

# OPTIMIZACIÓN DEL DESARROLLO, NUTRICIÓN Y PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA MEDIANTE EL USO DE MICORRIZAS BAJO MANEJO AGROECOLÓGICO

**Laura Rubio-Sanz<sup>1,2</sup>, Marta Garzón-Molina<sup>2</sup>, Marta Arnés-García<sup>3</sup>; María C Jaizme-Vega<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento I+D+i A3Ceres Asesoría Agroalimentaria, Tenerife (España)

<sup>2</sup>Unidad Protección Vegetal, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) Tenerife, España

<sup>3</sup>Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

Contactos: Laura Rubio-Sanz, laurarubio@a3ceres.com. A3Ceres Asesoría Agroalimentaria S.L.

María C Jaizme-Vega, mcjaizme@icia.es. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA)

## Resumen

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) es un árbol de crecimiento rápido originario del norte de la India, en las faldas del Himalaya. Conocido como "árbol de la vida" sus hojas son fuente de nutrientes, como calcio, potasio o hierro, vitaminas A, grupo B, C y D, y proteína completa con todos los aminoácidos esenciales. Se desarrolla en climas tropicales y subtropicales y es capaz de adaptarse a ambientes edafológicos adversos, como carencia de nutrientes, suelos contaminados o estrés hídrico. Estas características y la buena aptitud micotrófica de esta especie, capaz de beneficiarse de manera significativa de la simbiosis micorrízica, convierte a este cultivo en estratégico para la recuperación de suelos en zonas semiáridas y es una buena herramienta para paliar las consecuencias del cambio climático.

En este trabajo se revisa la información disponible sobre las propiedades nutricionales y terapéuticas de la moringa y se muestran los beneficios a largo plazo de la inoculación temprana con un aislado nativo en condiciones semiáridas sobre el desarrollo vegetativo, la nutrición y la producción de semillas, mediante ensayos de campo. Los resultados proporcionan información sobre el potencial del cultivo bajo manejo agroecológico y aportan datos prometedores sobre un aspecto muy poco estudiado hasta la fecha, como es la integración de microorganismos simbiosis durante las primeras fases de cultivo en esta especie. Estas ventajas se pueden extrapolar a países del continente africano donde se dan las condiciones climatológicas adecuadas para el desarrollo del cultivo y donde puede funcionar como una herramienta de cambio en la desaparición de la desnutrición en las poblaciones más desfavorecidas.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, hongos micorrízicos, nutrición, desarrollo vegetal, agroecología, Islas Canarias

## Abstract

*Moringa (Moringa oleifera* Lam.) is a fast-growing tree originated from the north of India, in the foothills of Himalaya. Known as "tree of life", its leaves are a source of nutrients, such as calcium, potassium or iron, vitamins A, group B, C and D, and complete source of protein with all the essential amino acids. It develops in tropical and subtropical climates and is able to grow in adverse edaphological environments, such as nutrient deficiency, contaminated soils or water stress. These characteristics and the good mycotrophic aptitude of this specie, able to obtain significant benefits from the mycorrhizal symbiosis, make this crop strategic for soil recovery in semi-arid areas and to mitigate the consequences of climate change.

This study reviews the available information on the nutritional and therapeutic properties of moringa and shows the long-term benefits of early inoculation with a native isolate in semi-arid conditions on vegetative development, nutrition and seed production through field trials. The results provide information about crop potential under agroecological management and show promising data in an aspect little studied to date: the integration of symbiotic microorganisms during the early stages of cultivation in the moringa tree. These advantages can be extrapolated to countries on the African continent where the right weather conditions for crop development exist, and where it can work as a tool for change in disappearance of malnutrition in the most disadvantaged populations.

**Key words:** *Moringa oleifera*, mycorrhizal fungi, nutrition, plant development, agroecology, Canary Islands

## Introducción

### Propiedades nutricionales y medicinales de la moringa

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) popularmente conocida como "árbol de la vida" o "árbol milagroso", es un árbol originario de las faldas del Himalaya, en el norte de la India, conocida desde hace siglos por sus propiedades tanto nutricionales como medicinales. Pertenece a la familia *Moringaceae*, formada por pequeños árboles de hoja caduca y rápido crecimiento. La familia está representada por un sólo género, *Moringa*, con 13 especies destacando entre ellas *Moringa oleifera* la cual ha demostrado ser la que mayores propiedades tiene dentro del género, tanto nutricionales como medicinales.

Diferentes partes de la planta de moringa pueden ser aprovechadas para alimentación humana y animal, así como en múltiples y útiles usos:

Las hojas de moringa, desde el punto de vista nutricional, poseen una elevada concentración de proteína completa, con todos los aminoácidos esenciales, vitaminas A, grupo B, C y E en concentraciones superiores a las de otros alimentos, elevadas cantidades de nutrientes como potasio, calcio, hierro, magnesio o manganeso y un alto aporte de fibra. Estas características hacen de las hojas de moringa un alimento completo, que puede ser utilizado como suplemento o fortificante alimentario en cualquier tipo de dietas. Por ejemplo, las hojas picadas pueden ser consumidas en infusión, y las hojas en polvo se pueden añadir a pasta alimenticia, en purés y sopas, en barritas energéticas o en repostería.

Durante la poda de la moringa, las hojas son seleccionadas y separadas de los tallos. Estos tallos restantes, ricos en proteína, se procesan y pueden ser empleados como alimentación para el ganado en forma de polvo seco que puede ser añadido a otras fórmulas nutricionales o en forma de pellets realizados de forma mecánica (Nouman *et al.*, 2014). En un experimento realizado en Camerún se comprobó que la alimentación con moringa en gallinas en sustitución de la soja, resultó en una mejor producción de huevos reflejada en el adelanto de dicha producción en una semana (Kana *et al.*, 2015).

