

**MÁSTER PROPIO EN AGROECOLOGÍA,  
SOBERANÍA ALIMENTARIA, ECOLOGÍA URBANA  
Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO RURAL**

**“Restauración de los suelos semiáridos mediante el uso de una  
planta forrajera (*Bituminaria Bituminosa L.*) y microorganismos  
benéficos”**

**CURSO 2020-2021**

**Alumna: Sandra Salas González**

**Tutora: María Del Carmen Jaizme-Vega**

**Cotutora: Marta Selma Garzón Molina**

**En San Cristóbal de La Laguna, octubre de 2021**

# Resumen

La finalidad del presente proyecto es el estudio del uso de una planta leguminosa endémica de las Islas Canarias, utilizada principalmente para el forraje del ganado *Bituminaria bituminosa*, como una potencial regeneradora de suelos, combinando su fijación de nitrógeno natural mediante bacterias del género *Rhizobium*, con la inoculación de hongos micorrícicos. Para ello se desarrollará el ensayo en un suelo semiárido ubicado en la zona sur de la isla de Tenerife con bajos índices en los parámetros de fertilidad.

**Palabras clave:** regeneración, *Bituminaria bituminosa* (*Tedera?*), agroecología, hongos micorrícicos

## **ACEPTACIÓN DEL TUTOR/A**

**Nombre:** María del Carmen Jaizme-Vega. **NIF:** 42046232R. **Cargo y procedencia:** Investigadora del ICIA. **Correo electrónico:** mcjaizme@icia.es .

*El tutor/a debe ser profesora del Máster Propio en Agroecología, Soberanía Alimentaria, Ecología Urbana y Cooperación al Desarrollo Rural de la Universidad de La Laguna.*

### **ACEPTA:**

ser tutor/a de **D/Dña.** Sandra Salas González , estudiante del Máster Propio en Agroecología, Soberanía Alimentaria, Ecología Urbana y Cooperación al Desarrollo Rural de la Universidad de La Laguna en el curso académico 2020/ 2021, con el tema: **RESTAURACIÓN DE LA FERTILIDAD EN SUELOS SEMIÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE UNA PLANTA FORRAJERA (*BITUMINARIA BITUMINOSA L.*) Y MICROORGANISMOS BENÉFICOS .**

Carlos Castilla  
Director del máster

**JAIZME  
VEGA MARIA  
DEL CARMEN  
- 42046232R**

Firmado digitalmente  
por JAIZME VEGA  
MARIA DEL CARMEN -  
42046232R  
Fecha: 2021.08.23  
13:38:37 +01'00'

Fdo.: Clic para escribir  
Tutor/a

# ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción .....	5
Fertilidad del suelo y la visión agroecológica.....	5
Parámetros de fertilidad .....	5
Resiliencia .....	6
Manejo de la fertilidad en el suelo .....	6
<i>Bituminaria bituminosa</i> .....	8
Clasificación botánica .....	8
Clasificación taxonómica.....	9
Variedades.....	9
Interés general y usos .....	11
Fijación de nitrógeno.....	11
Resistencia a la sequía.....	12
Hongos formadores de micorrizas arbusculares .....	13
Origen.....	13
Tipos de Hongos micorrícicos .....	14
Ectomicorrizas .....	14
Endomicorrizas.....	15
Ectendomicorrizas.....	15
Morfología y desarrollo de la simbiosis micorrícica.....	15
Efecto de las MA sobre el desarrollo de las plantas .....	17
Efectos sobre el crecimiento .....	17
Efectos sobre la captación de nutrientes .....	17
Efectos en las relaciones hídricas.....	18
Aplicación de los hongos micorrícicos en agroecología.....	18
Objetivo .....	20
Material y métodos .....	20
Fase de semillero .....	20
Material Vegetal.....	20
Inoculación micorrícica .....	20
Fase de campo .....	21
Emplazamiento del ensayo .....	21
Sustrato .....	21
Trasplante a campo.....	22

