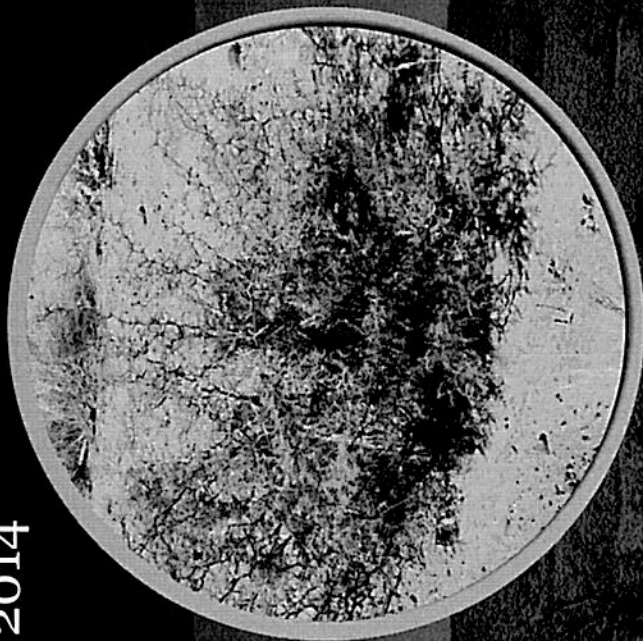


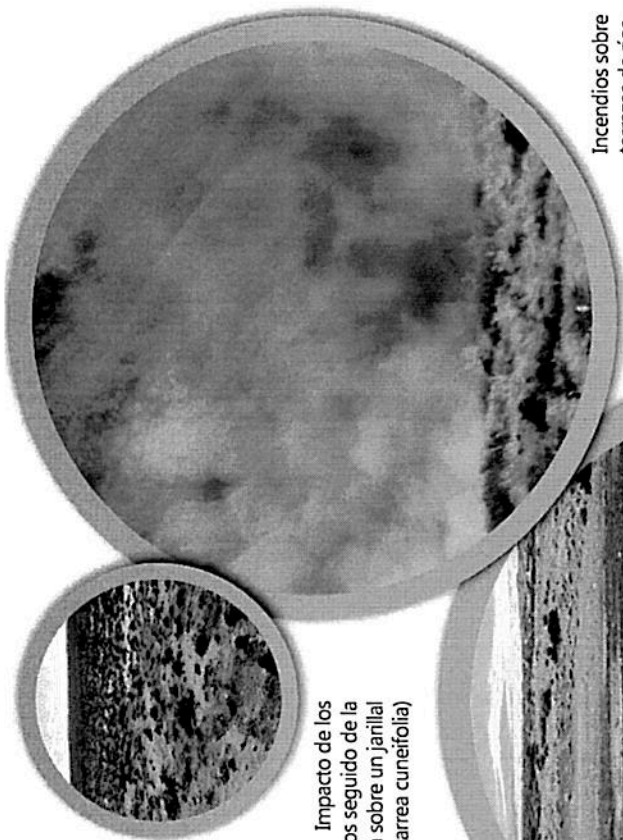
ISSN 1853-905X

EXPERIMENTIA

4 Revista de
Transferencia Científica
2014



4 - 2014

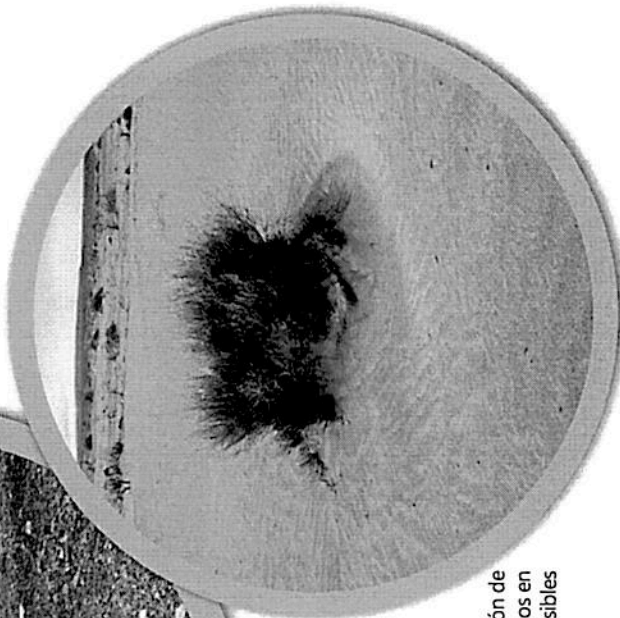


Impacto de los incendios seguidos de la sequía sobre un jarriñal (Larrea cuneifolia)

Incendios sobre terrazas de ríos



Compactación y contaminación de suelos.



