



Plantación de *Atriplex lampa* Gill. ex Moq. para rehabilitación y restauración ecológica: ¿es necesario inocular con hongos micorrícicos?

Atriplex lampa Gill. ex Moq. plantation for rehabilitation and ecological restoration: is it necessary to inoculate with mycorrhizal fungi?

ANAHÍ SOLEDAD ÁLVAREZ* Y MICAELA RE

Laboratorio de Investigación y Servicios de Microbiología Ambiental
Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud. Universidad Nacional del Comahue
Neuquén. Argentina
* <anahisalvarez@yahoo.com.ar>

RESUMEN

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) contribuyen a resistir las condiciones de estrés de los ecosistemas áridos. Numerosos trabajos de restauración ecológica proponen su inoculación aunque en algunos casos sin evidencias contundentes de su necesidad. En este contexto, nuestras hipótesis fueron: a) Existen propágulos potencialmente infectivos en islas de fertilidad (montículos) y áreas sin vegetación (intermontículos); b) La micorrización de ejemplares plantados en campo no requiere necesariamente inoculación en vivero, ni los mismos son los determinantes principales del crecimiento. Se evaluaron propágulos infectivos en montículos (n=25) e intermontículos (n=25), y se evidenció su presencia en ambos sitios, aunque fue significativamente mayor en montículos (p=0,045). Se analizó la colonización micorrícica y altura de individuos aleatoriamente elegidos de *A. lampa* (n=15) sobre 350 ejemplares, con 2 años de plantación en una parcela experimental. Todos los ejemplares presentaron micorrización, aunque existieron importantes diferencias en la altura entre ellos. Concluimos que: a) la micorrización espontánea de *A. lampa* ocurre en diferentes condiciones ambientales de un suelo degradado; b) las condiciones de los horizontes de suelos serían determinantes en el crecimiento vegetal de la especie.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) contribute to resisting the stress conditions of arid ecosystems. Numerous ecological restoration works propose its inoculation, and some of them without conclusive evidence of its need. In this context, the hypotheses of the exploratory study were: a) There are potentially infective propagules in fertility islands (mounds) and areas without vegetation (inter mounds); b) The mycorrhization of specimens planted in the field does not require necessarily inoculation in the nursery, and they are not main determinants of growth. Infective propagules were evaluated in mounds (n = 25) and inter-mounds (n = 25), and their presence was evidenced



in both sites, although significantly higher in mounds ($p = 0.045$). We analyzed the mycorrhizal colonization and height of randomly chosen individuals of *A. lampa* ($n = 15$) out of 350 specimens, with 2 years of plantation in an experimental plot. All the specimens presented mycorrhization, although there were differences in height. We conclude that: a) spontaneous mycorrhization of *A. lampa* occurs in different environmental conditions of a degraded soil; b) the conditions of the substrates would be decisive in the plant growth.

Palabras clave: colonización micorrízica, *Atriplex lampa*, propágulos infectivos, suelo nativo

Keywords: mycorrhizal colonization, *Atriplex lampa*, infective propagules, native soil

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas áridos, la distribución de la vegetación se basa en un patrón microtopográfico con una clara estructura de parches de vegetación, formados por arbustos y pastos perennes, alternada con áreas de suelo sin vegetación (Rostagno et al., 1991; Aguiar & Sala, 1999; El-Bana et al., 2003; Bertiller et al., 2004). La vegetación del Monte Austral responde a esta estructura de montículos en los cuales se encuentran mayores niveles de fertilidad y capacidad de retención de agua (Busso & Bonvissuto, 2009).

En este contexto las diferentes especies tienen varias estrategias para sobrevivir y colonizar intermontículos, entre las que se encuentran las relacionadas a la arquitectura de sus sistemas radiculares (Bucci et al., 2009).

La acumulación de biomasa de raíces y partes aéreas bajo el canopeo es probablemente una fuente de heterogeneidad a pequeña escala asociada con la tolerancia al estrés en ecosistemas semiáridos (Villagra & Cavagnaro, 2006; Villagra et al., 2011; Fernández, 2020). Esta zona del suelo con mayor proporción de biomasa es un ambiente con disponibilidad de compuestos orgánicos para los microorganismos (Paul, 2007). La distribución

espacial y temporal de materia orgánica en el suelo crea puntos de gran actividad metabólica microbiana, denominados *hotspots* microbianos. Estos se encuentran en la rizósfera, en la interfase entre los residuos vegetales y en los agregados del suelo (Kuzyakov & Blagodatskaya, 2015). Por ello se ha afirmado que bajo el canopeo de la vegetación existe una flora microbiana y mecanismos de ciclaje de nutrientes que impulsan vías de flujo de energía (Pucheta et al., 2006). Por ejemplo, el nitrógeno lábil, que es retenido en la biomasa microbiana de los montículos, representa una fuente importante de nitrógeno fácilmente mineralizable en suelo del Monte Austral (Mazzarino et al., 2009).