Diseño experimental .....	22
Galería fotográfica.....	22
Cronología .....	24
Variables experimentales .....	25
En suelo .....	25
Determinaciones microbiológicas.....	25
Determinaciones físico-químicas .....	27
En planta.....	27
Resultados.....	28
Primer levante del ensayo de Güímar.....	28
Variables de crecimiento.....	28
Variables nutricionales .....	30
Segundo Levante del ensayo de Güímar .....	32
Valores nutricionales.....	35
Análisis foliar .....	36
Análisis de suelos .....	37
Tercer levante del ensayo de campo .....	37
Análisis.....	37
Evolución del número de esporas iniciales en el suelo a lo largo de los levantes .....	38
Conclusiones.....	39
Programa estadístico .....	42
Bibliografía.....	42
• Martínez, S., Correal, E., Real, D., Ortuño, A., del Río J.A. 2010. Bituminaria bituminosa: a source of furanocoumarins of pharmaceutical interest. En: A.S. Awaad, J.N. Govil, V.K. Singh (eds). Recent Progress in Medicinal Plants. Vol 27. Drug Plants I, pp. 310-322.. Studium Press LLC, Houston, USA.....	42
• Méndez, M.O., Maier, R. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. Environmental Health Perspectives 116:278-283. ....	42
• Real, D., Verbyla, A. 2010. Maximizing genetic gains using a “plant” model in the Teder (Bituminaria bituminosa var. albomarginata and var. crassiuscula) breeding program in Australia. Options Méditerranéennes A 92:87-95 .....	42
• Walker, D.J., Bernal, M.P., Correal, E. 2007. The influence of heavy metals and mineral nutrient supply on Bituminaria bituminosa. Water, Air, and Soil Pollution 184:335-345 .....	42
• Manual Técnico Manejo del suelo en los sistemas de producción ecológica SEAE 2008, Juana Labrador, 2008.....	42

## Introducción

### Fertilidad del suelo y la visión agroecológica

La definición de fertilidad que nos podemos encontrar se refiere a la capacidad del suelo para sostener el crecimiento de las plantas agrícolas, proporcionarles un hábitat y producir rendimientos sostenidos y consistentes de muy alta cantidad.

En la agricultura convencional se considera la fertilidad como la aptitud de un suelo para suministrar nutrientes para el crecimiento de las plantas (Saña, 1996).

Mientras, el enfoque agroecológico, considera la fertilidad como la capacidad de un suelo de mantener de manera perdurable, un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación además de un alto grado de resiliencia; y todo ello dentro de una amplia gama de condiciones agroambientales, socioeconómicas y culturales. Por lo tanto, asume la fertilidad a nivel global como expresión del estado de los componentes y de los procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en un contexto ambiental y socioeconómico determinado. Las actuaciones para el manejo eficiente de la fertilidad deben ir enfocadas en primera estancia al conocimiento de los parámetros que la determinan y posteriormente a las interacciones entre esos parámetros con los componentes no edáficos del agrosistema (Saña, 1996).

### Parámetros de fertilidad

En cuanto a parámetros relacionados con el medio vivo, los estudios sobre fertilidad biológica abordan la actividad enzimática como un parámetro, ya que es un indicador de poblaciones microbianas activas y esa propiedad, en cierta manera, puede ser suministrada por la tasa de respiración. La utilización de la fauna edáfica como indicador de fertilidad del suelo, es también importante ya que su actividad puede influir en la tasa de descomposición de la materia orgánica, en el suministro de nutrientes, la infiltración, la conductividad hidráulica, la deposición de solutos a través del suelo, etc. La medida de parámetros tales como abundancia, diversidad o actividad de la fauna edáfica puede también ser considerados como indicadores de fertilidad (Labrador, 2008).

Todos los parámetros que participan en la fertilidad global del suelo a nivel edáfico, están íntimamente relacionados habiendo componentes que influyen sobre todos los ámbitos de la fertilidad como es el caso de la materia orgánica y el agua; y a su vez, todos ellos se ven afectados por otros componentes - climáticos, biológicos, geográficos, antrópicos, etc.- (Labrador, 2008).

## Resiliencia

Palabra clave en este estudio y que merece una mención especial, ya que se basa en la recuperación de un suelo. La resiliencia ha sido definida como la capacidad de un sistema de recuperar su estado inicial después de sufrir una perturbación (Herrick y Wander 1998), o como la capacidad de un sistema de retornar a un nuevo equilibrio dinámico después de una perturbación (Blum y Aguilar Santelises 1994). La resiliencia del suelo se ha relacionado con la calidad del suelo en términos de recuperación de sus funciones – producción sostenible y servicios ambientales- y dependería de las comunidades biológicas, el clima, el manejo del suelo, el tipo e intensidad de la perturbación y la escala de observación espacio-temporal.

