

ENSAYO

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL ESTADO SIMBIÓTICO DE LOS ÁRBOLES DEL BOSQUE

ESSAY

CLIMATIC CHANGE AND THE SYMBIOTIC STATE OF THE FOREST TREES

María Valdés Ramírez¹

RESUMEN

El acuerdo unánime mundial para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero hacia la atmósfera conduce a considerar las formas de contribuir con bases científicas para ello. El Programa Especial de Cambio Climático de México indica que 30% puede lograrse evitando la deforestación y la degradación de los bosques y la recuperación de áreas forestales. Diferentes ecosistemas terrestres capturan carbono a través de las plantas y del suelo. La biomasa microbiana en la rizosfera es hasta 10 veces mayor que la del suelo; estos microorganismos transforman la materia orgánica en humus, que es el carbono más estable. La biomasa de la raíz es muy superior en presencia de simbioses (hongos ectomicorrízicos y micorrízico-arbusculares, bacterias fijadoras de nitrógeno); estos hongos en la raíz de las plantas son fundamentales para la biodiversidad y el ecosistema. El elevado CO₂ y O₃ atmosféricos afectan la simbiosis de los árboles así como el ciclo del nitrógeno alterado (exceso), la temperatura y precipitación modificadas, las especies invasivas y los fitopatógenos. Los factores en el cambio global interactúan e inciden en la micorriza, directa e indirectamente. Tienen efecto sobre la biota edáfica, al impactar la composición de la comunidad de los hongos micorrízicos, las bacterias estimuladoras de la micorrización, las plantas que actúan como reservorio de los simbioses, la invasión de plantas no micorrizógenas, etc. Las micorrizas son clave en la interfase planta-suelo y por su influencia en la fisiología de la planta y sus comunidades, deben incluirse en los estudios ecológicos de cambio climático.

Palabras clave: Cambio climático, captura de carbono, deforestación, efecto invernadero, ectomicorriza, hongos micorrízicos.

ABSTRACT

The unanimous world agreement to reduce the greenhouse effect gas emissions to the atmosphere leads to consider the forms to contribute to the above mentioned labor with scientific arguments. Mexico's Special Program for Climatic Change points out that 30% could succeed with the prevention of deforestation and woodland degradation and the recovery of forest areas. Different terrestrial ecosystems have the ability to sequester carbon through plants and soil. The microbial biomass in the rhizosphere is up to 10 times higher than that of soil; these microorganisms transform the organic matter into humus, which is the most stable C. Root biomass is higher with the presence of symbiotic microorganisms (ectomycorrhizal, arbuscular-mycorrhizal, nitrogen-fixing); root symbiotic fungi are a main factor in maintaining the biodiversity and the ecosystem. High CO₂ and atmospheric O₃, affect symbiosis of trees as well as the altered nitrogen cycle (excess), temperature and modified precipitation, invasive species and the phytophathogens presence. The factors that participate in global change interact and have an impact on the mycorrhiza, direct and indirectly. They have an effect upon edaphic biota, as they impact the composition of the mycorrhizal fungi community, on the stimulating bacteria of mycorrhization, on the plants that act as reservoir for symbionts, the invasion of non-mycorrhizal plants, etc. Mycorrhiza are crucial in the soil - plant interphase, and by their influence in plant physiology and their communities, they must be included in the ecological studies about climate change.

Key words: Climatic change, carbon sequestration, deforestation, greenhouse effect, ectomycorrhizae, mycorrhizal fungi.

Fecha de recepción: 28 de febrero de 2011

Fecha de aceptación: 25 de marzo 2011

¹ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Correo-e: mvaldesr@ipn.mx

INTRODUCCIÓN

A pesar del gran fracaso de la cumbre de Copenhague para detener el incremento de las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero, destaca el acuerdo unánime para iniciar, cuanto antes, los esfuerzos para reducir estas emisiones por deforestación y degradación de los bosques del planeta.

Los bosques de México son el eje central del diseño institucional que debe enfrentar el país para hacer frente a sus compromisos sobre el cambio climático. Para ello, el Programa Especial de México sobre 2009-2012 (PECC) presentado en Copenhague, estima que 30% de la reducción de las emisiones de CO₂ puede lograrse si se evitan la deforestación, la degradación de los bosques y se alcanza la recuperación de las áreas forestales. Desgraciadamente, la primera etapa de este Programa (2008 al 2012) sólo contempla una "evaluación de la vulnerabilidad del país por sectores y regiones, así como la valoración económica de las medidas prioritarias" (SEMARNAT, 2009).

Diferentes ecosistemas terrestres tienen la capacidad de llevar a cabo el secuestro de carbono a través de las plantas y del suelo. Parte importante de un ecosistema en este sentido (lignina, celulosa, etc.) es la mitad escondida de las plantas, la raíz. Este órgano desempeña un papel fundamental en la conservación y restauración del suelo a través de la retención del mismo y de la estimulación de la formación de grandes masas microbianas con diferentes funciones (oxidaciones, reducciones, mineralizaciones, síntesis de glomalina, formación de humus, etc.).