Sin embargo, la comunidad microbiana y en particular los HMA interactúan amplia y beneficiosamente con las plantas, tanto fuera como dentro de los montículos (Johnson et al., 2003; Martínez-García, 2011) y son capaces de establecerse en simbiosis con el 90% de las plantas vasculares. La asociación micorrízica mejora la tolerancia de las plantas a los factores de estrés, a su establecimiento en suelo sin vegetación y, en conjunto, contribuyen a estabilizar el suelo de zonas áridas (Bashan & Bashan, 2010).

Varios estudios han evidenciado que especies de la familia Chenopodiaceae pueden ser colonizadas por HMA (Zhang et al., 2012; Allen & Allen, 1990; Aguilera et al., 1998; Sengupta & Chaudhuri, 1990). Algunos ejemplos de especies que avalan esta afirmación son *Atriplex lampa* (Soteras et al., 2013a), *A. canescens* (Williams et al., 1974), *A. gardneri* (Allen, 1983), *A. nummularia* (Asghari et al., 2005; Plenchette & Duponnois, 2005) y *A. argentina* (Beceerra et al., 2016).

En la actualidad, *Atriplex lampa*, por su facilidad de producción en viveros y gran supervivencia en plantaciones y siembras, es una de las especies más utilizadas en programas de restauración ecológica de zonas áridas degradadas en el Monte y su desarrollo se ha asociado a propiedades físico-químicas del suelo (Pérez et al., 2019a, 2019b; Pérez, 2020). Posee la capacidad de desarrollarse en condiciones de estrés hídrico y salino (Porcel et al., 2010), lo que contribuye a la rehabilitación ecológica de sitios severamente degradados.

Dado que, como se mencionó, la simbiosis de HMA juega un papel importante en la determinación de respuestas a factores bióticos y abióticos (Rodríguez & Redman, 2008), ha habido un creciente interés en el uso de los inoculantes de HMA en la restauración ecológica (Kozioł et al., 2018) y en particular en *Atriplex* spp. (Álvarez et al., 2018; Plenchette & Duponnois, 2005).

Se ha señalado el aporte significativo de la inoculación de HMA sobre el crecimiento de especies de *Atriplex* y otras especies Chenopodiaceae cuando se evaluaron en condiciones de vivero (Asghari et al., 2005; Plenchette & Duponnois, 2005; Zhang et al., 2012). Sin embargo,

no hay evidencias contundentes de la efectividad de la inoculación de HMA a escala ecosistémica (Smith & Smith, 2011), y específicamente en el Monte Austral (Álvarez et al., 2018).

Maltz & Treseder (2015) sugieren que, en un contexto de restauración, las comunidades microbianas autóctonas son más beneficiosas que las inoculadas. Esto, sumado a la posible presencia de HMA tanto en montículos como intermontículos, indicaría que la inoculación no sería esencial para algunas especies transplantadas (Soteras et al., 2013b; Soteras et al., 2014; Álvarez et al. 2018).

En este contexto efectuamos un estudio de prospección de la presencia de propágulos infectivos de HMA en: a) montículos e intermontículos en el Monte Austral y b) una colonización en una plantación de *Atriplex lampa* luego de dos años en un área desmontada. En este estudio exploratorio las hipótesis fueron: a) Existen propágulos de HMA potencialmente infectivos para plántulas tanto en las islas de fertilidad (montículos) como en áreas desprovistas de vegetación (intermontículos) que no harían necesaria la inoculación en suelos; b) la presencia de micorrizas en raíces de ejemplares plantados en campo no requiere inoculación en vivero y no tiene necesariamente relación con el crecimiento de los mismos.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El sitio de estudio está ubicado en la ciudad de Neuquén (38° 56' S, 68° 3' W), al noroeste de la Patagonia, Argentina. El área corresponde a la Región Fito geográfica del Monte Austral (Cabrera, 1978 Busso & Bonvissuto, 2009). La tem-

peratura media anual varía entre los 10 y 18° C. La precipitación media oscila alrededor de los 180 mm anuales, con alta variación interanual, con incidencia máxima en el mes de mayo y junio (Abraham et al., 2009). Los suelos dominantes del área corresponden al orden de los Entisoles y Aridisoles, de profundidad variable (Fernández Gálvez, 2010).

El estudio se realizó en el Parque Universitario Provincia del Monte, un área natural protegida, de 72 ha de extensión (Ordenanza N° 714 del Consejo Superior de la Universidad Nacional del Comahue). Es un área vulnerable a las amenazas propias de la expansión urbana y su densidad, que avanza degradando el entorno natural.

Análisis físicoquímicos de suelos

Se determinaron las características físicoquímicas del suelo del Parque Universitario Provincia del Monte. Los parámetros analizados fueron: textura (al tacto), pH en pasta (análisis potenciométrico), conductividad eléctrica (conductometría), materia orgánica (método de Walkley y Black), fósforo extractable (método de Olsen), bases de intercambio (extracción con acetato de amonio a pH 7 con lectura por fotometría de llama), sodio (fotometría de llama), calcio y magnesio (valoración complexométrica), relación de absorción de sodio (RAS) (cálculo algebraico).