## Manejo de la fertilidad en el suelo

El manejo del suelo deberá estar basado en la adopción de prácticas que permitan: potenciar y estimular la diversidad edáfica; un suministro equilibrado de nutrientes para evitar carencias y bloqueos; prácticas de manejo para mejorar la eficiencia de la dinámica del agua evitando su déficit y evitando la posible acumulación de sales y técnicas de gestión de la de materia orgánica, para optimizar las prácticas anteriores. Debe ir unido a prácticas agronómicas y mecánicas que impidan la degradación del suelo de cultivo -degradación producida por pérdida directa, por contaminación o por

eliminación de su biodiversidad- realizadas con aquellas que se ocupan del manejo de la vegetación cultivo y no cultivo, del control de plagas y enfermedades y de la gestión de la biodiversidad (Labrador, 2008).

Existen una serie de recomendaciones generales para optimizar el manejo de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica. Estas serían:

- La prioridad de adecuar el sistema de cultivo elegido de acuerdo a la capacidad agroecológica de producción del suelo.
- Los aportes de materia orgánica en forma de estiércol, compost, restos de cosecha, abonos verdes, tienen una función insustituible sobre todos los aspectos ligados a la vida microbiana y la salud del vegetal. Propicia unas condiciones edáficas satisfactorias para el correcto balance hídrico, ayuda a reducir la erosión y las deposiciones salinas y es indispensable para conseguir un grado óptimo de biodiversidad y actividad de la vida macro y microbiana en el suelo.
- El uso de prácticas específicas para la mejora de la biodiversidad edáfica –como la inoculación- y la eliminación de aquellas que puedan suponer alteraciones bruscas o pérdida de actividad.
- El control riguroso y la disminución de los biocidas empleados por las graves consecuencias que tiene su uso sobre la biodiversidad.
- La gestión adecuada de policultivos, rotaciones y cultivos asociados. Su uso aumenta el ciclado de nutrientes en el suelo, al conseguir con sus distintos sistemas radiculares explorar distintas profundidades en el perfil y con el aporte de sus residuos aumentar la diversidad del aporte orgánico.
- La recuperación de sistemas mixtos -agroforestales, agroganaderos, etc.
- La conservación del paisaje agrícola, que lleva consigo además de las anteriores, el aumento de la diversificación de los microclimas locales, la mejora y conservación del agua, el mantenimiento de una gran diversidad de hábitat y especies, etc. asociado a una mejora en la absorción de elementos, controla la eliminación de determinados fitopatógenos, etc. Cuando hablamos de "abonado en verde" hacemos referencia a la utilización de cultivos de vegetación rápida, que se cortan y se entierran en el mismo lugar donde han sido sembrados.
- La minimización de pérdidas por erosión con la adopción de medidas puntuales específicas para la conservación del suelo y el agua –además de las anteriores- como el no laboreo, el laboreo siguiendo las curvas de nivel, la realización de

terrazas de absorción y zanjas de infiltración, el control de las cárcavas, la disposición de setos vivos e implantación de sistemas agroforestales etc.

Debemos incidir en que las estrategias para la conservación del suelo deben apoyarse en estudios multidisciplinares, reconociendo el valor de las técnicas utilizadas por los agricultores tradicionales y mejorándolas con las posibilidades actuales. Conservar el suelo no implica solamente evitar su pérdida, implica igualmente controlar los procesos relacionados con su degradación (Labrador, 2008).

## *Bituminaria bituminosa*

### Clasificación botánica

Es una especie subarborescente, perteneciente a la familia Leguminosae (Fabaceae) (Acebes Ginovés *et al.*, 2010) que alcanza una altura máxima de 40-60 cm, con varios tallos poco ramificados (pluricaule). Las hojas basales son mayores que las caulinares, de 4-18 cm de longitud, lanceoladas, con 3-7 nervios marcados. Los peciolo son de 15-90 mm de largo, con 5-6 costillas, con un surco o canal entre las 2 costillas adaxiales. Las inflorescencias son mucho más largas que las hojas axilantes, globosas u ovoideas, con 15-25 flores. Cada planta puede llegar a tener 2500 inflorescencias, por lo que cada una podría producir hasta 70000 flores (Correal y col., 2008). El estandarte, alas y quilla de las flores son de color violeta a blanco-azulado (Flora Ibérica). Presenta una elevada producción de semillas, alcanzando 190 g de semillas por planta (Correal y col., 2008); Herranz y col. (1998).