Formación de médanos en áreas sensibles

IADIZA



CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

Aspectos ecológicos, microbiológicos y fisiológicos de la restauración de ambientes degradados de zonas áridas.

Aportes de investigaciones de Argentina, Chile, Venezuela y México

Financiado por
los Proyectos de
Fortalecimiento de Redes
Universitarias VI (Res. 426/13)
de la Secretaría de Políticas
Universitarias del Ministerio de
Educación de la Nación, y la Empresa
Total y la Unidad de Gestión Ambiental
Payunia (UGAP) - Fundación CRICYT.

Instituciones participantes



Universidad Nacional del Comahue
Neuquén - Argentina



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Venezuela



Universidad
de la Frontera
Chile



Universidad Nacional
Autónoma de México
México

 **Universidad Maimónides**

Departamento de Ecología y
Ciencias Ambientales
CEBBAD

Buenos Aires - Argentina

IADIZA

CONICET
U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

Instituto Argentino de Investigación
de Zonas Áridas (CONICET)
Mendoza - Argentina

Efecto de las micorrizas arbusculares sobre las limitaciones estomáticas y no-estomáticas de la fotosíntesis de *Piscidia carthagenensis* creciendo en un suelo degradado de un matorral xerofítico tropical

Tezara Wilmer^{12*}, Carolina Kalinhoff¹², Oranys Marín¹³ y Alicia Cáceres¹².

El aumento de la extracción de arena ha perturbado grandes extensiones de bosques secos y matorrales xerofíticos en la Península de Macanao (Isla de Margarita, Venezuela), alterando radicalmente el suelo y la vegetación, lo que ha causado limitaciones en el proceso de sucesión y un alto riesgo de pérdida de la diversidad vegetal. El manejo de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) podría ser una estrategia favorable para garantizar el establecimiento de árboles en las zonas perturbadas. Se discutirá el efecto de la inoculación con HMA provenientes de suelos de tres localidades sucesionales: 2 años (D), 20 años (V) transcurridos desde la explotación de arena, y de un matorral xerofítico (M), utilizando como control plantas que crecieron en suelo no inoculado (NI) sobre la capacidad fotosintética en condiciones naturales de una especie arbórea (*Piscidia carthagenensis*) al evaluar *in vivo* la limitación estomática relativa (L_s) y la limitación no-estomática relativas (L_{ns}) de la fotosíntesis (A), a través de las curvas A versus la concentración intercelular de CO_2 (C_i) y parámetros de fluorescencia. La inoculación tuvo un efecto significativo en la capacidad fotosintética observándose los mejores resultados en el tratamiento con HMA provenientes del matorral. Las disminuciones observadas en la tasa de fotosíntesis a CO_2 saturante (A_{CO_2sat}), eficiencia de carboxilación (EC), actividad fotoquímica (F_v/F_m) y aumento en L_{ns} sugieren que la capacidad bioquímica se vio más afectada durante la sequía que las limitaciones difusivas.

Los bosques secos tropicales representan más del 40% de los bosques tropicales del mundo y en comparación con los bosques húmedos están sujetos a constantes perturbaciones antrópicas (Murphy y Lugo, 1986). La intervención antrópica de gran impacto,

12 Instituto de Biología Experimental, Centro de Botánica Tropical, Universidad Central de Venezuela. Apartado 48312, Caracas 1041A, Venezuela

13 Departamento de Biología de Organismos, Universidad Simón Bolívar. Apartado 89000, Caracas 1080^a, Venezuela.

* E-mail: wilmer.tezara@ciens.ucv.ve

como la minería, la marcada estacionalidad de la precipitación, mayor acumulación de sales y mayor riesgo de erosión, hacen de estos ecosistemas los más amenazados y en mayor riesgo de pérdida de biodiversidad por desertificación (Rao y Tak, 2002). La explotación de minas de arena se lleva a cabo desde hace 37 años en la península de Macanao, eliminando la matriz suelo-vegetación en las áreas afectadas, dando lugar al establecimiento de un mosaico sucesional que comprende desde herbazales y pastizales ralos hasta comunidades leñosas (Sanz, 2004).