Análisis de montículos e intermontículos de vegetación

Para caracterizar los montículos, se realizaron cinco transectas (Canfield, 1941) de 50 metros, ubicadas aleatoriamente en áreas típicas del monte del área protegida. A lo largo de cada transecta, que in-

terceptaba aproximadamente entre ocho y nueve montículos, se seleccionaron de forma aleatoria cinco montículos. En los montículos (n=25) se midió el diámetro mayor y menor, y se tomaron muestras de suelo, a 10 cm de profundidad. A partir de cada montículo se seleccionó un sector intermontículo (n=25), ubicado a 30 cm de distancia de límite perimetral del montículo, en el sector de suelo sin vegetación. En los intermontículos se tomaron muestras de suelo, a 10 cm de profundidad.

Evaluación del potencial micorrízico de montículos e intermontículos

A partir de las muestras de suelo recolectadas, se evaluó el potencial micorrízico mediante el número más probable (NMP) de propágulos de HMA (Porter, 1979).

Características de la especie

Atriplex lampa Gill. ex Moq. es una especie arbustiva perteneciente a la familia Amaranthaceae, subfamilia Chenopodaceae (Brignone et al., 2016). Es de amplia distribución altitudinal en el Monte, ya que se ubica desde la costa Atlántica hasta los 2000 m s.m.n. (Passera & Borsetto, 1989). Su sistema radical dimórfico constituye una estrategia de exploración del suelo y obtención de agua superficial y profunda. Esta especie desarrolla raíces superficiales que captan agua de lluvia, y una raíz vertical que explora el suelo en profundidad (Villagra et al., 2011). Presenta tallos radicantes, que en condiciones extremas podría convertirse en una forma de propagación vegetativa (Quattrocchi et al., 2014).

Atriplex lampa es una especie del tipo fotosintético C4, de hojas pequeñas y esclerófilas (baja área específica foliar con alto contenido de materia seca). Según su estrategia de desarrollo se la clasifica como estrés tolerante (Grime, 2006; Fernández, 2020). Crece en suelos salinos y de escasa fertilidad de ecosistemas áridos y semiáridos, y se menciona en la literatura que presenta alta tasa de crecimiento y tolera el estrés hídrico (Passera et al., 2010; Pérez et al. 2020).

Producción de ejemplares y plantación a campo de *Atriplex lampa*

La producción de ejemplares de *A. lampa* se desarrolló en vivero a partir de frutos maduros obtenidos dentro del área de estudio, los cuales fueron conservados desde la colecta a la siembra durante 4 meses en el Banco de Germoplasma del Árido, a -4°C (Rodríguez Araujo et al., 2015). El sustrato utilizado consistió en una mezcla de perlita, vermiculita, compost y suelo comercial en una proporción 1:1:2:3, fraccionado en contenedores de 270 cm³. De acuerdo a la técnica de producción de *A. lampa* empleada para obtener los óptimos atributos de supervivencia y crecimiento (Pérez et al., 2019a), el sustrato no recibió tratamiento de esterilización, por lo que debe considerarse la flora microbiana que contiene. El período de viverización fue de 9 meses, durante el cual se realizaron dos riegos diarios.

Transcurrido el mismo, se trasplantaron en la parcela experimental ubicada dentro del área de estudio, centrada en las coordenadas 38° 56' 22" (S), 68° 03' 05" (W). El suelo corresponde al orden Inceptisol, con acumulación conside-

rable de carbonatos, lo que se refleja en un horizonte petrocálcico (Soil Survey Staff, 1999). Se plantaron 350 individuos con 0,15 m de altura y desarrollo aéreo uniforme, con el agregado de 0,5 litros de gel hidratante por individuos, sin fertilización. Se distribuyeron en líneas paralelas con una distancia de 1 m entre ejemplares. Durante el primer año de plantación se suministró riego por goteo, con frecuencia diaria.

Colonización micorrícica y desarrollo aéreo en *Atriplex lampa* de la parcela experimental

Luego de 2 años de desarrollo en la parcela experimental, se seleccionaron aleatoriamente 15 individuos de *A. lampa*. De cada uno de ellos se tomaron muestras de las raíces y se registró la altura de los individuos.

La colonización micorrícica se evaluó mediante la observación al microscopio óptico de raíces luego de su tinción con azul de tripán (Phillips & Hayman, 1970) y recuento de estructuras fúngicas de HMA (hifas, vesículas y esporas intraradiculares). El porcentaje de colonización se calculó estimando la proporción de campos con raíces con presencia de estructuras de HMA sobre el número total de campos observados. Siguiendo la misma metodología, se registró de forma específica el porcentaje de vesículas y de esporas.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos para evaluar las diferencias significativas, cuyos datos cumplieron con los supuestos de normalidad (Shapiro Wilks) y homocedasticidad (Levene), se realizaron mediante

pruebas paramétricas, con nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Se utilizó el software Statistica.