Foto 1. Foto de Bituminaria Bituminosa

## Clasificación taxonómica



Reino	Plantae – Plantas
Subreino	Tracheobionta – Plantas vasculares
Superdivisión	Spermatophyta – Plantas con semillas
División	Magnoliophyta – Plantas con flores
Clase	Magnoliopsida – Dicotiledoneas
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae – Leguminosas
Sub-familia	Faboideae (Papilionoideae)
Tribu	Psoraleeae
Género	Bituminaria Heist. ex Fabr.
Especie	Bituminaria bituminosa (L.) C.H. Stirton

Foto 2. Clasificación taxonómica de Bituminaria Bituminosa.

## Variedades

*Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirton es una especie con tres intrataxones:

Variedad **bituminosa**, que aparece en toda la Cuenca mediterránea e Islas Canarias (precipitación anual de 200-800 mm), y variedades **albomarginata** (120-180 mm), y **crassiuscula** (zonas de alta montaña y fríos inviernos) que únicamente crecen de manera natural en las Islas Canarias.

Se reconocen tres taxones intraespecificos pertenecientes a la especie *Bituminaria bituminosa*:

1. *B. bituminosa* var. *albomarginata* (Famara, Lanzarote, Islas Canarias).
2. *B. bituminosa* var. *crassiuscula* (Teide, Islas Canarias).
3. *B. bituminosa* var. *bituminosa* (Islas Canarias y Cuenca Mediterránea).



Diferentes variedades de tедера (Méndez, 2016).

[http://www.rseapt.es/images/Eventos/2016/Charla\\_Leguminosas-Tu\\_SantaCruz.pdf](http://www.rseapt.es/images/Eventos/2016/Charla_Leguminosas-Tu_SantaCruz.pdf)

Las características generales de las tres variedades que aparecen en el archipiélago canario son las siguientes:

- **Var. bituminosa canaria, cv. Tenerife:** porte arbustivo bajo con elevado grado de lignificación en tallos. Hojas basales pequeñas y superiores más pequeñas y cortamente pecioladas. Inflorescencia cortamente pedunculada y con bajo número de flores. Flores de color azul pálido, comparables a las de poblaciones peninsulares, pero más pequeñas que las de la var. *crassiuscula*. Semilla grande, pero con pico corto y glabrescente.

- **Var. albomarginata, población Famara (Lanzarote):** próxima a Tenerife, pero de menor porte y forma almohadillada. Hojas algo mayores, con borde "albo" muy peloso. Semillas mayores, con pico más largo, estilizado y peloso.

- **Var. crassiuscula, población Boca de Tauce - Cañadas del Teide:** porte superior a las anteriores. Ramificación próxima a roseta, con numerosos escapos poco lignificados. Hojas con peciolo y folíolos mayores, algo crasos y color más claro. Las hojas superiores son más estrechas, lo que junto a la ramificación le aproxima a los grupos peninsulares. Inflorescencia largamente pedunculada y con gran número de flores de color casi blanco y de mayor tamaño que anteriores. Semilla grande, con pico largo, similar a *albomarginata*, pero glabra

Las poblaciones de *Bituminaria bituminosa* (tedera) de las islas Canarias se encuentran repartidas por los pisos bioclimáticos árido-semiárido (precipitaciones  $\leq 350$  mm) (*B. bituminosa* var. *albomarginata*), Termocanario seco-subhúmedo (precipitaciones 350-800 mm) (*B. bituminosa* var. *bituminosa*), y Mesocanario seco (precipitaciones 350-600mm con nieve ocasional) (*B. bituminosa* var. *crassiuscula*).

De manera general, el material vegetal peninsular (var. *bituminosa*) tiene poco interés forrajero, pero se adapta a un gran rango de suelos, altitudes y pluviometrías, lo que explica su amplia distribución por la península Ibérica y países de la Cuenca Mediterránea. Por el contrario, la variedad *bituminosa* del archipiélago canario es cosechada como forraje para el ganado y a diferencia del material peninsular, el canario tiene mayor tendencia a comportarse como perenne y produce mayor cantidad de biomasa forrajera

*B. bituminosa* es una planta indiferente edáficamente, que puede colonizar un amplio rango de bioclimas, que varía desde el termomediterráneo-semiárido o el infracanariosemiárido, al supramediterráneo-subhúmedo o mesocanario-subhúmedo (Rivas Martínez y col., 1999; Muñoz y col., 2000). Se encuentra distribuida por toda la

Cuenca Mediterránea, y archipiélago canario, donde se han identificado además dos variedades perennes (var. *albomarginata* y var. *crassiuscula*) que no están presentes en la península Ibérica. La variedad bituminosa o “común”, es la que se encuentra presente en todas partes. Además de que existen diferencias morfológicas entre el material canario y peninsular, Pazos-Navarro y col., (2011) encontraron evidencias de diferencias genéticas entre variedades peninsulares y canarias. Las variedades canarias tienen un mayor carácter de perennidad que las peninsulares, que tienden a ser bianuales.