De las semillas de la moringa se extrae un aceite de elevada calidad, conocido como aceite de Behen, que es muy valorado en cosmética por sus características antioxidantes y por su capacidad de retener aromas. Posee en su composición entre un 65-80 % de ácido oleico y unos porcentajes de ácidos grasos saturados inferiores al 15%, que varían según el método de extracción de aceite utilizado (Bhutada *et al.*, 2016). Además, diversos estudios han demostrado otras cualidades de la moringa, como la capacidad del polvo de las semillas de moringa para depurar el agua y hacerla potable, así como de eliminar metales pesados por la capacidad de absorción de las mismas (Farrokhzadeh *et al.*, 2013). Esta cualidad es

de aplicación directa en la depuración de aguas contaminadas en poblaciones africanas con difícil acceso a otros medios así como para ayudar en emergencias sanitarias, convirtiéndose en una poderosa herramienta de ayuda, dada la viabilidad del cultivo en estas zonas más desfavorecidas del continente africano.

Debido a sus propiedades medicinales, se ha venido utilizando tradicionalmente en la medicina tradicional ayurvédica. Estudios con relevancia científica de los últimos años han demostrado los efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, antitumorales y anticancerígenos, del consumo de las hojas de moringa (Razis *et al.*, 2015), así como la posibilidad de controlar los niveles de azúcar en sangre ayudando a los diabéticos en su enfermedad (Ahmad *et al.*, 2019).

### Características y beneficios del cultivo de moringa

La moringa es un cultivo versátil y con gran capacidad de adaptación, viéndose favorecido por su rápido crecimiento en las condiciones adecuadas. El hábitat idóneo para su crecimiento son climas tropicales y subtropicales, con una media de 10 horas de luz diarias, debido a su largo fotoperiodo, una temperatura media entre 18 y 28 °C anuales, y un pH del suelo entre 4.5 y 8.0 (Leone *et al.*, 2015). Estas características son coincidentes con latitudes en las que se desarrollan cultivos tropicales como el café o el plátano. Cabe destacar la inclusión de todo el continente africano en esta zona geográfica, dándose las condiciones climatológicas y de fotoperiodo favorables para su cultivo. Las Islas Canarias, con un clima subtropical y unas condiciones aptas durante todo el año, convierten al archipiélago en el mejor lugar de toda Europa para el cultivo de moringa.

La adaptación de la moringa a distintos tipos de suelos se observa en su capacidad de crecimiento en condiciones desfavorables desde el punto de vista edafológico, siendo capaz de desarrollarse en suelos con deficiencias en nutrientes o abandonados por un largo período de tiempo, soportar estrés hídrico y salino, o crecer en suelos contaminados con metales pesados (Brunetti *et al.*, 2018). Estas características hacen que sea una herramienta perfecta para el desarrollo agroecológico del cultivo en ámbitos poco favorables, en los cuales se den las condiciones climatológicas adecuadas para el desarrollo del árbol.

En las Islas Canarias las zonas agrícolas de medianía abandonadas pueden ser, en muchos casos, recuperadas mediante el cultivo de moringa de forma sostenible y agroecológica, debido a la capacidad de este cultivo para la adaptación y regeneración de los suelos en condiciones de estrés. Además, en países del continente africano donde los suelos tienen carencia de nutrientes por cultivo intensivo o restricciones de agua, la moringa puede desarrollarse y ayudar a recuperar los suelos con un manejo

adecuado, incorporando por ejemplo, los restos de poda al suelo para aumentar la estructura y la cantidad de materia orgánica.

La desnutrición es un problema que afecta en gran medida a las poblaciones africanas del tercer mundo que carecen de un acceso a una alimentación mínima necesaria. La moringa posee propiedades nutricionales destacadas que pueden ayudar en la erradicación de este problema en África. En Gambia por ejemplo, el 75% de la población depende de una agricultura de subsistencia cuyo peso recae principalmente sobre la mujer, y el 60% de la población sufre algún problema de desnutrición, sobre todo la población infantil.

La adaptación de la moringa para crecer y desarrollarse en climas tropicales y subtropicales y en suelos con carencia de nutrientes, permite que pueda introducirse como un cultivo y un alimento más en la dieta diaria de los países del tercer mundo, favoreciendo el desarrollo de una agricultura sostenible y beneficiosa para las agricultoras y agricultores, y con un impacto directo en la erradicación de la desnutrición asociada sobre todo a la población infantil. Ayudar a las poblaciones agrícolas africanas dependientes de la agricultura para su subsistencia, con un cultivo adaptado a las condiciones climatológicas y desarrollado mediante técnicas agroecológicas, permitirá enriquecer y mejorar la vida de estas personas.

#### **Empleo de microorganismos benéficos en el cultivo de moringa**

Una herramienta agroecológica indispensable para optimizar la salud del suelo y la calidad de los cultivos es la integración de microorganismos benéficos del suelo, en especial aquellos que se asocian de manera simbiótica con las raíces de las plantas. Este es el caso de las micorrizas, una asociación formada entre las raíces de una planta y un hongo. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares se encuentran ampliamente extendidos en la naturaleza y son un componente esencial de los sistemas, ya que se estima que el 92% de las familias de plantas presentan micorrizas de forma natural, siendo la micorriza arbuscular la simbiosis más extendida en el reino vegetal (Wang y Qiu, 2006; Honrubia 2009). Esta asociación favorece el desarrollo de la planta desde múltiples vertientes, ya que incrementa la absorción de nutrientes tales como fósforo, nitrógeno, calcio o potasio; facilita la absorción del agua presente en el suelo al aumentar el volumen de suelo explorado; e incrementa la tolerancia de la planta a condiciones de estrés, como salinidad, acidificación del suelo, sequía o el ataque de patógenos. El hongo por su parte, al integrarse en las raíces de las plantas, obtiene como beneficio un hábitat seguro para su desarrollo, así como la obtención de vitaminas e hidratos de carbono que no es capaz de sintetizar por sí mismo. Una de las especies de estos simbioses más cosmopolitas y mejor adaptadas a los manejos agrícolas es el hongo micorrízico arbuscular (MA) actualmente conocido como *Funneliformis mosseae* (*Glomus mosseae*), que es el que se emplea en un gran número de estudios publicados y para el que existen muchas referencias que confirman