RESULTADOS

Los valores de los parámetros físico-químicos del suelo se presentan en la **Tabla 1**. Los suelos del área de estudio poseen textura predominantemente arenosa, y condición de no salinos. Los montículos presentan un pH débilmente ácido (6,89), baja concentración de fósforo, y extremadamente bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno. En tanto, el suelo de intermontículos presentó un pH débilmente alcalino y, respecto a fósforo, nitrógeno y materia orgánica los valores fueron inferiores que los hallados en montículos. Los valores de los parámetros físicoquímicos del suelo de

la parcela experimental expresan condiciones semejantes al suelo del intermontículo en cuanto a pH, contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno.

Los montículos de vegetación del Parque Universitario Provincia del Monte abarcan un área de superficie de 4,94 m² ($\pm 2,23$), con un diámetro mayor de 2,41 m ($\pm 1,97$) y diámetro menor de 1,97 m ($\pm 1,94$).

El potencial micorrízico resultó significativamente mayor en montículos que en intermontículos ($p=0,045$), con un promedio de 828,125 y 184,81 NMP/gr de suelo de propágulos infectivos de HMA, respectivamente.

En la **Tabla 2** se presentan los resultados respecto al desarrollo aéreo y estado micorrízico de los individuos de *Atriplex lampa*.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos de las muestras de suelo de montículo e intermontículo y de la parcela experimental del Parque Universitario Provincia del Monte.

Table 1. Physical-chemical parameters of the mound and inter-mound soil samples and the experimental plot of the Parque Universitario Provincia del Monte.

Parámetros físico-químicos		Montículo	Intermontículo	Parcela Experimental
Textura		arenosa/areno franco		arenosa
pH		6,89	7,3	7,79
Materia orgánica (%)		0,69	0,4	0,35
Fósforo extraíble (ppm)		8,69	4,2	3,9
Nitrógeno (%)		0,0345	0,02	0,024
Potasio (ppm)		247,2	157,16	277
Conductividad eléctrica (dS/m)		1,2	0,53	0,31
RAS		0,62	0,53	0,52
Sales solubles	Na ⁺ (ppm)	1,51	0,82	1,34
	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ (ppm)	11,68	4,81	13

Tabla 2. Colonización micorrícica y desarrollo aéreo de los individuos de *Atriplex lampa* establecidos en la parcela experimental del Parque Universitario Provincia del Monte
Table 2. Mycorrhizal colonization and aerial development of the individuals of Atriplex lampa established in the experimental plot of the Parque Universitario Provincia del Monte

Individuos	Colonización (%)	Esporas (%)	Vesículas (%)	Altura (m)
1	36	5	32	0,22
2	12	2	10	0,23
3	65	56	23	0,28
4	32	20	22	0,3
5	36	30	12	0,42
6	32	9	23	0,47
7	34	34	0	0,58
8	38	2	23	0,59
9	27	13	16	0,68
10	30	12	22	0,78
11	23	23	3	0,94
12	35	12	26	1,17
13	27	12	19	1,2
14	63	13	58	1,37
15	19	6	13	1,4

En la totalidad de los ejemplares analizados (n=15) se identificó colonización micorrícica. Se observaron estructuras fúngicas de HMA tales como hifas, vesículas y esporas (**Figura 1**). El porcentaje promedio de colonización micorrícica fue de $33,9 \pm 14\%$, cuyo rango abarcó entre el 12 % y el 65%.

El porcentaje de esporas en las raíces de *A. lampa* varió entre 2 y 56%, con un promedio de $16 \pm 14\%$. El recuento de vesículas varió entre 0 y 58%, con un promedio de $20 \pm 13,5\%$.

Hubo diferencia en el desarrollo aéreo de los ejemplares de *Atriplex lampa*. El rango de altura varió entre 0,22 a 1,4 m. La diferencia en el desarrollo aéreo resul-

tó un aspecto que resaltó al observarlas a campo. Siguiendo una clasificación arbitraria se las pudo diferenciar en: bajas (menores a 0,50 m), medianas (entre 0,50 y 1 m) y altas (mayores a 1 m).

DISCUSIÓN

El suelo de los montículos del Parque Universitario Provincia del Monte presentó características que concuerdan con lo descrito para el Monte Austral Neuquino (Bonvissuto & Busso, 2013). En tanto, las dimensiones del área de superficie, diámetro menor y mayor, son levemente menores (Busso & Bonvissuto, 2009; Bonvissuto & Busso, 2013).