La biomasa microbiana en la rizosfera de las plantas es hasta 10 veces superior a la del suelo y son los microorganismos los que transforman a la materia orgánica en humus, que es el C más estable. Además, la biomasa de la raíz es mucho mayor en presencia de microorganismos simbioses (hongos ectomicorrízicos, micorrízico-arbusculares, fijadores de nitrógeno) los que, además de proveerles nutrientes y agua, tienen impactos no nutricionales sobre las plantas, como capacidad para excluir iones tóxicos, influencia sobre la fotosíntesis y actividad hidráulica de la planta y control de patógenos (como base al aumento de idoneidad). La micorriza no solo tiene importancia en la alimentación de la planta, sino va más allá de la absorción haciendo mayores contribuciones en su aptitud de adaptación a diferentes condiciones edáficas y como requisito para completar el ciclo de vida de las plantas (Read, 1997), sino también en la formación y mantenimiento de la estructura del suelo, crucial para la infiltración de agua, procesos de reciclaje de nutrientes y resistencia contra la erosión del suelo (Read, 1998). Las figuras 1 y 2 muestran las ectomicorrizas (EM) de una plántula de pino y una planta de encino respectivamente, donde se ilustra la razón de los enunciados anteriores.

INTRODUCTION

In spite of the great failure of the Copenhagen Summit to stop the increment of greenhouse -gas emissions to the atmosphere, the unanimous agreement to start the efforts to reduce those which come from deforestation and degradation of forests as soon as possible, stands out.

The forest areas of Mexico are the central axis of the institutional design that the country must face to confront their obligations about climate change. Thus, the Special Program of Climatic Change 2009- 2012 submitted by Mexico at Copenhague estimates that 30% of the Mexico's CO₂ reduction emissions could be accomplished with the prevention of deforestation, woodland degradation and the recovery of forest areas. Unfortunately, the first stage of the Program (2008 to 2012) only takes in account an "evaluation of the vulnerability of the country by sectors and regions, as well as the economic valuation of the priority measures" (SEMARNAT, 2009).

The microbial biomass (C) in plant rhizosphere is up to 10 times higher than that of the soil, and microorganisms transform the organic matter into humus, that is the most stable C. Moreover, the root's biomass (C) is greater when symbiotic microorganisms are present (ectomycorrhizal and arbuscular-mycorrhizal fungi, nitrogen-fixing bacteria) which, in addition of providing them nutrients and water, have non-nutritious impacts upon plants, as the ability to exclude toxic ions, influence over photosynthesis and hydraulic activity of the plant, pathogens control (as a basis to increase suitability). Mycorrhiza is not only important in feeding the plant, but it is beyond absorption, because it makes greater contributions in its aptitude to adapt to different edaphic conditions and as a requirement to complete the life cycle of the phytobionts (Read, 1997); likewise, it takes part in the formation and maintenance of soil structure, which is crucial for water infiltration, in the nutrient recycling process and in the resistance against the soil erosion (Read, 1998). Figures 1 and 2 show pine and oak ectomycorrhizae (EM) respectively, where the last statements are illustrated.

The operation and stability of the terrestrial ecosystems are determined by plant biodiversity and species composition (Van der Heijden *et al.*, 1998), and it has been proved that the symbiotic fungi of the plant root are a major factor to maintain the biodiversity and the ecosystem function (Tilman and Downing, 1994; Klironomos *et al.*, 2000).

Global changes do not occur in isolation and they are multifactorial (Vitousek, 1994). Climatic change includes the complete gamut of natural process accelerated by anthropogenic activities in the environment of the planet.



Foto de A. López Reyes
Photo: A. López Reyes.

Figura 1. Plántula de *Pinus* inoculada con el hongo ectomicorrízico *Suillus bovinus* (L.: Fr.) Kuntze creciendo en una cámara de observación con suelo de bosque no estéril. La relación de la longitud del micelio absorbente de una EM con la de la raíz es de $1:10^4$ (D. J. Read, 1991).

Figure 1. *Pinus* seedling inoculated with *Suillus bovinus* (L.: Fr.) Kuntze ectomycorrhizal fungi growing in an observation chamber with non-sterile forest soil. The relation of length of the absorbent mycelium of an EM with that of the root is of $1:10^4$ (D. J. Read, 1991).

El funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas terrestres están determinados por la biodiversidad de las plantas y la composición de las especies (Van der Heijden *et al.*, 1998) y se ha demostrado que los hongos simbiotes de la raíz de las plantas son un factor principal para mantener la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Tilman and Downing, 1994; Klironomos *et al.*, 2000).

Los cambios globales no ocurren aislados y son multifactoriales (Vitousek, 1994). El cambio climático incluye una gama completa de procesos naturales acelerados por actividades antropogénicas en el ambiente del planeta.

