



Los bioinsumos en el mundo forestal: ¿mejoran el crecimiento en vivero de plantas de algarrobo blanco?



Senillani María Gracia¹, Guzmán Analía del Valle², Gomez Adriana T.³, Santacruz García Ana C.⁴, Sagadin Mónica⁵, Ewens, Mauricio⁶

senilliani@gmail.com

Introducción

¿Qué es un bioinsumo?, es una pregunta necesaria para poder comprender que se trata de aquellos productos de origen biológico (vegetal, animal o microbiano) usados para mejorar la productividad, sanidad o tolerancia al estrés en las plantas. El uso de los bioinsumos va, cada vez más, en aumento a nivel mundial y una de sus causas podría ser el impacto negativo del uso excesivo o inadecuado de fertilizantes químicos. De hecho, es cierto que para la agricultura estos insumos forman parte de una estrategia bioeconómica al ser productos inocuos que no dejan residuos químicos, por ejemplo en los alimentos. En este contexto, el desarrollo en materia de bioinsumos es sostenido y progresivo, frecuentemente asociado con cultivos agronómicos o producción hortícola; sin embargo, su accionar es menos conocido sobre las especies forestales.

Es muy amplio el concepto de bioinsumos, pues encierra términos como biofertilizantes, bioestimulantes, entre otros. Cuando nos referimos a los biofertilizantes podemos enunciar por ejemplo a las “micorrizas”, hongos benéficos que constituyen el eslabón clave entre el suelo y las raíces vegetales facilitando una mayor absor-

ción de nutrientes a la planta, y proporcionando carbohidratos. Ahora bien, cuando nos referimos a bioestimulantes, por ejemplo, hablamos del uso de “fitoextractos vegetales” que actúan promoviendo el crecimiento y la tolerancia al estrés abiótico. En el contexto general de deterioro de los ambientes naturales se percibe la necesidad de promover una mayor adaptación de las plantas a estos ambientes degradados. Bajo esta mirada, es que nuestra experiencia de trabajo se propuso evaluar la influencia del uso de diferentes bioinsumos en la nutrición como también en la tolerancia al estrés abiótico de la planta en la fase de rustificación en vivero y en la fase de establecimiento a campo. Los objetivos específicos fueron:

Determinar la interacción entre la simbiosis de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y distintos niveles de fertilización química en el crecimiento de las plantas de algarrobo blanco. Evaluar la influencia de diferentes bioestimulantes en el fortalecimiento de la tolerancia al estrés en la fase de rustificación de plantas de algarrobo.

Palabras clave:

Bioestimulantes
Hongos micorrícicos
arbusculares
Estrés abiótico

^{1,2}Dra. Ing. Ftal. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques INSIMA- Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional de Santiago del Estero.

³MSc. Ing. Ftal. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Santiago del Estero, C.P. 4200, Argentina

⁴Dra. Lic. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET and Instituto de Ciencias Químicas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero.

⁵Dra. Ing. Agr. Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (IFRGV), Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP),

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias (INTA), Unidad de Estudios Agropecuarios (UDEA) INTA-CONICET.

⁶Ing. Agr. Estación experimental Fernández, Universidad Católica de Santiago del Estero (UCSE), Santiago del Estero, C.P. 4200 Argentina.



Metodología

Las experiencias se realizaron en la Estación Experimental "Fernández" (Convenio Universidad Católica de Santiago del Estero- provincia de Santiago del Estero), Argentina ($-27^{\circ}56'0''$ S, $65^{\circ}52,50'0''$ O). Las plántulas de algarrobo blanco (*Neltuma alba*) se produjeron mediante el sistema de producción en bandejas con tubetes en celdas individuales, en un vivero con 50% de sombra durante 45 días y bajo condiciones de luz natural los 45 días restantes. El tipo de vivero donde se realizó el estudio corresponde a un umbráculo que permite el control parcial de las variables ambientales, con sistema de riego por aspersión automatizado. La instalación de los ensayos responde a un ciclo de producción realizado durante los meses de primavera-verano, que corresponde al período adecuado para el cultivo de la especie en la provincia.

Se utilizaron contenedores tronco cónico circular de 125 cm^3 (diámetro de 40 mm y altura de 150 mm). El sustrato del contenedor se preparó con una mezcla de corteza de pino y vermiculita 1:1 (v:v) y 2 kg/m^3 de fertilizante NPK de liberación lenta.