su gran capacidad de establecer relaciones micotróficas benéficas en condiciones de campo (Jaizme-Vega *et al.*, 2002), siendo capaz de asociarse con un amplio rango de especies e incrementar la asimilación de nutrientes y la protección frente a patógenos (Jaizme-Vega *et al.*, 2006; Koegel *et al.*, 2013; Yuan *et al.*, 2016).

Desde una visión realista y avalados por la experiencia, lo lógico es contar en los cultivos rutinariamente y como norma con los beneficios de las micorrizas, siendo la excepción manejar lo que convencionalmente se conoce como raíz, estructura que no existe en la naturaleza al menos tal y como se describe en los manuales de agricultura clásicos (Jaizme-Vega, 2019).

La Unidad de Protección Vegetal del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), emprendió a principios de los años 80 una línea de investigación orientada al uso de estos hongos en los sistemas agrícolas (Jaizme-Vega y Azcón, 1995), demostrando en un amplio rango de especies vegetales subtropicales adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del archipiélago Canario (platanera, aguacate, piña, papaya o mango), así como en hortalizas (Jaizme-Vega *et al.*, 2001a) y forrajeras locales (Jaizme-Vega *et al.*, 2001b), las ventajas de la micorrización temprana (durante la fase de semillero) utilizando cepas de hongos MA locales de las Islas Canarias (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008).

A partir del año 2015 y como consecuencia de la importancia que cobra este árbol fuera de sus lugares tradicionales de cultivo, se inicia en el ICIA una línea de investigación que estudia las ventajas de la integración de los hongos micorrízicos en el cultivo de *Moringa oleifera*. Los primeros resultados fueron presentados en dos eventos organizados por la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE) durante los años 2015 y 2016: XXIV Jornadas Técnicas SEAE en La Laguna (Arnés-García *et al.*, 2015) y XII Congreso SEAE en Lugo (Bernal *et al.*, 2016). En el año 2017 el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (actualmente Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) concedió un proyecto de la convocatoria Torres Quevedo a la empresa A3Ceres Asesoría Agroalimentaria y al ICIA, titulado "MoringaSmile. Optimización y explotación del cultivo de *Moringa oleifera* para una nutrición completa en África y regiones ultraperiféricas de Europa" (2018-2020), que ha servido de aliciente para continuar con esta línea de investigación.

Los primeros resultados del proyecto confirman los beneficios de la micorrización en moringa tanto durante las primeras fases de desarrollo, como en condiciones de campo (Rubio-Sanz *et al.*, 2018a y 2018b). Recientemente hemos estudiado el papel de la micorrización en el desarrollo de la planta en condiciones de estrés nutricional. Este último trabajo demuestra que en condiciones de invernadero y con un régimen de fertilización deficitario, las micorrizas favorecen el buen desarrollo y la acumulación de nutrientes en las hojas de moringa (Rubio-Sanz y Jaizme-Vega, 2020).

El presente trabajo sintetiza algunos de los resultados obtenidos en experimentos con *Moringa oleifera*

realizados en condiciones reales de campo, bajo manejo agroecológico y con hongos micorrícicos locales inoculados en fase temprana de semillero, con el fin de demostrar los beneficios del uso de aislados de hongos MA locales y la capacidad micorrícica de la planta de moringa en condiciones climatológicas subtropicales.

## Material y métodos

### Fase de semillero e invernadero

En la realización del presente ensayo se utilizaron semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) procedentes de Arucas (Gran Canaria), que fueron germinadas en condiciones de umbráculo, empleando un sustrato formado a partes iguales de suelo (bajo contenido en fósforo Olsen), picón negro (arena volcánica) y turba sin enriquecer, en la proporción 1:1:1. Con este sustrato, previamente desinfectado con máquina de vapor y cuyas características están descritas en la Tabla 1, se rellenaron multipots alveolados de 250 cm<sup>3</sup>/alveolo. Se prepararon el mismo número de plantas en dos condiciones fisiológicas distintas. La mitad de ellas fueron inoculadas en el momento de la siembra con 30 cm<sup>3</sup>/planta de inóculo bruto (compuesto de suelo rizosférico, raicillas, esporas e hifas extramatriciales), proveniente de un cultivo de sorgo previamente inoculado con el hongo MA Funneliformis mosseae BEG234 (aislado local de Tenerife, ICIA) cuya tasación mostraba un 72% de colonización y con 1 espora/gramo de suelo. La otra mitad de las plantas no recibieron inóculo.

Los semilleros (Foto 1) se colocaron en mesas calefactoras de vivero durante seis semanas tras las cuales, y después de comprobar mediante una tinción específica (Phillips y Hayman 1970, modificada por Koske y Gemma 1989) la presencia del hongo MA en el interior de las raíces, las plantas se trasplantaron a macetas de 22 cm de diámetro y 6 litros de capacidad, empleando el mismo sustrato descrito anteriormente, donde permanecieron diez semanas más en condiciones de invernadero. Durante las 16 semanas que permanecieron en el invernadero, las plantas se fertirrigaron cuatro veces a la semana con solución nutritiva baja en fósforo (Hewitt 1952). Finalizado este período de tiempo y con el fin de evaluar el efecto de la simbiosis sobre el desarrollo de las plantas,

se evaluaron en ocho plantas de cada tratamiento, las variables experimentales relacionadas con el crecimiento: peso fresco (g) y longitud (cm) de la parte aérea y de la raíz, superficie foliar (cm<sup>2</sup>) (National Institutes of Health, 2019), colonización micorrícica (%) y nutrición foliar. Para este último análisis se estudió tanto el contenido en proteína como los siguientes nutrientes en las hojas de moringa: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso y cobre.