Entre las múltiples causas que limitan el establecimiento de las plantas después de una perturbación, la eliminación de propágulos de HMA se encuentra entre las más importantes (Allen et al., 2005). Las micorrizas arbusculares (MA) representan la asociación micorrízica más antigua que se establece entre las raíces de las plantas vasculares terrestres y hongos del suelo del phylum *Glomeromycota* (Shüssler et al., 2001). Esta simbiosis incrementa la capacidad de sus hospederos de sobrevivir y desarrollarse exitosamente bajo condiciones abióticas estresantes (Sylvia y Williams, 1992), ya que aumenta la absorción de fósforo (P) y otros nutrientes de baja movilidad en el suelo (Jakobsen et al., 1992), mejora la actividad de fijación biológica de nitrógeno por parte de *Rhizobium* (Barea y Azcón-Aguilar, 1983) e incrementa la resistencia a la sequía de sus hospederos (Augé, 2001).

Las plantas micorrizadas generalmente muestran mayor tasa fotosintética (A) conductancia estomática (g_s), tasas de transpiración (E) y alta eficiencia de uso de agua (EUA) respecto a las plantas no inoculadas en un amplia gama de condiciones hídricas (Augé, 2001; Caravaca et al., 2003; Augé et al., 2004). Estas respuestas pueden ser consideradas como mejoras en los atributos fisiológicos relacionados con la calidad de la planta para la restauración (Villar-Salvador, 2003).

Es esencial entender cómo los HMA nativos mejoran las condiciones de árboles capaces de desarrollarse en zonas intensamente alteradas como el bosque seco de la Península de Macanao, el objetivo de este estudio fue evaluar *in vivo* las limitaciones estomática relativa (L_s) y limitación no-estomáticas relativa (L_{ns}) de la fotosíntesis, a través de las curvas A/C_i y parámetros de fluorescencia con la finalidad de conocer el efecto de la inoculación con HMA sobre la capacidad fotosintética en *Piscidia carthagenensis* en la península de Macanao.

Las plántulas de *P. carthagenensis* fueron sembradas en bolsas de 800 g de capacidad y tratadas con inóculos provenientes de suelos de tres localidades sucesionales: de 2 años (D), 20 años (V) transcurridos desde la explotación de arena, y de un de matorral xerofítico (M), utilizando como control plantas que crecieron en suelo no inoculado con

un potencial micorrízico infectivo muy bajo (NI). Luego estas plantas fueron sembradas en condiciones naturales en la Arenera "La Chica", ubicada en la Península de Macanao, al oeste de la Isla de Margarita, Venezuela.

Las tasas A, E, g_s, C_i y EUA, fueron medidas en hojas completamente expandidas, utilizando un analizador infrarrojo de gases portátil modelo CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, RU).

Las curvas A/C_i se realizaron por cuadruplicado en cada tratamiento a una DFF de 1200 mmol m⁻² s⁻¹ y 21% de O₂, con un CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, R.U.) incrementando progresivamente la concentración de CO₂ ambiental (C_a) desde 0 hasta 1400 mmol mol⁻¹. A cada C_a se esperó a que la fotosíntesis se estabilizara antes de registrar el valor. Se calculó L_s según Farquhar y Sharkey (1982) y la L_{ns} según Jacob y Lawlor (1991). Las curvas A/C_i se ajustaron con un ecuación empírica $A = b + d e^{K C_i}$. La pendiente de la porción lineal de la curva ($K \times d$) representa la eficiencia de carboxilación (EC).

La fluorescencia de la clorofila *a* se midió en hojas intactas adaptadas a la oscuridad de cinco individuos de cada tratamiento (n = 5) con un fluorímetro PAM 2100 (Walz, Effeltrich, Alemania). La máxima eficiencia cuántica (F_v/F_m) fue medida *in situ* a la mínima intensidad lumínica antes del amanecer.

Los resultados son presentados como la media (error estándar). Se utilizó el paquete estadístico Statistica 5.5 para realizar el análisis de varianza (ANOVA, con un nivel de significancia de p<0,05).