Micorrizas y Fertilización

Las plántulas de algarrobo fueron inoculadas con una mezcla de especies de hongos micorrícicos arbusculares nativos de dos sitios diferentes de la región Chaqueña. Los inóculos empleados fueron seleccionados de rodales de *N. alba* asociados a regímenes pluviométricos contrastantes: M1 con 650 mm de precipitación anual en el Dominio del Chaco Occidental

y M2 con 1300 mm de precipitación anual en el Dominio del Chaco Oriental (Sagadin et al., 2018; Cabrera, 1971), y se compararon con un grupo de control sin inoculación (M0). La inoculación se hizo al momento de la siembra, con la aplicación de 20g de inóculo por cada semilla sembrada.

Los niveles de fertilización química aplicados según concentración fueron: F0%, F30%, F60% y F100%, variando desde ninguna aplicación de fertilizante a la máxima concentración. El fertilizante foliar utilizado fue YOGUEN N° 3 (NPK 25-14-8) en una proporción de 5g/L, el cual se aplicó por aspersión una vez por semana durante las primeras horas del día. El efecto de los diferentes tratamientos aplicados fue evaluado a partir de un diseño completamente al azar, con tres repeticiones; y se determinó como unidad muestral la bandeja con 54 plántulas. Para analizar la respuesta de las plantas a la micorrización se midieron variables morfológicas (diámetro, altura, peso de follaje y raíces) y variables bioquímicas (concentración de clorofilas y carotenoides).

Bioestimulantes

Este ensayo se realizó en 2 fases, en la primera, las aplicaciones se realizaron en la etapa de mayor estrés durante la rustificación en vivero. Para este experimento se monitorearon 150 plántulas. El ensayo fue realizado en un diseño de bloques completos al azar con un total de 6 tratamientos. Estos tratamientos contenían 5 unidades experimentales (réplicas) cada 5 plantas, dando un total de 25 plantas por tra-

Plantas de *N. alba* con aplicación de fitoextracto de *L. divaricata* al 3%, dentro del umbráculo



Plantas de *N. alba* con aplicación de fitoextracto de *L. divaricata* al 3% en área de rustificación.

tamiento. El material vegetal utilizado para preparar los extractos provenía de hojas de jarilla (*Larrea divaricata*), quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*), aloe (*Aloe vera*) y yerba mate (*Ilex paraguariensis*).

A estos 4 extractos, se sumaron 2 tratamientos testigos, plántulas de control que crecieron bajo umbráculo todo el ciclo de producción rociado solo con agua, y plántulas de control que fueron expuestas al área de aclimatación rociadas solo con agua. Las tres primeras especies vegetales usadas fueron colectadas en Santiago del Estero, Argentina (28°03' S, 64°15' E). La yerba mate se obtuvo comercialmente del mercado local. Para la preparación de extractos se siguió la metodología descrita por Santacruz-García et al. (2022). Los extractos usados fueron diluidos en agua para su aplicación en forma de lluvia sobre las hojas.

Los efectos de los bioestimulantes en las plantas se analizaron midiendo descriptores morfológicos (diámetro, altura) y un biomarcador de estrés (MDA). Considerando que las plántulas exhiben una acumulación considerable de este biomarcador de estrés a los 21 días de la fase de rustificación, se sugirió que la aplicación foliar de bioestimulantes para la producción de algarrobo blanco sea realizada antes de esa fecha, ya que dichas plantas posterior a los 21 días estarían ante condiciones de estrés oxidativo que podría causar daño a diferentes procesos fisiológicos (Santacruz-García et al., 2022). Para la segunda fase del ensayo, en la selección del tratamiento se consideraron los resultados

obtenidos en la etapa anterior; se estudiaron 576 plantas. El experimento se realizó mediante un diseño al azar con 8 tratamientos y 72 plantas por tratamiento. Los bioestimulantes con mejores resultados en la primera fase fueron los que provenían de los extractos vegetales de yerba mate y jarilla. Estos fueron seleccionados y se evaluó su efecto dependiente de la dosis. Los tratamientos consistieron en:

1. (CN) plántulas de control en un vivero rociado con solo agua,
2. (CA) plántulas de control en un área de aclimatación rociada con solo agua,
3. (LD a 1%) plántulas asperjadas con jarilla (1 % p/v),
4. (LD a 2%) plántulas asperjadas con jarilla (2 % p/v),
5. (LD a 3 %) plántulas asperjadas con jarilla (3 % p/v),
6. (IPa1 %) plántulas asperjadas con yerba mate (1 % p/v),
7. (IPa2 %) plántulas asperjada con yerba mate (2 % p/v),
8. (IPa3%) plántulas asperjada con yerba mate (3 % p/v).