Foto 1. Plántulas de *Moringa oleifera* durante la fase de semillero.

### Fase de campo

El resto de las plantas (20 plantas por tratamiento) fueron llevadas campo, instalándose en la finca de La Estación de Güímar (ICIA) y distribuidas con un marco de plantación de 30 centímetros entre plantas y 60 cm entre hileras (Foto 2). Tras su trasplante a campo se regaron mediante riego por goteo con el agua disponible en la finca con un caudal de 3.8 litros/hora tres días a la semana. La finca localizada en el municipio de Güímar está sujeta a unas condiciones climatológicas adversas, con suelos semiáridos, pocas lluvias y vientos frecuentes. Este ensayo se inició en el año 2015 y los árboles aún continúan en la finca, siendo los datos reportados en este estudio los correspondientes al período 2015-2019.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del sustrato utilizado en el ensayo.

Prop. generales		Cationes de cambio		Nutrientes		Cationes e iones de la solución del suelo			
pH	7,14	CIC (cmolc Kg <sup>-1</sup> )	28,80	P (ppm)	14,51	Ca (meq L <sup>-1</sup> )	1,73	CO <sub>3</sub> (meq L <sup>-1</sup> )	0,00
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,38	Ca (cmolc Kg <sup>-1</sup> )	11,93	Fe (ppm)	7,15	Mg (meq L <sup>-1</sup> )	0,82	HCO <sub>3</sub> (meq L <sup>-1</sup> )	0,46
MO (%)	0,73	Mg (cmolc Kg <sup>-1</sup> )	5,78	Mn (ppm)	4,10	Na (meq L <sup>-1</sup> )	1,49	Cl (meq L <sup>-1</sup> )	0,65
		Na (cmolc Kg <sup>-1</sup> )	1,09	Zn (ppm)	15,45	K (meq L <sup>-1</sup> )	0,16	S-SO <sub>4</sub> (meq L <sup>-1</sup> )	2,55
		K (cmolc Kg <sup>-1</sup> )	1,69	Cu (ppm)	0,52			N-NO <sub>3</sub> (meq L <sup>-1</sup> )	8,93
				N (ppm)	525,84				

MO: Materia orgánica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; cmolc Kg<sup>-1</sup>: centimoles de carga por kilo de suelo.



**Foto 2.** Plantas y árboles de *Moringa oleifera* en la finca de Güimar. Arriba: en el momento de la plantación izda. (2014) y un año después en pleno desarrollo dcha. (2015). Abajo : Árboles adultos (2018).

Durante la fase de desarrollo en campo se realizaron labores de mantenimiento, respetando flora autóctona no invasiva y con laboreo nulo del suelo.

Anualmente se recogieron muestras de las hojas jóvenes y maduras de los árboles de ambos tratamientos para analizar la evolución de los efectos de la simbiosis sobre la calidad nutricional de las hojas de moringa en condiciones de campo.

Durante 4 meses, comprendidos entre noviembre de 2016 y febrero de 2017, se recolectaron y pesaron semanalmente las semillas de moringa maduras presentes en los árboles de ambos tratamientos.

#### **Determinación de la colonización radical**

Para determinar el porcentaje de colonización del hongo, se tomó tanto al final de la fase de semillero como antes del trasplante a campo, una parte alícuota de la raíz (20%). Las muestras fueron procesadas siguiendo la técnica de tinción descrita por Phillips y Hayman (1970) y modificada por Koske y Gemma (1989) blanqueándolas primero con KOH al 2.5% y teñidas a continuación con azul trypan al 0.05%. El porcentaje de colonización de las raíces de cada planta se determinó a partir de 10 trozos de 1 cm de longitud de raíz teñida, que fueron

observadas al microscopio óptico siguiendo la técnica de Brundrett *et al.* (1985).

#### **Análisis nutricional de las hojas de moringa**

El análisis nutricional foliar de la moringa fue realizado en el Laboratorio Agrario Regional (LAR) del ICIA de acuerdo al siguiente protocolo: las hojas fueron secadas a 60 °C durante 24 horas en un horno con ventilación controlada y convertidas en polvo (<1.0 mm) en un molino (Foss Cyclotec 1093). Para la determinación de nutrientes y micronutrientes las muestras fueron mineralizadas en un horno mufla (Carbolite ELF 11/6) a 500 °C durante 3 horas con HCl 2M. Los siguientes elementos: calcio, magnesio, potasio, hierro, cobre y manganeso, se determinaron por espectroscopía de absorción atómica (Thermo Scientific Series S4). El contenido en proteína fue determinado mediante el método Kjeldahl en un bloque digestor (Selecta M-24) con un destilador semi-automático (Büchi B-324).

#### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se procesaron mediante la hoja de cálculo Excell y tras comprobar su normalidad se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). Se aceptaron

diferencias significativas para  $p < 0.05$ , aplicando el test de LSD.

## Resultados

### Beneficios de la micorrización temprana sobre el desarrollo vegetativo de *Moringa oleifera*

La inoculación micorrícica con *F. mosseae* durante la fase de semillero incrementó significativamente el desarrollo de las plantas de moringa en relación a los controles sin inocular.