Se observó una reducción del 67 y 57 % de A y g_s respectivamente en plantas no inoculadas (NI) en comparación con las plantas inoculadas con HMA del matorral (M). La EUA instantánea fue mayor en los tratamientos inoculados con HMA (5 mmol CO₂ mol H₂O⁻¹); indicando que la inoculación estimuló significativamente la tasa fotosintética de *P. carthagenensis* en condiciones de campo; similares resultados han sido reportados para otras especies (Caravaca et al., 2003; Augé et al., 2004).

Cuando las plantas poseen un mecanismo alterno (como el de los HMA) que les permite captar más P y/o nitrógeno (N), tienen la capacidad de producir mayor cantidad de Rubisco lo que favorece una captación más eficiente de CO₂ (Amaya-Carpio et al., 2009). Además, la g_s podría estar regulada por la actividad de la simbiosis, ya que esta incrementa en las plantas micorrizadas. Este efecto puede ser debido a que las plantas inoculadas estimulan la apertura estomática y maximizan la asimilación de CO₂, lo cual podría ser necesario para incorporar el carbono extra para cubrir los costos energéticos del mantenimiento la simbiosis MA.

Se observó un efecto significativo de los HMA sobre la máxima capacidad fotosintética (es decir a $[\text{CO}_2]$ saturante, $A_{\text{CO}_2\text{sat}}$), observándose los mayores valores en el tratamiento M ($39 \pm 5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y V ($36 \pm 2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en el periodo lluvioso; de igual forma, los HMA afectaron la EC, la EC estuvo comprendida entre $0.145 \pm 0.02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en D y $0.312 \pm 0.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en M, respectivamente; estos resultados podrían ser consecuencia de un mayor contenido de P y N foliar de plantas inoculadas con HMA tal y como fue reportado previamente por Kalinhoff (2012).

En el periodo de sequía se encontró una reducción del 40 % en M, V y del 26 % en D y NI en $A_{\text{CO}_2\text{sat}}$; mientras que la disminución de EC fue del 60 % en M, V y del 18 % en D y NI, sugiriendo que la capacidad fotosintética máxima (potencial) asociada a la capacidad de regeneración de RuBP y la cantidad y/o actividad de Rubisco fueron afectadas por la disponibilidad hídrica.

No se observó un efecto significativo de los HMA sobre la L_s , la cual fue aproximadamente 25 % en lluvia en los tratamientos M, V y NI; sin embargo la L_s en D fue del 45 %, indicándonos que en el tratamiento D la A fue un 45 % menor que la tasa de A que ocurriría si la g_s fuese infinita. La sequía causó una reducción de la L_s del 68 % en V, D y NI o mantenimiento de la L_s (M), pero produjo un incremento en promedio del 45 % de L_{ns} de la A indicándonos, que en sequía las limitaciones metabólicas y/o bioquímicas afectan y regulan A en un mayor grado que las limitaciones difusivas.

La eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) no fue afectada significativamente por la inoculación (0,81-0,83), sin embargo la sequía causó una reducción de F_v/F_m en los tratamientos M (0,78), D y NI (0,79), respectivamente. La fluorescencia de la clorofila *a* es usada para determinar la F_v/F_m y el estado de la energía distribuida en la membrana del tilacoide. Bajo condiciones de sequía las plantas podrían disminuir su F_v/F_m indicando la posible existencia de fotoinhibición de las plantas sometidas a estrés, lo cual se traduciría en una disminución de A, tal como fue reportado en dos especies de xerófitas (Tezara et al., 2005). Se ha reportado que las MA incrementan la eficiencia cuántica del PSII, disparando un mecanismo que regula la distribución de la energía hacia trabajo fotoquímico (q_p) y no fotoquímico (NPQ) (Min Sheng et al., 2007), esto es un indicativo de que las micorrizas mejoran la capacidad fotosintética de las plantas, elevando su capacidad de intercambio gaseoso y la eficiencia del fotosistema II.