Se hicieron mediciones 21 días después del inicio de la etapa de aclimatación.

| | | Tratamientos | | | | | |
|-------------------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | CN | CA | LDa | AVa | IPa | SLa |
| Parámetros morfológicos | Díametro *** | 2.57± 0.07abc | 2.61± 0.07ab | 2.55± 0.07abc | 2.56± 0.07abc | 2.39± 0.07c | 2.20± 0.07d |
| | Altura ** | 30.04 ±0.91ab | 22.17 ±0.91d | 22.08 ±0.91d | 21.60 ±0.91d | 22.29 ±0.91d | 23.73 ±0.91d |
| Parámetros bioquímicos | MDA ** | 22.31 ± 0.85 d | 41.34 ± 4.52 b | 33.12 ± 2.26 cd | 60.81 ± 39.44 a | 37.44 ± 1.55 bc | 49.95 ± 7.03 ab |

Tabla 1: Parámetros morfológicos y bioquímicos en función de los tratamientos

| | | Tratamientos | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | CN | CA | LDa1% | LDa2% | LDa3% | IPa1% | IPa2% | IPa3% |
| P. fisiológicos | Parámetros bioquímicos | | | | | | | | |
| | clorofilas ** | 599.10 ± 38.34 a | 419.17 ± 116.61 bc | 381.66 ± 39.40 bc | 436.21 ± 40.74 bc | 445.24 ± 30.82 b | 536.42 ± 48.14 bc | 347.18 ± 31.87 c | 365.67 ± 29.52 bc |
| | MDA *** | 12.68 ± 0.55 d | 18.74 ± 0.25 a | 15.31 ± 0.33 bc | 14.86 ± 2.44 bc | 16.45 ± 0.95 b | 15.71 ± 0.80 bc | 14.40 ± 0.68 cd | 18.59 ± 0.76 a |
| | LA** | 2078.23 ± 477.29 ab | 1975.74 ± 222.46ab | 1692.24 ± 353.93 bc | 2126.77 ± 798.68 ab | 2430.05 ± 483.59 a | 1340.76 ± 154.57 c | 1999.06 ± 191.53 ab | 1578.44 ± 435.07 bc |
| Parámetros morfológicos | PSA** | 1.45±0.19a | 1.48±0.19a | 1.43±0.19ab | 1.30±0.19b | 1.85±0.19a | 1.60±0.19a | 1.10±0.19b | 1.42±0.19a |
| | PSR** | 0.65±0.08a | 0.42±0.08c | 0.58±0.08abc | 0.53±0.08abc | 0.72±0.08a | 0.48±0.08bc | 0.62±0.08ab | 0.48±0.08bc |
| | Díametro*** | 3.34±0.08bc | 3.14±0.08c | 3.05±0.08d | 3.12±0.08cd | 3.31±0.08bc | 3.50±0.08b | 3.49±0.08b | 3.90±0.08a |
| | PST** | 2.10±0.23a | 1.90±0.23b | 2.02±0.23ab | 1.83±0.23b | 2.57±0.23a | 2.08±0.23a | 1.72±0.23b | 1.90±0.23b |

Resultados preliminares

Micorrizas y Fertilización

Se obtuvo una respuesta positiva a la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares con el inóculo proveniente del Dominio del Chaco Occidental, (M1) en combinación con una concentración del 60% de fertilización química. ¿Qué significa esto? Pues, se observó un efecto beneficioso en la morfología de las plantas, básicamente diferencias significativas en diámetro (3,46 mm vs 3,0 mm para otras dosis de fertilización) ($p < 0.001$), pero no así en las variables bioquímicas o demás variables morfológicas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los beneficios de la simbiosis e interacción con la fertilización pueden tardar en ser evidentes hasta que las plántulas se establezcan en el campo. En resumen, los hallazgos sugieren que la combinación adecuada de fertilización química y micorrizas puede tener un impacto positivo en el crecimiento de las plántulas de algarrobo blanco.