Dieciséis semanas después de la inoculación, los datos muestran que el peso fresco de la parte aérea y de la raíz aumentaron al doble y al triple de su peso respectivamente, cuando las plantas estaban micorrizadas (Figura 1). Las plantas micorrizadas eran además significativamente más altas, un 42% respecto al control y la superficie foliar de sus hojas duplicaban los valores alcanzados por las plantas control (Figura 2). En esta fase de desarrollo, la colonización micorrícica de las plantas inoculadas era de un 55%, lo que permite confirmar el efecto positivo de la instalación de la simbiosis durante la fase de siembra. Estos resultados son comparables con los obtenidos con otras plantas forrajeras, como tедера (*Bituminaria*

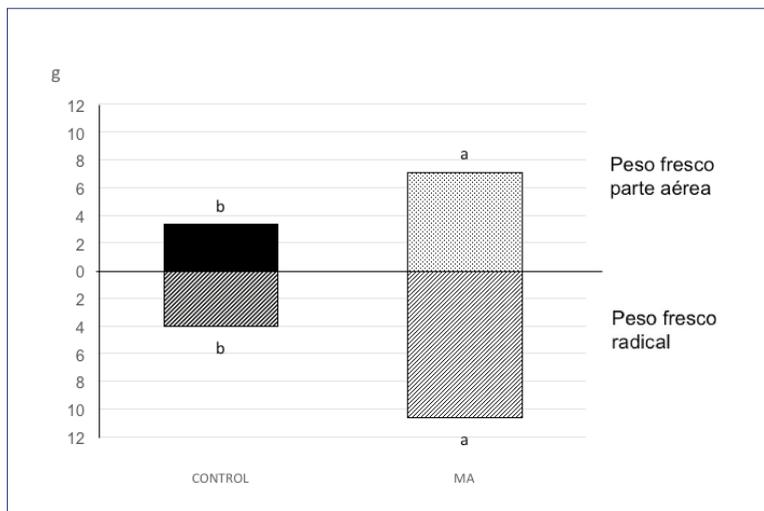
*bituminosa*), forrajera local de las Islas Canarias, que tiene una demostrada capacidad de beneficiarse de esta simbiosis mejorando el desarrollo de biomasa y el contenido en nutrientes (Jaizme-Vega *et al.*, 2001b).

Estos resultados demuestran la capacidad micotrófica de las plantas de moringa y la buena compatibilidad existente entre el hongo nativo y las plantas de moringa durante las primeras fases de desarrollo.

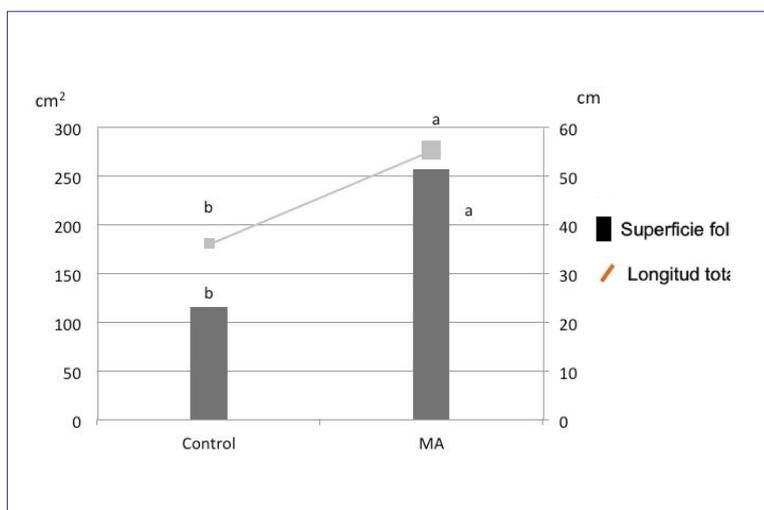
### Valoración de la simbiosis micorrícica en la composición nutricional de las hojas de *Moringa oleifera*

El efecto de la micorrización sobre la composición nutricional de las hojas de moringa se valoró por primera vez a las 16 semanas de la siembra e inoculación en semillero, antes de su trasplante a campo. Dos años después de instalar las plantas en Güimar se comenzaron a tomar muestras anuales en el mes de septiembre para evaluar el efecto de la micorrización de moringa en la acumulación de nutrientes en las hojas a lo largo del tiempo. Este dato es un buen bioindicador de la calidad de las hojas y de su potencial como complemento nutricional.

En las primeras 16 semanas apenas se observó variación en la acumulación de los nutrientes determinados en las hojas (calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso



**Figura 1.** Efecto de la inoculación temprana con *F. mosseae* sobre el peso fresco de la raíz y de la parte aérea en plantas de moringa después de 16 semanas en condiciones de vivero. (MA plantas micorrizadas, CONTROL plantas sin inocular). Los valores señalados con la misma letra no difieren significativamente según el test LSD ( $P < 0.05$ ) ( $n=8$ ).