Los cambios por actividades humanas que más afectan la simbiosis de los árboles son el elevado CO_2 y O_3 atmosféricos, el ciclo del nitrógeno (exceso), la temperatura y la precipitación



Figura 2. EM de una planta de encino creciendo en vivero forestal sin esterilizar.

Figure 2. EM of an oak plant growing in a nursery with non-sterile forest soil.

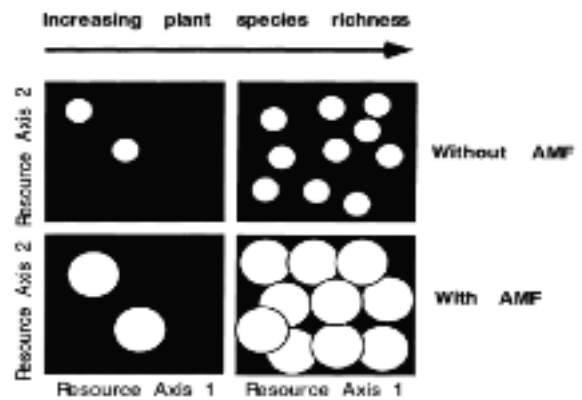
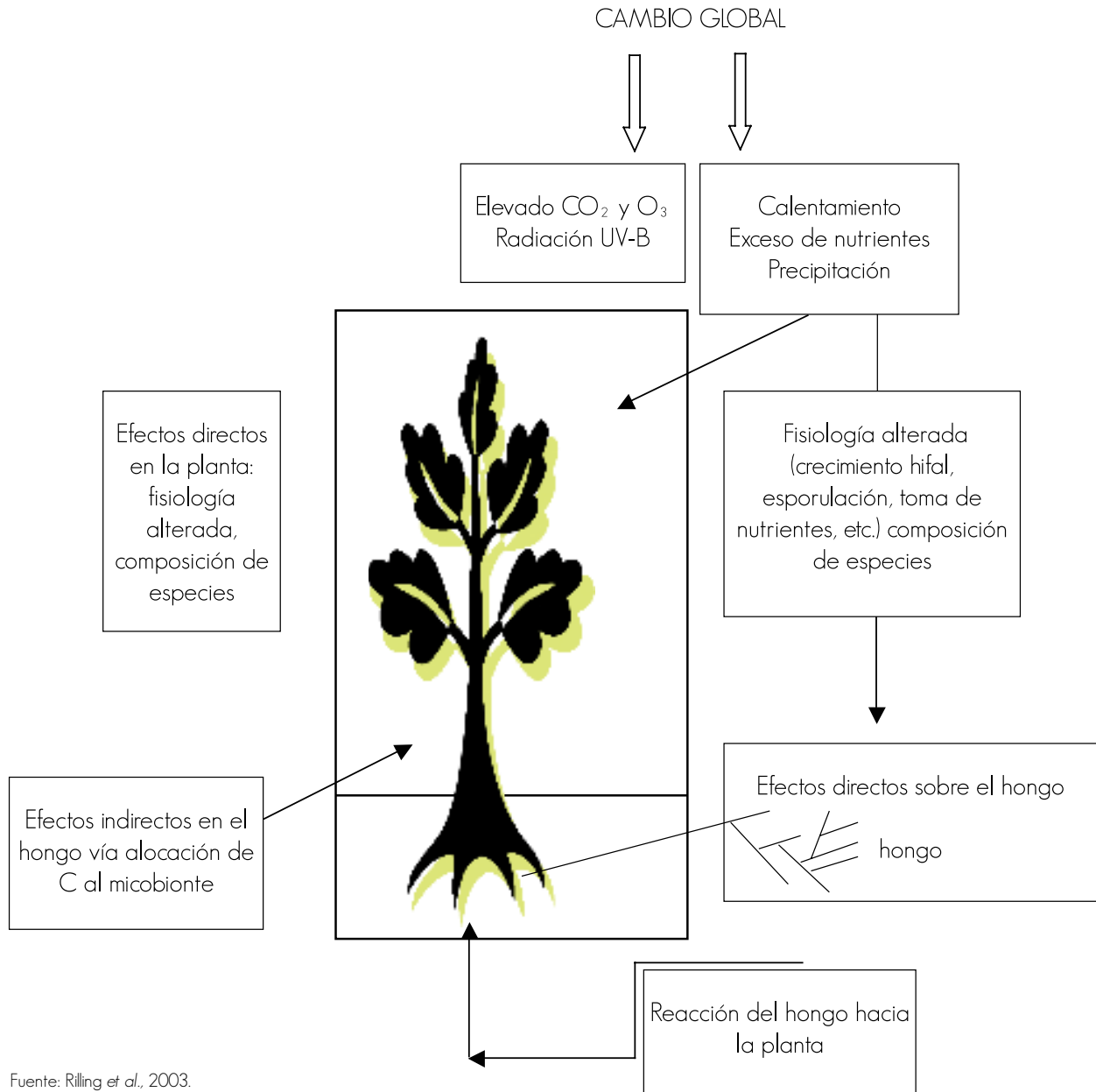


Figura 3. Modelo conceptual que representa un hábitat en el que dos recursos del suelo (ejes 1 y 2) limitan la abundancia de las especies vegetales. Los recursos representan el intervalo en el cual cada planta puede explotar los mismos. Los hongos micorrízicos incrementan este intervalo. El modelo predice que la biomasa de la comunidad aumentará asintóticamente con la diversidad de especies y que la asíntota podrá llegar con pocas especies de plantas en la presencia de hongos micorrízicos (Tilman and Downing, 1994; Klironomos *et al.*, 2000).