Los efectos fisiológicos observados en las plantas de *Piscidia carthagenensis* en respuesta a la colonización por MA, no se pueden atribuir sólo al incremento en la absorción de agua y minerales. La inoculación con HMA tuvo un efecto significativo en la capacidad fotosintética. Disminuciones en $A_{\text{CO}_2\text{sat}}$, EC, F_v/F_m y aumentos en L_{ns} sugieren que la capa-

cidad bioquímica se vio más afectada que las limitaciones difusivas durante la sequía. La F_v/F_m disminuyó de 0,83 a 0,79 con la sequía. La fluorescencia de la clorofila *a*, conjuntamente con el intercambio gaseoso, podrían ser criterios importantes para seleccionar HMA eficientes en mejorar los atributos fisiológicos de árboles para la restauración de áreas muy perturbadas.

Agradecimientos

CDCH proyecto PI 03-7458-2009, Coordinación de Investigación, Postgrado de Facultad de Ciencias, UCV y FONACIT.

Bibliografía

- Allen, M., E. Allen y A. Gómez-Pompa, 2005. Effects of mycorrhizae and nontarget organisms on restoration of a seasonal tropical forest in Quintana Roo, Mexico: Factors limiting tree establishment. *Restoration Ecology* 13: 325-333.
- Amaya-Carpio, L., F. Davies, T. Fox y C. He, 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic fertilizer influence photosynthesis, root phosphatase activity, nutrition, and growth of *Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*. *Photosynthetica*, 47: 1-10.
- Augé, R., J. Moore, D. Sylvia y K. Cho, 2004. Mycorrhizal promotion of host stomatal conductance in relation to irradiance and temperature. *Mycorrhiza*, 14: 85-92.
- Augé, R., 2001. Water relations, drought and VA mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11:3-42.
- Barea, J. M. y C. Azcón-Aguilar, 1983. Mycorrhizas and their significance in nodulating, nitrógeno fixing plants. *Advances in Agronomy* 36: 1-54.
- Caravaca, F., E. Díaz, J. M. Barea, C. Azcón-Aguilar y A. Roldan. 2003. Photosynthetic and transpiration rates of *Olea europea* subsp. *Sylvestris* and *Rhamnus lycioides* as affected by water deficit and mycorrhiza. *Biologia Platarum* 46: 637-639.
- Farquhar, G. D. y T. D. Sharkey, 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review Plant Physiology* 33: 317-345.
- Jacob, J. y D. W. Lawlor. 1991. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. *Journal of Experimental Botany* 42: 1003-1011.
- Jakobsen, I., L. Abbott y A. Robson, 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. I. Spread of hyphae. *New Phytologist* 120: 371-380.
- Kalinhoff, C., 2012. Influencia de las micorrizas arbusculares en el crecimiento y respuesta a la sequía de *Piscidia carthagenensis* Jacq.: implicaciones en la recuperación de un bosque seco de la Península de Macanao, Isla de Margarita. Tesis Doctoral, del Posgrado de Botánica de la Facultad de Ciencias UCV. 193 pp.
- Murphy, P. y A. Lugo, 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review. Ecology Systematic* 17: 67-88.
- Min Sheng, L., Z. Feng y K. Cao, 2007. The protection against photodamage in *Amomum villosum* Lour. *Acta Phytophysiologica* 27: 483-488.

- Rao, A., y R. Tak, 2002. Growth of different tree species and their nutrient uptake in limestone mine spoil as influenced by arbuscular mycorrhizal (AM)-fungi in Indiana arid zone. *Journal of Arid Environment* 51: 113-119.
- Sanz, V., 2004. Ecología de *Amazona barbadensis* (Aves: Psittacidae): caracterización y uso del hábitat en la Península de Macanao (Isla de Margarita) a diferentes escalas espaciales y temporales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
- Schussler, A., D. Schwarzott y C. Walker, 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Tezara, W., O. Marín, E. Rengifo, D. Martínez y A. Herrera, 2005. Photosynthesis and Photoinhibition in two xerophytic species during drought. *Photosynthetica* 43 (1): 37-45.
- Sylvia, D. y S. Williams, 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and environment stresses. En: *Mycorrhiza in sustainable agriculture*. Bethlenfalvay G, R Linderman (Eds.), American Society of Agronomy special Publication N° 54. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy. Pág. 101-124.
- Villar-Salvador, P. 2003. La calidad de la planta en los procesos de revegetación. En: *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Rey J, T Espigares, J Nicolau (eds), España: Colección Aula Abierta, Universidad de Alcalá. Pág. 65-85.