## Interés general y usos

El interés de estudio de esta planta deriva de sus múltiples aplicaciones potenciales. Se ha utilizado de manera tradicional en la producción de alimento para ganado en las Islas Canarias, y existe un creciente interés internacional por el uso forrajero de *B. bituminosa*, utilizándose actualmente como planta modelo en programas de producción de forraje en Australia (Real y Verbyla 2010). Por otro lado, esta especie también crece de manera natural en suelos contaminados con elevadas concentraciones de metales pesados, como en la Sierra Minera de La Unión (Murcia, España) (Walker et al. 2007), por lo que resulta muy relevante evaluar su aplicabilidad en la fitorremediación en este tipo de suelo con clima semiárido. Finalmente, otro de sus usos está relacionado con el hecho de que los frutos y hojas de *B. bituminosa* pueden llegar a acumular altas concentraciones de furanocumarinas: psoraleno y angelicina (Martínez et al. 2010), compuestos de amplia aplicación farmacéutica.

### **Fijación de nitrógeno**

La fijación simbiótica de nitrógeno en los nódulos de las leguminosas es el resultado de una serie de complejas interacciones entre la bacteria *Rhizobium* y las raíces de la planta. Las leguminosas son capaces de establecer relaciones simbióticas en condiciones extremas, como en zonas desérticas o zonas contaminadas por metales pesados, por lo que esta familia supone una de las más abundantes en territorios hostiles (Gehlot y col., 2012).

**Tabla 1.3.2.-** La cantidad de N<sub>2</sub> fijado por leguminosas es altamente variable (desde 5 KgN ha<sup>-1</sup> en pastizales naturales, hasta 400 KgN ha<sup>-1</sup>). La tabla muestra ejemplos representativos de las cantidades de N<sub>2</sub> fijado gracias a interacciones entre leguminosas comestibles y sus correspondientes especies de bacterias del género *Rhizobium* (West y Mallarino, 1996; Racca y col., 2001).

Leguminosa	Nitrógeno fijado KgN ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Especie de rizobio
Alfalfa	200-250	<i>Rhizobium meliloti</i>
Altramuz	150	<i>R. lupini</i>
Garbanzo	60-80	<i>R. leguminosarum</i>
Guisante	100	<i>R. leguminosarum</i>
Judía	50	<i>R. phaseoli</i>
Lenteja	100	<i>R. leguminosarum</i>
Meliloto	100-125	<i>R. meliloti</i>
Soja	80-90	<i>R. japonicum</i>
Trébol	100-150	<i>R. trifolii</i>
Vicia	100-120	<i>R. leguminosarum</i>

## Resistencia a la sequía

Aumentar la eficacia del agua dentro de sistemas agrícolas es una prioridad esencial en muchas regiones, incluyendo la mediterránea (Parry y col., 2005) (“More crop per drop”). Antes de proceder a hablar sobre sequía, se definirán unos términos claves en cuanto las relaciones hídricas de las plantas.

Se puede definir sequía como la carencia de humedad disponible en una región particular en última instancia como resultado de la sequedad del suelo (Iljin, 1957). Las estrategias empleadas por plantas frente a sequía, también definida como periodo extenso con aporte subóptimo de agua.

La tедера presenta características que la catalogan como una especie que posee una elevada resistencia a la sequía. Aunque escapa de la sequía estival mediante la pérdida de parte de sus hojas, las poblaciones más tolerantes estarán mejor adaptadas para soportar periodos secos, tanto en verano como durante el resto del año, evitando el estrés interno a través del mantenimiento de sus relaciones hídricas. La selección de cada variedad dependerá del uso en el que se pretendan utilizar, habiéndose detectado diferencias en sus respuestas fisiológicas frente a sequía (Real y Verbyla, 2010).

Además, en ensayos iniciales, Teakle y Real (2010), observaron una relativa tolerancia de *B. bituminosa* (población Canaria, *var. albomarginata*) frente a la salinidad y/o encharcamiento (hipoxia).