Figure 3. Conceptual model that represents a habitat in which two soil resources (axis 1 and 2) limit the abundance of plant species. Resources stand for the interval in which each plant could exploit them. Mycorrhizal fungi increase this range. The model predicts that the community biomass would increase in an asymptotic way with the species diversity and that the asymptote could reach with a few species of plants when mycorrhizal fungi are present (Tilman and Downing, 1994; Klironomos *et al.*, 2000).

alterados, las especies invasivas y la invasión de fitopatógenos (Rilling *et al.*, 2003). Los factores presentes en el cambio global interactúan entre sí y afectan la micorriza directa e indirectamente a través de la planta (Figura 4).

The modifications, by human activities that most affect tree symbiosis are the high concentrations of atmospheric CO₂ y O₃, the alterations in the nitrogen cycle (excess), temperature and precipitation, the presence of invasive species and



Fuente: Rilling *et al.*, 2003.
Source: Rilling *et al.*, 2003

Figura 4. Representación esquemática de los efectos de los factores del cambio global en la simbiosis micorrízica. Algunos factores afectan directamente solo a la planta con efectos indirectos sobre el hongo; otros, directamente al hongo. El funcionamiento alterado de la simbiosis puede tener consecuencias en el crecimiento de la planta.
Figure 4. Schematic representation of the factor effects of global change in the mycorrhizal symbiosis. Some of them directly only affect the plant, with indirect effects over the fungus; others, directly upon the fungus. The altered function of the symbiosis could have consequences in the growth of the plant.

Ozono

El O_3 troposférico es un contaminante del aire mayor que tiene efectos adversos en el crecimiento y salud de las plantas (Sandermann, 1996). El daño por ozono en las coníferas de México se ha visto en *Pinus hartwegii* Lindl. en el Ajusco, D. F. y en el Parque Desierto de los Leones (Bauer y Hernández, 1986; Bauer y Krupa, 1990). Las reducciones continuas de la capa protectora de ozono del planeta debidas a actividades humanas conducirá seguramente a incrementos en radiación ultravioleta que produce fuertes consecuencias en los organismos vivos puesto que se absorbe por moléculas como las proteínas y los ácidos nucleicos afectando así a las plantas y sus interacciones ecológicas (Caldwell *et al.*, 1989; Rousseaux *et al.*, 1998).

CO₂

La liberación de CO₂ a la atmósfera es uno de los factores del cambio climático más estudiado. Los hongos micorrízicos (microorganismos heterótrofos) que reciben su carbono de las plantas, están muy influenciados por los niveles incrementados de CO₂. Estos niveles altos han favorecido incrementos en la producción de micelio externo en algunas simbiosis entre hongos EM y ciertas especies de pinos, lo que se puede explicar por una mayor transferencia de carbono por parte de la planta al haber aumentado su fotosíntesis. Varios estudios confirman una interacción significativa micorriza-CO₂; por ejemplo, la altura de plántulas de *Quercus robur* L. no micorrizado se aumenta en un 26% cuando el CO₂ está al doble de lo normal y un 56% cuando está micorrizado por *Laccaria lacata* (Scop.) Cooke (Sigmuller y Renenberg, 1994). Las plántulas de *Pinus sylvestris* L. responden de una manera diferente en términos de biomasa radical y razón tallo-raíz según el hongo que forma su micorriza, ya sea *Suillus bovinus* (L: Fr.) O. Kuntze o *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orson (Gorissen y Kuyper, 2000).

Exceso de N

La toma de nitrógeno del suelo por las plantas se lleva a cabo por intermediación de los hongos micorrízicos, por lo que la respuesta de los mismos ha sido tema de varios artículos de revisión y estudios recientes (Vitousek *et al.*, 1997). Se sabe que la relación carbohidratos-nitrógeno afecta la formación de los cuerpos fructíferos, micelio externo y raicillas finas (sitio de formación de las micorrizas) (Wallander, 1995), por lo que si esta razón baja la formación de ectomicorriza puede bajar también. La producción de cuerpos fructíferos de los hongos ectomicorrízicos en Europa ha bajado en Europa y se supone que es debido en parte por el exceso de nitrógeno en el suelo del bosque. Se sabe desde 1983 que el hongo ectomicorrízico *Cenococcum geophilum* Fr. de distribución

phytopathogens (Rilling *et al.*, 2003). The causative factors of the global change interact between them and affect the mycorrhiza directly and indirectly, through the plant (Figure 4).