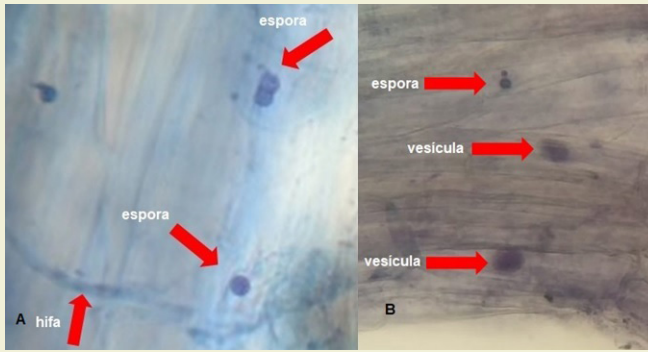


Figura 1. Raíces de *Atriplex lampa* con estructuras fúngicas (400x), características de la colonización micorrizica por HMA luego de su tinción con azul de tripán. Se observan: hifas (A), esporas (A, B) y vesículas (B)

Figure 1. *Atriplex lampa* root with fungal structures (400x), characteristic of mycorrhizal colonization by AMF after staining whit trypan blue. There are: hyphae (A), spores (A, B) and vesicles (B)

Los montículos presentaron mayor concentración de materia orgánica, fósforo y nitrógeno que los intermontículos. Como indica Rostagno (1991) los arbustos tienen un efecto positivo, en la fertilidad, lo que contrasta con las áreas intermontículos, con lo que se confirma el rol de los montículos como islas de fertilidad en los ecosistemas áridos y el Monte en particular.

La similitud entre el suelo de intermontículos y la parcela experimental respecto a la deficiente concentración de materia orgánica y de nutrientes puede asociarse a la carencia de cubierta vegetal de ambos sectores. Varios autores expresaron que la carencia de vegetación afecta negativamente a la tasa de infiltración de agua y el régimen de humedad, por lo que sería el punto de partida de la diferenciación de los demás parámetros del suelo (Bertiller et al., 2004; Gaitán et al., 2018).

En los montículos, el recuento de propágulos infectivos de HMA fue más ele-

vado que en intermontículos, lo cual estaría también asociado a la presencia de la cubierta vegetal. El sistema radicular y sus exudados son clave para activar los procesos celulares que subyacen a la simbiosis (Bonfante & Genre, 2010).

En este estudio se evidenció que todos los individuos de *A. lampa* analizados, que crecieron en suelos similares a los de intermontículos con relación a la presencia de HMA, presentaron colonización micorrizica. Estudios previos han demostrado la presencia de HMA en esta especie, y en otras correspondientes a la familia Chenopodiaceae, asociadas a una condición de estrés (Zhao et al., 2017).

En este estudio no se analizó el estado micorrizico de los plantines de *A. lampa* en el vivero previos a su plantación a campo, y existe la posibilidad de que hayan sido colonizados por HMA. Aunque el compost componente del sustrato haya contenido esporas de HMA poten-

cialmente infecciosas, su concentración no alcanza a cumplir con el requisito de inóculo saturante (Cuenca, 2015) necesario para una inoculación exitosa. Dado esto, y al haberse evidenciado la colonización de todos los ejemplares de *A. lampa* luego de dos años de plantación, planteamos que el suelo severamente degradado de la parcela contenía propágulos infectivos en concentración suficiente para promover la colonización micorrícica.

Se considera que a partir de la plantación de *A. lampa* se activó el metabolismo de los HMA presentes en la parcela experimental en estado de latencia. Es importante considerar las estrategias de competencia por los recursos que se establecen entre la comunidad de los microorganismos autóctonos de los inóculos y los nativos establecidos en el suelo. Soteras et al. (2014) y Maltz & Treseder (2015) han indicado que existen evidencias de que, en un contexto de restauración, las comunidades microbianas autóctonas del suelo son más beneficiosas que las inoculadas, debido a la capacidad de adaptación a las condiciones ambientales del ecosistema nativo. Varios autores indicaron que los disturbios en el ecosistema, como la alteración y erosión intensiva del suelo, suelen reducir los propágulos infectivos nativos (Wilde et al., 2009; Collins Johnson et al., 2010; Zhang et al., 2011), aunque pueden persistir en estado de latencia como mecanismo de adaptación para sobrevivir a condiciones edáficas y ambientales adversas (Cuenca, 2015).

En este estudio se evidenció que la colonización micorrícica de *A. lampa* no tuvo relación con su desarrollo aéreo, ya que no hubo asociación entre el porcentaje de colonización y la altura de los in-

dividuos. Álvarez et al. (2018) y Álvarez & Pérez (2018) comprobaron que la inoculación con HMA no permite obtener resultados que modifiquen las variables relacionadas al crecimiento en plantas tolerantes a la sequía.