Estos biofertilizantes han demostrado un potencial significativo para mejorar el crecimiento inicial y establecimiento de plántulas de árboles en proyectos de restauración (Madawala 2021). Las plantas inoculadas podrían mostrar mayores tasas de crecimiento, y pueden ser más tolerantes al estrés del trasplante, características críticas en restauración de áreas degradadas (Vandresen et al, 2007).

Bioestimulantes

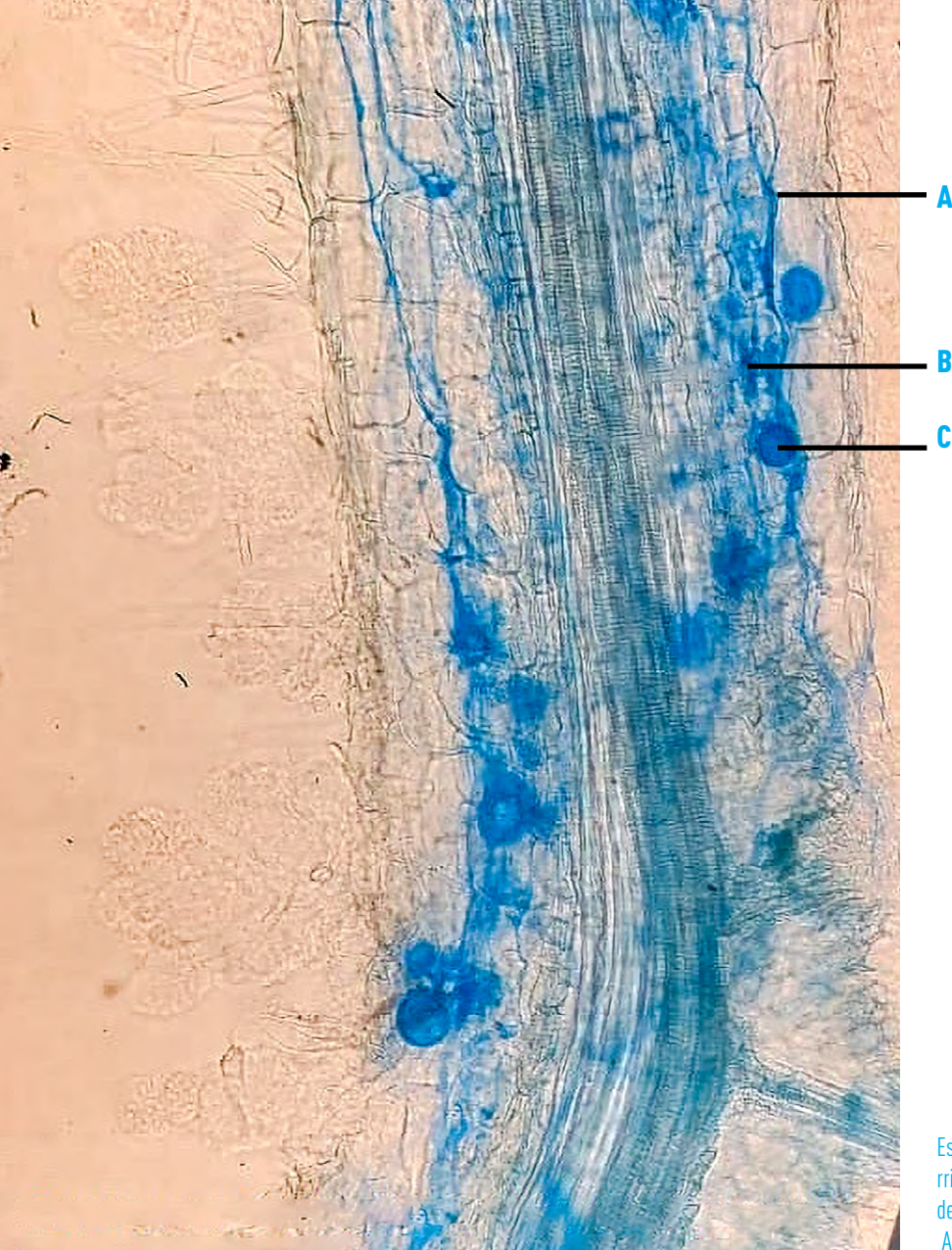
Los resultados del ensayo con las 4 fitoextractos evaluados como bioestimulantes indicaron que aloe y quebracho colorado presentaron un efecto menor sobre la mejora de la tolerancia al estrés abiótico de los plantines, respecto a los demás fitoextractos evaluados (jarilla y yerba mate) como lo indica el parámetro MDA (Tabla 1).