Ozone (O₃)

The tropospheric O₃ is the major air pollutant, which has adverse effects on plant growth and health (Sandermann, 1996). Damage by ozone in conifers of Mexico has been reported in *Pinus hartwegii* Lindl. in Ajusco, D. F. and Desierto de los Leones Park, D. F. (Bauer and Hernández, 1986; Bauer and Krupa, 1990). The continual reductions of the protective ozone layer of the planet due to human activities will lead, for sure, to increments of the ultraviolet b radiation that produces strong effects in the living organisms, as it is absorbed by molecules like proteins and nucleic acids, thus affecting plants and their ecologic interactions (Caldwell *et al.*, 1989; Rousseaux *et al.*, 1998).

CO₂

The release of CO₂ into the atmosphere is one of the most studied causes of climatic change. The mycorrhizal fungi (heterotrophic microorganisms) that receive carbon from plants are influenced by the elevated levels of CO₂. These CO₂ high levels have favored increment of external mycelium in symbiosis between EM fungi and some pine taxa, which could be explained by the increase of carbon transference by the plant, as a result of an intense photosynthesis. Several studies have demonstrated a significant CO₂ mycorrhizae interaction, for example, the seedlings height of *Quercus robur* L. without mycorrhizae increase 26%, with a concentration of CO₂ equivalent twice as normal, but when it is mycorrhized with *Laccaria lacata* (Scop.) Cooke, it may get up to 56% (Sigmuller and Renenberg, 1994). Seedlings of *Pinus sylvestris* L. has a different reaction, in terms of radical biomass and root - stem relation, according to the fungus that forms its mycorrhiza, either *Suillus bovinus* (L: Fr.) O. Kuntze or *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orson (Gorissen and Kuyper, 2000).

Excess of Nitrogen (N)

The intake of nitrogen from the soil by the plants is accomplished by means of the mycorrhizal fungi, which has made of their response a topic of many scientific review journals and recent research studies (Vitousek *et al.*, 1997). It is well-known that the nitrogen-carbohydrates relation affects the formation of fruiting bodies, external mycelium and fine rootlets (site of mycorrhizae formation) (Wallander, 1995); thus, if this relation lowers, the ectomycorrhiza formation could diminish as well. The production of sporocarps of the ectomycorrhizic fungi in Europe has become lower, and, supposedly, that it is partly due to the excess of nitrogen in the forest soil. It is well-known since 1983 that the ectomycorrhizic fungus *Cenococcum geophilum* Fr., of worldwide distribution and dominant in many forests, reduces

mundial y un hongo dominante en muchos bosques, disminuye la formación de micorrizas cuando a las plántulas se le adiciona NH_4SO_4 (Alexander y Farley, 1983).

Temperatura

Se ha demostrado que la ectomicorrización de plántulas de *Piloderma croceum* J. Erikss. et Hjortstam por *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. se afecta significativamente por cambios en la temperatura (Erland y Finlay, 1992). Las altas temperaturas del suelo en lugares que fueron minas influye en el establecimiento y subsecuente desarrollo tanto de las plantas como de los hongos; las especies de hongos EM *Scleroderma* spp. y *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert son excelentes colonizadores radicales bajo estas condiciones y se supone que esta capacidad está ligada a su tolerancia a las altas temperaturas (Danielson, 1985).

En este sentido las temperaturas elevadas por el fuego son un factor de disturbio importante en la comunidad de hongos EM. En un estudio de la aplicación de diferentes métodos silvícolas con un tratamiento con fuego en rodales de pino, se mostró que la abundancia fúngica fue poco afectada, pero la composición de la especies fue diferente; los cuerpos fructíferos de *Laccaria laccata*, *Lactarius chrysorrheus* Fr., *Russula emetica* (Schaeff.) Pers. y *Cenococcum geophilum* fueron abundantes en todos los rodales, lo que sugiere que estas especies son tolerantes a los disturbios (fuego) causados por estas prácticas silvícolas. Sin embargo, *L. laccata* y *L. chrysorrheus* se encontraron solo en el interior de la raíces de los pinos del rodal tratado con fuego (Valdés et al., 2009).

Precipitación alterada

En un estudio conducido con el objeto de conocer el efecto del fenómeno El Niño sobre las raicillas finas y el estado simbiótico de los pinos bajo gradientes de disturbio originados por diferentes métodos silvícolas (Árboles Padre y Árboles Padre más Fuego) para regeneración del pino en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, se mostró una reducción de las raicillas finas de los pinos (<2 μ) y de las raíces ectomicorrizadas de 60% en el año de El Niño (año seco). Las estaciones seca y húmeda no mostraron diferencia estadística significativa (Valdés et al., 2006) (Cuadro 1).