La diferencia en la altura de los ejemplares de *A. lampa* podría estar relacionada a las características del suelo. El suelo del área que cubre la parcela experimental posee un horizonte petrocálcico, ubicado a una profundidad de entre 0,10 y 0,51 m (Farinaccio, com. pers., 2020). Esta acumulación de carbonato de calcio, fuertemente cementado con poros capilares obstruidos, ralentiza la conductividad hidráulica e impide la penetración de raíces hacia zonas más profundas (Soil Survey Staff, 1999). Por ello, la adquisición de agua por parte del sistema radicular e hifas de HMA, pudo estar restringida a las porciones superiores al horizonte petrocálcico y solo a las raíces laterales de la especie. Ante esto, las plantas se encuentran sometidas a largos períodos de estrés hídrico durante los momentos de alta evapotranspiración (Mujica et al., 2019). En esta condición, la capacidad de micorrización de *A. lampa* representaría un aspecto relevante en la adaptación a las condiciones ambientales adversas.

CONCLUSIÓN

Los resultados de nuestro estudio exploratorio concuerdan con las hipótesis planteadas, debido a que: a) se evidenció la presencia de propágulos de HMA potencialmente infectivos en montículos y en intermontículos; b) la colonización micorrícica de *A. lampa* no depende de la inoculación ni se relaciona necesariamente con el desarrollo aéreo vegetal. Es necesario continuar la investigación con

testigos provenientes del vivero no micorrizados en futuros estudios para generalizar conclusiones.

La introducción de especies vegetales nativas contribuye a la activación y recuperación de la comunidad microbiana del suelo. La colonización micorrizica observada en *A. lampa* en este trabajo sugiere la existencia de esporas de HMA capaces de sobrevivir en el suelo degradado, lo que podría contribuir a la resiliencia de los mismos.

En este estudio se reconoció la importancia de la actividad de los microorganismos del suelo en zonas desmontadas y la necesidad de continuar evaluando la efectividad de las técnicas empleadas para la rehabilitación y restauración ecológica.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de Investigación 04/U023 “Función y aplicación de microorganismos simbióticos en la restauración ecológica de ecosistemas áridos severamente degradados del Monte Austral”, financiado por la Secretaría de Políticas Universitarias a través de la Universidad Nacional del Comahue. A la especial colaboración de Fernando M. Farinaccio quien en el marco de su tesis doctoral diseñó y mantiene activo el ensayo de restauración ecológica en la parcela experimental y proporcionó datos para este estudio. A Agustín Sagaseta por el aporte de datos obtenidos en relación a la tesis de grado.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAM, E., H.F. DEL VALLE, F. ROIG., L. TORRES, J.O. ARES, F. CORONATO & R. GODAGNONE, 2009. Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal of Arid Environments* 73(2): 144-153.
- AGUIAR, M.R. & O.E. SALA, 1999. Patch structure dynamics and implications for the functioning of arid ecosystem. *Tree* 14(7): 273-277.
- AGUILERA, L.E., J. R. GUTIERREZ & R. J. MORENO, 1998. Vesicular arbuscular mycorrhizae associated with saltbushes *Atriplex* spp. (Chenopodiaceae) in the Chilean arid zone. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 291-302.
- ALLEN, M.F. & E.B. ALLEN, 1990. Carbon source of VA mycorrhizal fungi associated with Chenopodiaceae from a semiarid shrub steppe. *Ecology* 71(5): 2019-2021.
- ALLEN, M.F., 1983. Formation of vesicular arbuscular mycorrhizae in *Atriplex gardneri* (Chenopodiaceae): seasonal response in a cold desert. *Mycologia* 75: 773-776.
- ÁLVAREZ, A.S. & D.R. PÉREZ, 2018. Microbial inoculation of *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins for ecological restoration. *Phyton* 87: 274-279.
- ÁLVAREZ A.S., D.R. PÉREZ & M.E. ONETO, 2018. Ensayo de inoculación de micorrizas nativas en *Atriplex undulata* (Chenopodiaceae) para su establecimiento en sustratos salinos. En: Massara Paletto, V., M. Rostagno, G. Buono, C. González & C. Nicolás (Eds.), *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. Eduardo Enrique Martínez Carretero, Guaymallén, Argentina.
- ASGHARI, H.R., P. MARSCHNER & S.E. SMITH, 2005. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. *Plant and Soil* 273 (1-2): 245-256.
- BASHAN, Y. & L.E. BASHAN, 2010. Microbial populations of arid lands and their potential for restoration of deserts. In: Dion, P. (Ed.). *Soil biology and agriculture in the tropics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.