Por esta razón, se prosiguió la investigación con estos últimos fitoextractos (jarilla y yerba mate) evaluando diferentes dosis (1%, 2% y 3% m/v) ya que su potencial como bioestimulante se había confirmado.

En los resultados de la segunda fase, observamos un efecto significativo del bioestimulante sobre características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas (Tabla 2). La mejor respuesta como bioestimulante fue del fitoextracto de jarilla (*L. divaricata*) 3%, con un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas con tendencia a un mayor contenido de clorofila, desarrollo de mayor área foliar aumentando significativamente la biomasa aérea y radical, en menor medida el diámetro. Con respecto al parámetro MDA no se registraron grandes diferencias, salvo que ambos bioestimulantes en sus diferentes dosis (a excepción de IPA 3%) registraron menor estrés que el tratamiento CA correspondiente al testigo en el área de aclimatación. Estos fitoextractos podrían potenciar la protección de los pigmentos fotosintéticos y estimular la actividad de los antioxidantes celulares en condiciones de estrés abiótico.

LA: área foliar
 PST: peso seco Total
 PSA: peso seco aéreo,
 PSR: peso seco radicular
 MDA: malondialdehído

Tabla 2: Parámetros bioquímicos, fisiológicos y morfológicos según tratamientos



Estructuras características de las micorrizas arbusculares en raíces de plantas de algarrobo blanco
A) Hifas, B) Arbúsculos y C) Vesículas

Conclusiones

La especie de estudio *Neltuma alba* (ex *Prosopis alba*) tiene un considerable potencial como especie nativa en la restauración de áreas en la Región Semiárida del Chaco. Ante este contexto, el uso de bioinsumos puede representar una técnica clave que facilite la producción de una planta acorde a esas necesidades. Los hongos micorrícicos provenientes del Dominio del Chaco occidental (M1) asociados a fertilizantes en la dosis 60% mejoraron significativamente el diámetro de las plantas influyendo en la absorción de nutrientes y agua de las plantas a partir de su inoculación al momento de la siembra.

Sin embargo, se consideran datos preliminares, siendo necesario profundizar en la temática. Asimismo, las aplicaciones de bioestimulantes foliares obtenidos de especies nativas, como lo es el uso del fitoextracto jarilla al 3% podría mejorar la tolerancia al estrés de las plántulas leñosas durante las etapas de vivero y mejorar el crecimiento que se ve reflejado en un mayor contenido de clorofilas, mayor desarrollo del área foliar y un aumento significativo en la biomasa aérea y radical, en menor medida el diámetro. Estos productos representarían una herramienta práctica para la producción y manejo sostenible de las plantaciones en la región.

Bibliografía

Cabrera, A.L. (1971) Fitogeografía de La República Argentina. Boletín la Soc. Argentina Botánica 1971, 14, 1–42.
Madawala H.M.S.P. (2021) Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Biofertilizers: Current Trends, Challenges, and Future Prospects. In Biofertilizers Advances in bio-inoculant; Amitava R., Vijay S., Manoj P., HB Sing, AK Sing, Eds.; Elsevier Volume 1, 2021; pp.83–93 ISBN 9780128216675.
Sagadin, M.B.; Monteoliva, M.I.; Luna, C.M.; Ca-

bello, M.N. (2018). Diversidad e Infectividad de Hongos Micorrícicos Arbusculares Nativos Provenientes de Algarrobales Del Parque Chaqueño Argentino Con Características Edafoclimáticas Contrastantes. *AgriScientia* 2018, 35, 19.
Santacruz-García, A.C.; Senilliani, M.G.; Gómez, A.T.; Ewens, M.; Yonny, M.E.; Villalba, G.F.; Nazareno, M.A. (2022) Biostimulants as Forest Protection Agents: Do These Products Have an Effect against Abiotic Stress on a Forest Native Species? Aspects to elucidate their action

mechanisms. *For. Ecol. Manage.* 2022, 522, doi:10.1016/j.foreco.2022.120446
Vandresen, J.; Nishidate, F.R.; Torezan, J.M.D.; Zangara, W. (2007). Inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Adubação Na Formação e Pós-Transplante de Mudas de Cinco Espécies Arbóreas Nativas Do Sul Do Brasil. *Acta Bot. Brasilica* 2007,21, 753–765, doi:10.1590/s0102-33062007000400001.