Especies vegetales invasivas

Los cambios globales en los bosques ocasionados por las actividades antropogénicas pueden conducir al establecimiento de especies invasivas que romperían el equilibrio del ecosistema.

En algunas ocasiones el disturbio ocasionado por la apertura del dosel favorece el desarrollo de arbustos actinorrhizicos

the formation of mycorrhizas when seedlings are treated with ammonium sulfate (NH_4SO_4) (Alexander and Farley, 1983).

Temperature

It has been proved that the ectomycorrhiza formation in the seedlings of *Piloderma croceum* J. Erikss. et Hjortstam with *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. is affected significantly by changes in temperature (Erland and Finlay, 1992). The high soil temperatures in places that once were mines influence upon the establishment and the subsequent development of both, plants and fungi. The EM fungi species, *Scleroderma* and *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert are excellent root colonizers under these conditions and it is assumed that this ability is linked to their tolerance to high temperatures (Danielson, 1985).

In this sense, the high temperatures from fire are a disturbance factor in the EM fungi community. In a study about the application of different forestry methods, that included fire treatment in pine stands, it was proved that the fungal abundance was little affected, but the species composition was different; sporomes of *Laccaria laccata*, *Lactarius chrysorrheus* Fr., *Russula emetica* (Schaeff.) Pers. and *Cenococcum geophilum* were abundant in all the stands, which suggests that these species are tolerant to the disturbance caused by this forestry practice. However, *L. laccata* and *L. chrysorrheus* were observed only in the roots of the pines of the stand treated with fire (Valdés et al., 2009).

Altered precipitation

In a study whose aim was to know the El Niño effect upon the fine rootlets and the symbiotic state of the pines, under disturbance gradients that were originated by the application of different forestry methods (Seed trees and Seed trees plus fire) in the oak-pine forest of Ixtlán de Juárez, Oaxaca State, México, there was a 60% declination in the fine rootlets of pines (<2 m) and the ectomycorrhized roots, in the year of the El Niño (dry year). The dry and wet seasons showed non significant statistical difference (Table 1) (Valdés et al., 2006).

Vegetal invasive species

Global changes in forests caused by anthropic activities can lead to the establishment of invasive species that would break the equilibrium of the ecosystem.

Sometimes the disturbance caused by opening of the canopy favors the development of nitrogen-fixing actinorrhizic shrubs such as *Ceanothus coeruleus* Lag. and *Cercocarpus macrophyllus* C. K. Schneid. (Valdés et al., 2003). This fact confirms the role of actinorrhizic plants as pioneers in the first vegetal succession stage, after different disturbances (Dawson, 1990).

fijadores de nitrógeno como *Ceanothus coeruleus* Lag. y *Cercocarpus macrophyllum* C. K. Schneid. (Valdes *et al.*, 2003). Este hecho confirma el papel de las plantas actinorrízicas como pioneras en las primeras etapas de la sucesión vegetal después de diferentes disturbios (Dawson, 1990).

Invasion of phytophagotogens

Another important factor when there is a disturbance that affects the health of trees is the invasion of phytophagotogens. In areas where trees have been cut as part of a forest

Cuadro 1. Biomasa de raíces totales, raíces finas y raíces ectomicorrízicas (g m^{-2}) y proporción de biomasa radical total compuesta de biomasa radical y ectomicorrízica del año seco (año 1, 1998) y año no seco (año 2, 1999).

Table 1. Total root biomass, fine roots and ectomycorrhizic roots (g m^{-2}) and the total root biomass proportion composed by radical biomass and the ectomycorrhiza of the dry year (year 1, 1998) and the non-dry (year 2, 1999).

Año	Biomasa total radical	Biomasa de raíces finas	Biomasa de la raíz ectomicorrízica	Proporción (EM/total)
1	26.1 (2.8) a	18.1 (2.4) a	8.9 (0.7) a	53.4 (4.5) NS
2	59.4 (3.2) b	38.4 (2.7) b	21.1 (0.8) b	58.0 (5.3) NS

Datos reportados como valores medios, X (\pm SE)

NS = sin diferencia estadística

^a indica diferencias estadísticas entre años ($p < 0.01$)

^b indica diferencias estadísticas entre años ($p < 0.01$)

Registered data as mean values, X (\pm SE)

NS = non statistical difference

^a Indicates statistical differences among the years ($p < 0.01$)

^b Indicates statistical differences among the years ($p < 0.01$)

Invasión de fitopatógenos

Otro factor importante cuando hay disturbio que afecta la salud de los árboles es la invasión por fitopatógenos. En áreas donde los árboles han sido cortados como parte del manejo del bosque, las plántulas de pino son afectados por el hongo fitopatógeno *Armillaria mellea* (Vahl:Fr.) Karsten, conduciéndolas con frecuencia a su muerte. Este hongo frecuentemente mata árboles estresados por sequía, por insectos, por patógenos o por condiciones ambientales desfavorables; también, bajo ciertas circunstancias, puede incluso conducir a árboles vigorosos a la muerte (USDA Forest Service, 1979). El daño causado por esta especie ocasiona una enfermedad severa sobre todo en plantaciones (Morrison, 1981). Una gran población del hongo parásito *A. mellea* fue detectada en rodales de pino con tratamiento silvícola con y sin fuego; ninguno en la parcela testigo. El número de ejemplares de este hongo fue de más del doble en la parcela tratada con fuego que en la parcela tratada sin él (Valdés *et al.*, 2004) (Cuadro 2, Figura 5).