- BECERRA, A., N. BARTOLONI, N. COFRÉ, F. SOTERAS & M. CABELLO, 2016. Hongos micorrícicos arbusculares asociados a Chenopodiaceae en dos ambientes salinos de Córdoba. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 51(1): 1-13.
- BERTILLER, M.B., A.J. BISIGATO, A.L. CARRERA & H.F. DEL VALLE, 2004. Estructura de la Vegetación y Funcionamiento de los Ecosistemas del Monte Chubutense. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica* 39(3-4): 139-158.
- BONFANTE, P. & A. GENRE, 2010. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications* 1: 48.
- BONVISSUTO, G.L. & C.A. BUSSO, 2013. Establecimiento de plántulas en microambientes del Monte Austral Neuquino. En: Pérez, D. R., A. E. Rovere & M. E. Rodríguez Araujo (Eds.). *Rehabilitación en la Diagonal Árida de la Argentina*. Vázquez Mazzini, Buenos Aires, Argentina.
- BRIGNONE, N.F., S.S. DENHAM & R. POZNER, 2016. Synopsis of the genus *Atriplex* (Amaranthaceae, Chenopodiaceae) for South America. *Australian Systematic Botany* 29(5): 324-357.
- BUCCI, S.J., F.G. SCHOLZ, G. GOLDSTEIN, F.C. MEINZER & M.E. ARCE, 2009. Soil water availability as determinant of the hydraulic architecture in Patagonian woody species. *Oecologia* 160: 631-641.
- BUSSO, C.A. & G.L. BONVISSUTO, 2009. Structure of vegetation patches in northwestern Patagonia, Argentina. *Biodiversity and conservation* 18(11): 3017-3041.
- CABRERA, A.L., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedias Argentinas de Agricultura y Jardinería*, Tomo II, Fs. 1. ACME, Buenos Aires, Argentina.
- CANFIELD, R., 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39: 388-394.
- COLLINS JOHNSON, N., G.W.T. WILSON, A.B. MATTHEW, J.A. WILSON & M. MILLER, 2010. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses. *Proceeding of the National Academic of Science of the United State of America (PNAS)* 107(5): 2093-2098.
- CUENCA, G., 2015. Las micorrizas arbusculares: aspectos teóricos y aplicados. Caracas: Venezuela: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. 432 pp.
- EL-BANA, M.E., I. NIJS & A.H.A. KHEDR, 2003. The importance of phytogenic mounds (nebkhas) for restoration of arid degraded rangelands in Northern Sinai. *Restoration Ecology* 11(3): 317-324.
- FERNÁNDEZ GÁLVEZ, J. 2010. El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos. En: González Rebollar, J. L. & A. Chueca Sanco (Eds.). C4 y CAM. Características Generales y Uso En Programas de Desarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas. Homenaje del Doctor Julio López Gorgé. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.
- FERNÁNDEZ, M.E., 2020. Estrategias de tres especies arbustivas del Monte frente al estrés hídrico y su relevancia para la restauración. *Ecología Austral* 30: 205-219.
- GAITÁN, J.J., D.E. BRAN, G.E. OLIVA, M.R. AGUIAR, G.G. BUONO, D. FERRANTE, V. NAKAMATSU, G. CIARI, G.M. SALOMONE, V. MASSARA, G. GARCÍA MARTÍNEZ & F.T. MAESTRE, 2018. Aridity and overgrazing have convergent effects on ecosystem's structure and functioning in Patagonian rangelands. *Land Degradation & Development* 29: 210-218.
- GRIME, J.P., 2006. *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. New York: John Wiley and Sons. 456 pp.
- JOHNSON, D., P.J. VANDENKOORNHUYSE, J.R. LEAKE, L. GILBERT, R.E. BOOTH, J. P. GRIME, J.P. W. YOUNG & D. J. READ, 2003. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in

- grassland microcosms. *New Phytologist* 161: 503-515.
- KOZIOL, L., P.A. SCHULTZ, G.L. HOUSE, J.T. BAUER, E.L. MIDDLETON & J.D. BEVER, 2018. The plant microbiome and native plant restoration: The example of native mycorrhizal fungi. *BioScience* 68: 996-1006.
- KUZYAKOV, Y. & E. BLAGODATSKAYA, 2015. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. *Soil Biology and Biochemistry* 83: 184-199.
- MALTZ, M. & K. TRESEDER, 2015. Sources of inocula influence mycorrhizal colonization of plants in restoration projects: A meta-analysis. *Restoration Ecology* 23(5): 1-10.
- MARTÍNEZ-GARCÍA, L.B., C. ARMAS, J. DE DIOS MIRANDA, F.M. PADILLA & F.I. PUGNARE, 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 682-689.
- MAZZARINO, M.J., M.B. BERTILLER, C.L. SAIN, F. LAOS & F.R. CORONATO, 2009. Spatial patterns of nitrogen availability, mineralization, and immobilization in Northern Patagonia, Argentina. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10 (4): 295-309.
- MUJICA, C.R., G.M. MILIONE, S.E. BEA & J.E. GYENGE, 2019. Impacto en los flujos hídricos por la presencia de horizontes petrocálcicos en parcelas forestadas en ambientes de llanura. *Revista de Investigación Agropecuaria* 45(3): 426-463.
- PASSERA, C.B. & O. BORSETTO, 1989. Aspectos Ecológicos de *Atriplex lampa*. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*. I.N.I.A. 4(2): 179-198.
- PASSERA, C.B., J.B. CAVAGNARO & C.E. SARTOR, 2010. Plantas C3, C4 y CAM nativas del monte árido argentino. Adaptaciones y potencial biológico. En: González Rebollar, J. L. & A. Chueca Sancho (Eds.). C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.
- PAUL, E.A., 2007. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Colling, USA: Academic Press. 598 pp.
- PÉREZ, D. R., F. M. FARINACCIO & J. ARONSON, 2019a. Towards a dryland framework species approach. Research in progress in the Monte Austral of Argentina. *Journal of Arid Environments* 161: 1-10.
- PÉREZ, D.R., F.M. GONZÁLEZ, C. CEBALLOS, M.E. ONETO & J. ARONSON, 2019b. Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs, and prospects for large-scale restoration and rehabilitation. *Restoration ecology* 27: 1105-1116.
- PÉREZ, D.R., C. PILUSTRELLI, F. FARINACCIO, G. SABINO & J. ARONSON, 2020. Evaluating success of various restorative interventions through drone and field-collected data, using six putative framework species in Argentinian Patagonia. *Restoration ecology* 28: A44-A53.
- PHILLIPS, J.M. & D.S. HAYMAN, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- PLENCHETTE, C. & R. DUPONNOIS, 2005. Growth response of the saltbush *Atriplex nummularia* L. to inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Journal of Arid Environments* 61: 535-540.
- PORCEL, R., R. AROCA & J.M. RUIZ-LOZANO, 2010. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 181-200.
- PORTER, W.M., 1979. The "Most Probable Number" method for enumerating infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Australian Journal of Soil Research* 17: 515-519.