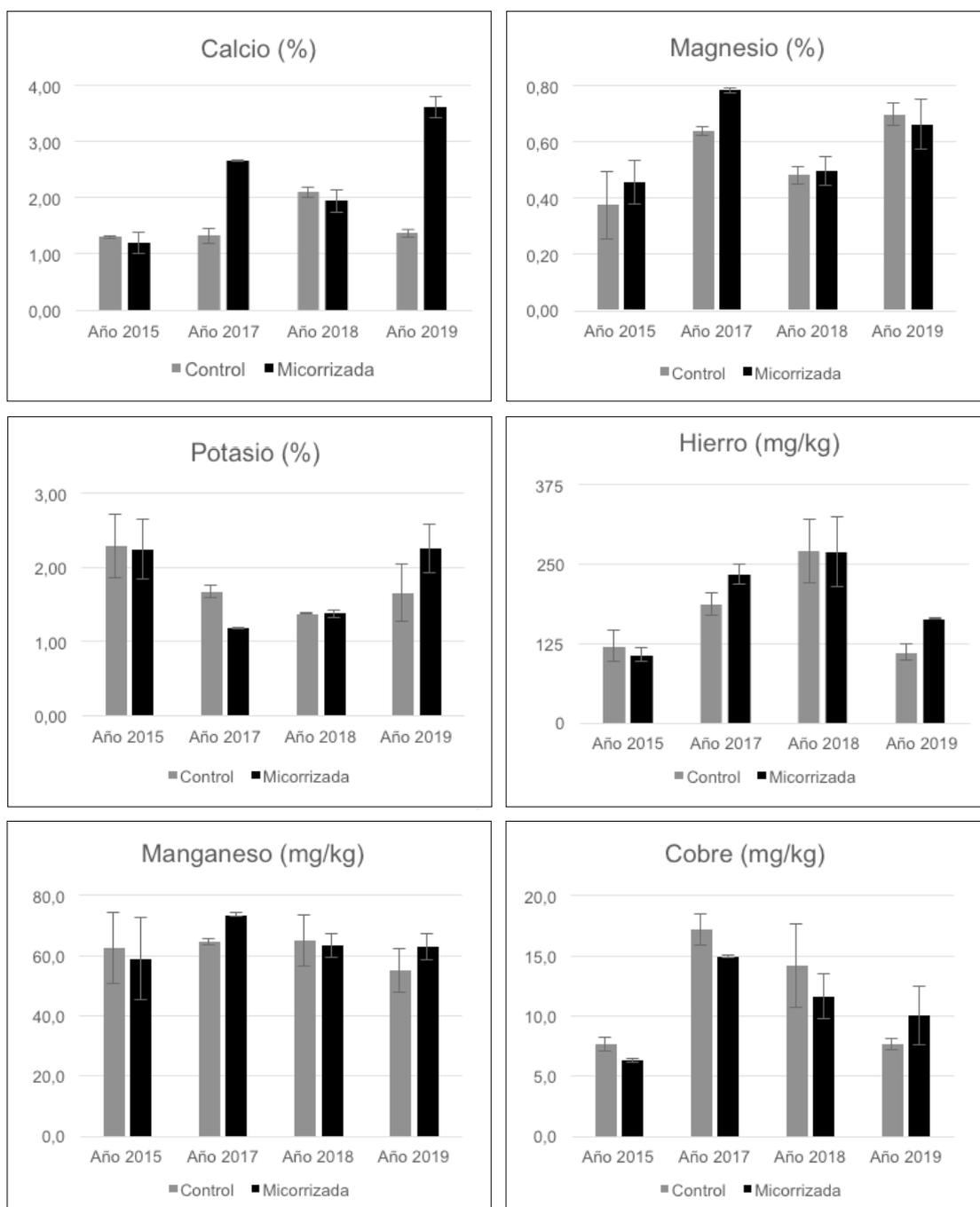
**Figura 2.** Efecto de la inoculación temprana con *F. mosseae* sobre la superficie foliar y la longitud total de plantas de moringa después de 16 semanas en condiciones de vivero. (MA plantas micorrizadas, CONTROL plantas sin inocular). Los valores señalados con la misma letra no difieren significativamente según el test LSD ( $P < 0.05$ ) ( $n=8$ ).

y cobre), obteniéndose valores muy semejantes entre la planta de moringa control y micorrizada (año 2015, Figura 3). Estos resultados pueden ser debidos al tamaño de las plantas y a su escaso desarrollo vegetal, por lo que etapas tempranas podrían no ser adecuados para evaluar estos parámetros nutricionales.

A los dos años tras su trasplante a campo, las variaciones en la concentración de nutrientes en las hojas de moringa sufrieron una evolución sustancial (año 2017, Figura 3). Los valores de calcio duplicaron su valor en la planta micorrizada respecto al control, pasando de 1.34 a

2.67 %, y la acumulación de hierro aumentó en un 26% respecto al control. Otros elementos como el magnesio, cinc y manganeso también registraron un aumento de su concentración respecto al control. Se observó sin embargo una disminución del potasio en un 30% y una ligera disminución en la acumulación de cobre en la planta micorrizada respecto al control.

A los tres años tras su trasplante a campo, se observan resultados dispares dependiendo del nutriente analizado (año 2018, Figura 3), algo que ocurre también en el cuarto año tras el trasplante (año 2019, Figura 3). La



**Figura 3.** Evolución a largo de 4 años de cultivo en campo de la composición nutricional de las hojas de plantas de *Moringa oleifera* inoculadas (Micorrizadas o no (Control) con *F. mosseae* durante la fase de semillero. Las barras de error representan la desviación estándar (SD) de la media de tres repeticiones.

tendencia general que se observa es una igualación de los nutrientes en las hojas de moringa en las dos condiciones de estudio, control y micorrizada, a excepción del calcio, donde el valor de la condición micorrizada respecto al control se ha triplicado. Estos resultados de equiparación de los nutrientes pueden ser debidos al mayor desarrollo de los árboles de moringa y a una posible micorrización natural de los árboles de moringa control en campo.

Hasta el momento no se han encontrado referencias de trabajos experimentales donde se evalúe en condiciones de campo el efecto de la inoculación micorrízica sobre la acumulación de nutrientes en foliares a lo largo del tiempo. Podemos considerar, por lo tanto, que este trabajo es pionero al plantear este objetivo en una especie de interés agrícola y ganadero, de interés en medicina y capaz de beneficiarse de la simbiosis micorrízica.

Los resultados obtenidos muestran una evolución favorable en la acumulación de nutrientes en las plantas de moringa micorrizadas frente al control a medio plazo, tendiendo a la estabilización de los mismos en ambas condiciones a largo plazo.