El estudio de las respuestas al cambio climático de la simbiosis micorrízica tiene que enfrentarse a un reto adicional, pues se trata de dos tipos de organismos que viven en una asociación estrecha con una biología parcialmente independiente. Por otro lado, además de la interacción microorganismo-planta, hay que considerar la interacción de la simbiosis con el ecosistema suelo como es la modificación del pH, de la temperatura, de nutrientes y contenido de humedad.

management program, seedlings become damaged by the fungus *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) Kummer, often leading them to their death, which is more common in individuals previously stressed by drought or by unfavorable environmental conditions; under certain circumstances, it kills vigorous trees (USDA Forest Service, 1979). This fungal species produces a serious disease, especially in plantations (Morrison, 1981). A large population of the parasitic fungus *Armillaria mellea* was detected in pine stands subjected to forestry treatment with and without fire, none in the control plot. The number of *A. mellea* fruiting bodies was more than twice in the lot with fire, than in the lot without it (Table 2, Figure 5) (Valdés *et al.*, 2004).

The study of the responses to the climatic change of the mycorrhizal symbiosis has to confront an additional challenge, since in it are involved two kind of organisms that live in close association, with a partially independent biology. On the other hand, in addition to the microorganism-plant interaction it is important to consider the symbiosis interactions with the soil ecosystem, such as: the pH modification, of temperature, nutrients and moisture content.

The climatic change factors that have an effect over other soil inhabitants could, potentially impact in an indirect way the fungal mycorrhizal community composition and other root inhabitants (also beneficial): mycorrhization stimulating bacteria, the disappearance of plants that act as a reservoir of symbionts, the invasion of non- mycorrhizogenic plants, etc.

Cuadro 2. Promedio del número de colectas de cuerpos fructíferos de macromicetos registrados (1998, 1999, 2000) en las parcelas con y sin tratamiento silvícola del bosque de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Table 2. Average number collections of macromycete sporomes (1998, 1999, 2000) in plots with and without forestry treatment of a pine-oak forest at Ixtlán de Juárez, Oaxaca State.

Tratamiento	Hongos ectomicorrízicos	Hongos medicinales	Hongos tóxicos	<i>Armillaria mellea</i>
Testigo	22 (14 especies)	1	0	0
Árboles padre	27 (15 especies)	3	3	3
Árboles padre con fuego	25 (17 especies)	0	5	7

Fuente: Valdés et al., (2004)

Source: Valdés et al., 2004.

Los factores del cambio climático que tienen repercusiones sobre los otros habitantes del suelo potencialmente pueden tener efectos indirectos en la composición de la comunidad de los hongos micorrízicos como son otros habitantes de las raíces (también benéficos), bacterias estimuladoras de la micorrización, la desaparición de plantas que actúan como reservorio de los simbiontes, la invasión de plantas no micorrizógenas, etc.

Las micorrizas tienen un papel clave dada su ubicación en la interfase planta-suelo y debido a su influencia en la fisiología de la planta y en las comunidades vegetales deben tomarse en cuenta en los estudios del impacto del cambio climático sobre los ecosistemas. En el manejo de las prácticas forestales se deberían considerar los efectos del cambio climático, por ejemplo, en la reducción de las especies de pino para mantener suficientes niveles de ectomicorriza que puedan conducir a una mejor salud y resiliencia de los bosques y de esta manera disminuir su vulnerabilidad al estrés producido por las actividades antropogénicas. 🍄

REFERENCIAS

Alexander, I. J. and R. I. Fairley. 1983. Effect of N fertilization on fine roots and mycorrhizas in spruce humus. *Plant Soil* 71:49-53.

Bauer, L. I. de y T. Hernández T. 1986. Contaminación: una amenaza para la vegetación en México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 78 p.

Bauer, L. I. de and S. V. Krupa. 1990. The Valley of Mexico: Summary of observation studies on its air quality. *Environ. Pollut.* 65: 100-118.

Coldwell, M. M., A. H. Teramura and M. Tevini. 1989. The changing solar ultraviolet climate and the ecological consequences for higher plants. *Trends Ecol. Evol.* 4:363-367.

Danielson, R. M. 1985. Mycorrhizae and reclamation of stressed terrestrial environments. In: L. T. Robert and D. A. Klein (Eds.). *Soil reclamation processes*. Decker, New York, NY, USA. pp 173-201.

Dawson, J.O. 1990. Interactions among actinorrhizal and associated plant species. In Schwintzer, C.R. and J.D. Tjepkema (Eds.). *The biology of Frankia and actinorrhizal plants*. Academic Press. San Diego, CA USA. pp 299-316.