- PUCHETA, E., M. LLANOS, C. MEGLIOLI, M. GAVIORGNO, M. RUIZ & C. PARERA, 2006. Litter decomposition in a sandy Monte desert of western Argentina: influences of vegetation patches and summer rainfall. *Austral Ecology* 31: 808-816.
- QUATTROCCHI, G., A. SOTO, C. ROJAS & A.D. DALMASSO, 2014. Uso potencial de *Atriplex boecheri* para la restauración de ambientes salino sódicos. *Experimentia*, 87-91.
- RODRÍGUEZ ARAUJO, M.E., N.M. TURUELO & D.R. PÉREZ, 2015. Seed bank of native species from Monte and Payunia for ecological restoration. *Multequina* 24: 75-82.
- RODRÍGUEZ, R. & R. REDMAN, 2008. More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: Plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany* 59: 1109-1114.
- ROSTAGNO, C. M., H. F. DEL VALLE & F. VIDELA, 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments* 20(2): 179-188.
- SENGUPTA, A. & S. CHAUDHURI, 1990. Vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in pioneer salt marsh plants of the Ganges river delta in west Bengal (India). *Plant and Soil* 122(1): 111-113.
- SMITH, S.E. & F.A. SMITH, 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scale. *Annual Review of Plant Biology* 62 (1): 227-250.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Natural Resources Conservation Service. United States: Department of Agriculture Handbook. 436 pp.
- SOTERAS, M.F., N. COFRÉ, J. BARTOLONI, M. CABELLO & A. BECERRA, 2013a. Colonización radical de *Atriplex lampa* en dos ambientes salinos de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48: 211-219.
- SOTERAS, M.F., D. RENISON & A. BECERRA, 2013b. Growth response, phosphorus content and root colonization of *Polylepis australis* Bitt. seedlings inoculated with different soil types. *New forests* 44: 577-589.
- SOTERAS, M.F., D. RENISON & A. BECERRA, 2014. Restoration of high-altitude forests in an area affected by wildfire: *Polylepis australis* Bitt. Seedlings performance after soil inoculation. *Trees* 28: 173-182.
- VILLAGRA, P.E. & J.B. CAVAGNARO, 2006. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco*. *Journal of Arid Environments* 64(3): 390-400.
- VILLAGRA, P.E., C. GIORDANO, J.A. ÁLVAREZ, J.B. CAVAGNARO, A. GUEVARA, C. SARTOR, C.B. PASSERA & S. GRECO, 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral* 21: 29-42.
- WILDE, P., A. MANAL & M. STODDEN, 2009. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in roots and soils of two salt marshes. *Environmental Microbiology* 11(6): 1548-1561.
- WILLIAMS, S.E., A.G. WOLLUM & E.F. ALDON, 1974. Growth of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. improved by formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Science Society of America Journal* 38(6): 962-965.
- ZHANG, Y. F., P. WANG, Y. F. YANG, Q. BI, S.Y. TIAN & X.W. SHI, 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi improve reestablishment of *Leymus chinensis* in bare saline-alkaline soil: Implication on vegetation restoration of extremely degraded land. *Journal of Arid Environments* 75: 773-778.
- ZHANG, T., N. SHI & D. S. BAI, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi promote the growth of *Ceratocarpus arenarius* (Chenopodiaceae) with no enhancement of

phosphorus nutrition. PLoS ONE 7(9): e41151.

ZHAO, Y., H. YU, T. ZHANG & J. GUO, 2017. Mycorrhizal colonization of chenopods and its influencing factors in different saline habitats, China. *Journal of Arid Land* 9 (1): 143-152.

Recibido: 12/2020
Aceptado: 03/2021