#### **Ventajas del manejo agroecológico de *Moringa oleifera* y su repercusión en la producción de semillas**

La producción de semillas se vio afectada por la presencia de los hongos micorrízicos en las plantas de moringa. En la primera fecha del mes de noviembre se recogieron la mayoría de las semillas producidas durante la floración y fructificación de las vainas de moringa (Foto 3), observándose ya una diferencia del 30% entre las semillas recogidas de árboles micorrizados y aquellos que no (Figura 4). Durante las semanas posteriores esta tendencia se mantiene constante, llegando a recolectarse un 60% más de semillas al final del período en los árboles micorrizados frente a los controles. Estos resultados

reflejan la influencia beneficiosa de la micorrización en la producción de semillas en árboles de más de un año de edad, manejados bajo técnicas agroecológicas y en las condiciones edafológicas y climatológicas del archipiélago canario. Hasta este momento no se han publicado datos en este sentido, por lo que estos resultados son novedosos y animan a seguir profundizando en el conocimiento de esta simbiosis sobre este cultivo.

#### **Conclusiones**

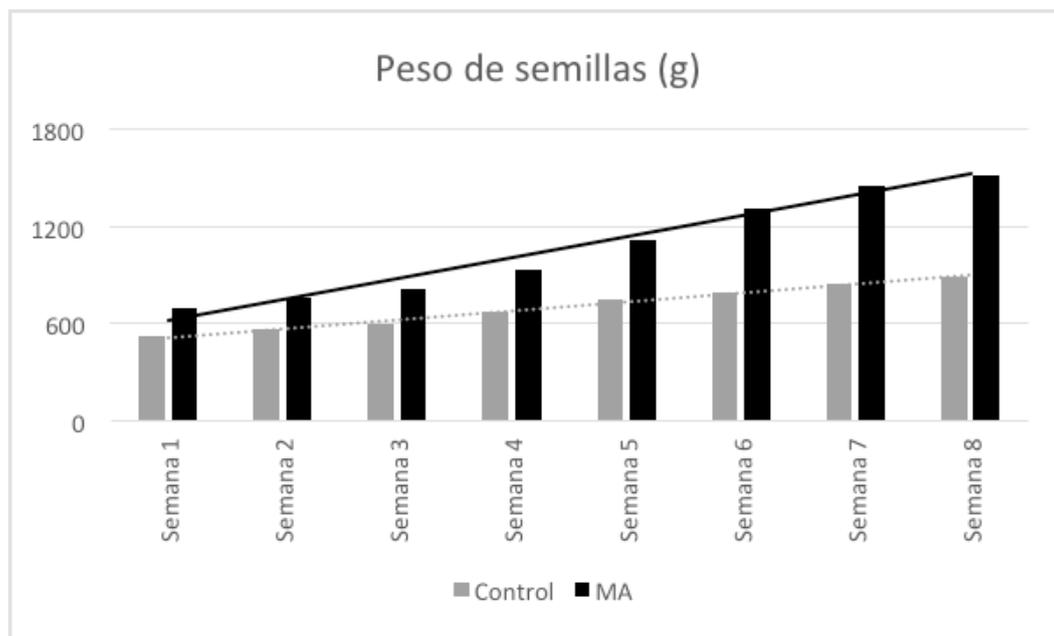
Aunque en la actualidad la práctica de la micorrización está establecida, al menos de manera teórica, como una herramienta agroecológica para mejorar la productividad y calidad de un amplio rango de especies de plantas con interés agronómico, no son frecuentes las aportaciones científicas de efectos constatables en condiciones de campo, y menos aún estudios a largo plazo.

Nuestros resultados concluyen que la *Moringa oleifera* puede incorporarse a la lista de especies capaces de beneficiarse de la simbiosis, y que sus efectos se rentabilizan tanto en el desarrollo y la nutrición de la planta durante las primeras fases de cultivo, como en condiciones reales de campo donde además las ventajas de la inoculación temprana se evidencian también sobre la producción de semillas. Este dato es especialmente interesante, no solo por el interés de estos frutos para la alimentación humana y animal, y para la aplicación de técnicas de supervivencia en países en vías de desarrollo, como la depuración de aguas, sino porque aporta un dato novedoso a la escasa información que existe en la literatura científica relacionada con los efectos prácticos de la micorrización en condiciones reales de experimentación.

Estas conclusiones confirman la importancia de esta estrategia agroecológica como un instrumento indispensable en la agricultura sostenible del futuro y en el



**Foto 3.** Flores y vaina con semillas de *Moringa oleifera*.



**Figura 4.** Evolución semanal del peso acumulado de semillas producidas por 20 plantas de *Moringa oleifera* inoculadas durante la fase de semillero con *F. mosseae* (MA) y 20 plantas sin inocular (Control), después de 18 meses en condiciones de campo.

desarrollo de un cultivo de moringa de calidad. Mejorar la calidad del cultivo de moringa, incrementar la producción de semillas, y obtener hojas más nutritivas, permitirá a la población de países africanos incorporar el cultivo de moringa dentro de sus huertos y plantaciones, para ayudar en su alimentación diaria y ser una herramienta de cambio para la erradicación de la desnutrición en estos países.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del Proyecto subvencionado por la Convocatoria Torres Quevedo (PTQ-16-08521), del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España (2017-2020) (actualmente Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) con la colaboración del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) para el desarrollo de los experimentos, disponibilidad de instalaciones, personal cualificado y apoyo en las analíticas de nutrientes realizadas Laboratorio Agrario de dicha institución.

#### Bibliografía

Ahmad J, Khan I, Blundell, R. 2019. *Moringa oleifera* and glycemic control: A review of current evidence and possible mechanisms. *Phytotherapy Research* 33: 2841-2848.

Arnés-García M, Garzón-Molina M, Lobo-Rodrigo G, Méndez-Pérez P, Jaizme-Vega MC. 2015. Optimización del cultivo de *Moringa oleifera* Lam. mediante el empleo de hongos micorrízicos: aspectos agronómicos y nutricionales. I Jornadas Antonio Bello. XXIV Jornadas Técnicas

SEAE. 29-31 octubre. EPSI Secc. Ingeniería Agraria, Universidad La Laguna (Tenerife, España).