Figura 5. Agrupaciones de *Armillaria mellea* creciendo sobre un tocón y acercamiento a los cuerpos fructíferos en el bosque de pino-encino bajo tratamiento silvícola Árboles Padre+Quema de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Figure 5. Groups of *Armillaria mellea* growing on a stump and close-up to the sporomes in a pine-oak forest under the Seed Tree and Fire Treatment at Ixtlán de Juárez, Oaxaca State.

Mycorrhizae play an important role, given the location in the soil-plant interface and from their influence in the plant physiology and in the plant communities, they must be taken into account in studies of climatic change impact on ecosystems. In the management of forestry practices climatic change effects should be considered, for example, in the pine species reduction to keep enough mycorrhizic levels that could lead to a better health and to forest resilience and, so, to lower their vulnerability to the stress caused by anthropic activities. 🍄

End of the English version

- Erland, S. and R. D. Finlay. 1992. Effects of temperature and incubation time on the ability of three ecto-mycorrhizal fungi to colonize *Pinus silvestris* roots. *Mycol. Res.* 96:270-272.
- Gorissen, A. and T. W. Kuyper. 2000. Fungal species-specific responses to ectomycorrhizal Scots pine (*Pinus silvestris*) to elevated [CO₂]. *New Phytol.* 146:163-168.
- Klironomos, J. N., J. McCune, M. Hart and J. Neville. 2000. The influence of arbuscular micorrizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters* 3: 137-141.
- Morrison, D. J. 1981. *Armillaria Root Disease: A guide to disease diagnosis development and management in British Columbia*, Victoria, BC, Canada. 15p.
- Read, D. J. 1991. The role of the mycorrhizal symbiosis in the nutrition of plant communities. *In: Ecophysiology of ectomycorrhizas of forest trees*. Symposium Proc. Marcus Wallenberg Foundation. Stockholm, Sweden. pp. 27-53.
- Read, D. J. 1997. The ties that bind. *Nature* 388:517-518.
- Read, D. J. 1998. Mycorrhiza-the State of the Art. *In: A. Varma and B. Hock (Eds.). Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. NY. USA. pp. 3-34.
- Rilling, M. C., K. K. Treseder, M. F. Allen. 2003. Global change and mycorrhizal fungi. *In: M.G.A. Van der Heijden and I. Sanders (Eds.). Mycorrhizal Ecology*. Springer-Verlag, Heidelberg. pp. 135-160.
- Rousseaux, M. C., C. L. Ballare, A. L. Scopel, P. S. Searles, M. M. Caldwell. 1998. Sola ultraviolet B radiation affects plant insect interactions in a natural ecosystem of Tierra del Fuego (Southern Argentina). *Oecologia* 116:528-535.
- Sandermann, H. 1996. Ozone and plant health. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34:347-366.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. 2009. PECC. Dirección General de Políticas de Cambio Climático
- Tilman, D. and J. A. Downing. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367:363-365.
- United States Department of Agriculture Forest Service. 1979. *A guide to common insects and diseases of forest trees in Northeastern United States*. Broomall, PA. USA. 127 p.
- Valdés, M., J. Córdova, R. Valenzuela and A. M. Fierros. 2003. Understorey vegetation and ectomycorrhizal sporocarp diversity response to pine regeneration methods in Oaxaca, Mexico. *Western Journal of Applied Forestry.* 18(2): 101-108.
- Valdés, M., J. Córdova, R. Valenzuela, A. M. Fierros. 2004. Incremento del fitopatógeno *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) Karsten en bosque de pino-encino, en relación al grado de disturbio por tratamiento silvícola. *Rev. Chapingo Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 10: 99-103.
- Valdés, M., H. Asbjornsen, M. Gómez-Cárdenas, M. Juárez and K. Vogt. 2006. Drought effect on fine-root and ectomycorrhizal-root biomass in managed *Pinus oaxacana* Mirov stands in Oaxaca, Mexico. *Mycorrhiza* 16: 117-124.
- Valdés, M., V. Pereda, P. Ramírez, R. Valenzuela and R. M. Pineda. 2009. The ectomycorrhizal community in a *Pinus oaxacana* forest under different silvicultural treatment. *Journal of Trop. For. Sci.* 21:88-97.
- Van der Heijden, M. G. A., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiermken and I. R. Sanders. 1998. Mycorrhizal fungi diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396:69-72.
- Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming. *Ecology and global change.* *Ecology* 75:1851-1876.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Shindler, W. H. Schlesinger and D. G. Timan. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl.* 7:737-759.
- Wallander, H. 1995. A new hypothesis to explain allocation of dry matter between mycorrhizal fungi and pine seedlings in relation to nutrient supply. *Plant Soil* 169:243-248.



Javier Nava Vega (2007). San Nicolas Totolapan, Delegación Magdalena Contreras, D.F.