam.
- COWLING, E.B. 1985. Comparison of regional declines of forests in Europe and North America, The possible role of airborne chemicals, In air pollution effects on forest ecosystems. Acid Rain Fundation, St Paul Minnesota. pp 217-234.
- HINRICHSEN, D. 1987. The forest decline enigma: What underlies extensiva diaback on two continents? Bioscience 37(8): 542-546.
- INNES, J.L. 1987. Air pollution and forestry, H.M.S.O, London.
- INNES, J.L.; BOSWELL, R.C. 1987. Forest health surveys, Part 1: Results, Forestry Commission Bulletin 74 H.M.S.O, London.
- JOHNSON, A.H.; FRIEDLAND, A.J.; DUSHOFF, J.O. 1986. Recent and historical red spruce mortality; evidence of climatic influence. Water Air and Soil Pollut 30:319-330.
- KNIGHT, H.A. 1987. The pine decline, Journal of Forestry 85: 25-28.
- KOZLOWSKI, T.T. 1979. The growth and enviromental stresses, Ed. University of Washington.
- LÓPEZ, L.M.A. 1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones D.F. Tesis de Maestría del Colegio de Postgraduados.Montecillos, México.

- MANION, P. 1981. Tree disease concepts. Prentice-Hall Engwood cliffs New York p. 324-339.
- MANNING, W.J.; KRUPA, S.V. 1992. Experimental methodology for studying the effects of ozone on crops and trees. In Surface Level Ozone Exposures and their effects on vegetation. A.S. Lefohn, ed. Lewis, Chelsea, MI.
- MUELLER-DOMBOIS, D. 1987^a. Natural dieback in forest. Bioscience 2: 216-220.
- NILSSON, S.; DUINKER, P. 1987. The extent of forest decline in Europe. Environment 29(9): 4-31.
- PAZ, E.D. 1989. Sistema de calificación de riesgo para estimar la muerte de oyamel (*Abies religiosa* Schl et. Cham) en el parque «Desierto de los Leones», D.F, Tesis Ingeniero Forestal con orientación en Silvicultura, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- ROBERTS, T.M. 1987. Effects of air pollution on agriculture and forestry, Acid Rain: CEGB RESEARCH, 20: 39-52.
- RUNECKLES, V.C.; KRUPA, S.V. 1994. The impact of UV-B radiation and ozone on terrestrial vegetation. Environ.Pollut. 83: 191-213.
- SHORTLE, W.C.; SMITH, K.T. 1988. Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce, Science 240: 1017-1018.
- WARING, RH. 1987. Characteristics of trees predisposed to die, stress causes distinctive changes in photosynthate allocation, BioScience 37 (8): 569-574.
- WEISS, M.J.; RIZZO, D.M. 1987. Forest declines in major forest types of the eastern United States, In "Proceeding of the workshop on forest decline and reproduction, Regional and global consequences". L. Kairiukstis, S Nilsson, & A Stroszak. Eds. JIASA, Luxemburg, Austria. pp 297-305.