Bernal AR, Arnés-García M, Garzón-Molina M, Méndez-Pérez P, Lobo MG, Jaizme-Vega MC. 2016. Optimización del cultivo de *Moringa oleifera* mediante el manejo de microorganismos del suelo en zonas áridas y semiáridas. XII Congreso SEAE Las Leguminosas: clave en la gestión de los agrosistemas y la alimentación ecológica. 21-24 septiembre, Lugo (España).

Bhutada PR, Jadhav AJ, Pinjari DV, Nemade PR, Jain RD. 2016. Solvent assisted extraction of oil from *Moringa oleifera* Lam. seeds. *Industrial Crops and Products* 82: 74-80.

Brundrett MC, Piché Y y Peterson RL. 1985. A developmental study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Canadian Journal of Botany* 184-194.

Brunetti C, Loreto F, Ferrini F, Gori A, Guidi L, Remorini D, Centritto M, Fini A, Tattini M. 2018. Metabolic plasticity in the hygrophyte *Moringa oleifera* exposed to water stress. *Tree Physiology* 38: 1640-1654.

Farrokhzadeh H, Taheri E, Ebrahimi A, Fatehizadeh A, Dastjerdi MV, Bina B. 2013. Effectiveness of *Moringa oleifera* powder in removal of heavy metals from aqueous solutions. *Fresenius Environmental Bulletin* 22: 1516-1523.

Hewitt EJ. 1952. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. C.A.B. Technical Communication 22.

Honrubia M. 2009. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de

- años. Anales del Jardín Botánico de Madrid. Volumen 66S1: 133-134.
- National Institutes of Health. 2019. Program ImageJ. <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- Jaizme-Vega MC y Azcón R. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 213-217.
- Jaizme-Vega MC, García P, Rodríguez-Romero AS, Tenoury P. 2001a. Empleo combinado de plantas aromáticas y micorrizas sobre *Meloidogyne incognita* en tomate. *Actas de Horticultura* 30: 1267-1274.
- Jaizme-Vega MC, Mendez P, Flores H. 2001b. Efecto de la micorrización sobre la tederá (*Bituminaria bituminosa*) en las primeras fases del cultivo. Biodiversidad en pastos. Ponencias y comunicaciones de la XLI Reunión Científica de la SEEP. I Foro Iberoamericano de Pastos. Alicante 181-187.
- Jaizme-Vega MC, Esquivel M, Tenoury P, Rodríguez-Romero AS. 2002. Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de dos cultivares de platanera micropropagadas. *INFOMUSA*. Volumen 11(1): 25-28.
- Jaizme-Vega MC, Rodríguez-Romero AS, Barroso LA. 2006. Effect of the combined inoculation of two arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on papaya (*Carica papaya* L.) infected with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Fruits* 61: 151-162.
- Jaizme-Vega MC y Rodríguez-Romero AS. 2008. Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología* 3: 33-39.
- Jaizme-Vega MC. 2019. Las micorrizas, una estrategia agroecológica para optimizar la calidad de los cultivos. *Phytoma España e Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA)*. ISBN: 978-84-946691-5-6.
- Kana JR, Keambou TC, Juliano RS, Lisita F, Sultant MY, Hervé MK, Tegua A. 2015. Effects of substituting soybean with *Moringa oleifera* meal in diets on laying and eggs quality characteristics of Kabir chickens. *Journal of Animal Research and Nutrition* 1(4): 1-6.
- Koegel S, Boller T, Lehmann MF, Wiemken A, Courty PE. 2013. Rapid nitrogen transfer in the *Sorghum bicolor-Glomus mosseae* arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Signaling & Behavior* 8(8): 1-3.
- Koske RE y Gemma JH. 1989. A modified procedure for staining root to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92: 486-505.
- Leone A, Spada A, Battezzati A, Schiraldi A, Aristil J, Bertoli S. 2015. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: an overview. *International Journal of Molecular Sciences* 16: 12791-12835.
- Nouman W, Basta SMA, Siddiqui MT, Yasmeen A, Gull T, Alcayde MAC. 2014. Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38: 1-14.
- Phillips JM y Hayman DS. 1970. Improve procedures for cleaning roots and stain parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Razis AFA, Ibrahim MD, Kntayya SB. 2015. Health benefits of *Moringa oleifera*. Mini-review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 15: 8571-8576.
- Rubio-Sanz L, Arnés M, Jaizme-Vega MC. 2018a. Ventajas de la micorrización temprana sobre el desarrollo y la calidad nutricional de *Moringa oleifera* Lam. IV Jornadas Técnicas Agroecología Antonio Bello. 18-21 abril. Vila-Real (Castelló, España).
- Rubio-Sanz L, Garzón-Molina M, Arnés-García M, Jaizme-Vega MC. 2018b. Ventajas de la micorrización temprana sobre el desarrollo y la calidad nutricional de la moringa en condiciones reales de cultivo. IX Simposio Nacional y VI Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrícica. 23-27 septiembre. Mazatlán (Sinaloa, México).
- Rubio-Sanz L, Jaizme-Vega MC. 2020. Mycorrhization of *Moringa oleifera* improves growth and nutrient accumulation in leaves. *Journal of Plant Nutrition* (aceptado para su publicación).
- Wang B, Qiu YL. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16(5): 299-363.
- Yuan S, Li M, Fang Z, Liu Y, Shi W, Pan B, Wu K, Shi J, Shen B, Shen Q. 2016. Biological control of tobacco bacterial wilt using *Trichoderma harzianum* amended bioorganic fertilizer and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*. *Biological Control* 92: 164-171.