# Hongos formadores de micorrizas arbusculares

## Origen

En 1885, Albert B. Frank, botánico y patólogo alemán describió por primera vez la estructura y el funcionamiento de una asociación entre las raíces de un árbol y una especie de hongos del suelo (Frank y Trappe, 2005). Hoy sabemos que la mayoría de las especies vegetales que cubren la tierra viven asociadas a ciertos hongos del suelo, pertenecientes al phylum Glomeromycota, con lo que establecen una simbiosis mutualística denominada “micorrizas” (Smith y Read, 1997). Etimológicamente la palabra derivada de los términos griegos Mycos (hongo) y Rhiza (raíz) (Harley y Smith, 1983). La importancia de esta asociación mutualista radica en el hecho de que el micelio del hongo infecta la corteza radical a modo de endófito y proyecta sus hifas tanto al interior como el exterior de la raíz, lo que se traduce en un aumento de la absorción de nutrientes minerales por parte de la raíz, jugando un papel elemental en la translocación de iones fosfatos hacia la planta. Este hecho convierte en especial la actividad micorrízica, sobre todo en aquellos suelos con niveles bajos en fósforo asimilable, algo típico en los suelos agrícolas. Al mismo tiempo, el hongo obtiene compuestos carbonatados procedentes de la fotosíntesis de la planta hospedadora (Harley y Smith, 1983; Azcón – Aguilar y Barea, 1995) y lo resguarda de fenómenos antagónicos microbianos de la rizosfera (rev. Barea et al., 2005).

Las plantas dependen en mayor y menor medida del establecimiento de la simbiosis, para su correcto desarrollo. Esta dependencia, denominada grado de micotrofia, es especialmente relevante en la mayoría de las plantas y árboles de interés agrícola y comercial. Así podemos distinguir plantas con distintos grados de dependencia micotrófica.

- **Plantas micotróficas obligadas:** cuyo desarrollo es muy deficiente si no cuentan con dicha asociación.
- **Plantas micotróficas facultativas:** no precisan de la simbiosis para su desarrollo, pero en determinadas condiciones crecen mucho mejor con ellas.
- **Plantas no micotróficas:** son aquellas que no forman micorrizas.

Esta simbiosis es prácticamente universal y no solo porque se estime que más del 90% de las especies vegetales conocidas son susceptibles de formar micorrizas (Smith y Read, 1997), sino porque además se conoce su existencia en la mayoría de los hábitats

naturales, siendo la “infección fúngica” más extendida del planeta. Generalmente, los suelos contienen suficiente población de hongos micorrícicos para que la simbiosis se produzca de manera óptima. En este caso, se puede favorecer la eficiencia de la micorriza a través del manejo cultural de los hongos nativos del suelo, o mediante la inoculación, aunque es aconsejable, dado el caso, la utilización de micorriza nativa y evitar en la medida de lo posible, la introducción de hongos exóticos

## Tipos de Hongos micorrícicos

Los hongos con capacidad micorrícica se diferencian filogenéticamente e infectan amplios grupos de plantas hospedadoras. De modo general, las micorrizas se clasifican, según su estructura y morfología en dos grandes grupos: ectotróficas y endotróficas, aunque existe un tercero denominado ectendomicorrizas (Figura 1).

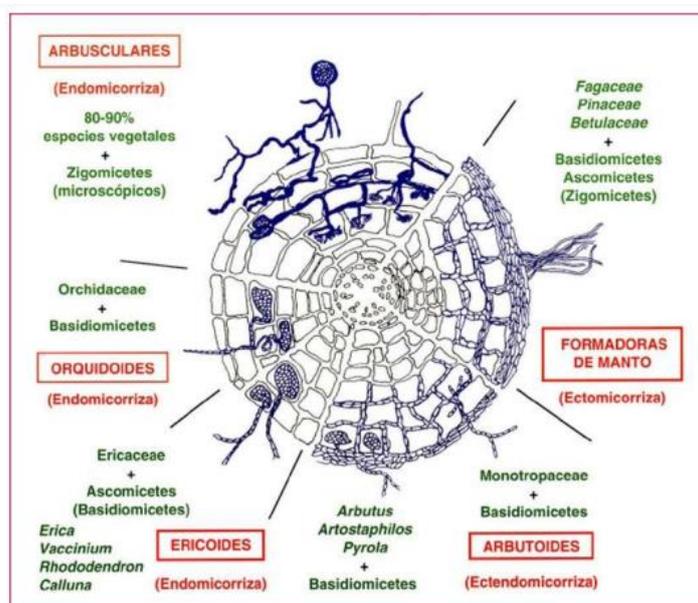


Figura 1. Tipos de micorrizas. (Extracto tesis doctoral Arriagada, 2001, con el permiso de José Miguel Barea, 1998).

## Ectomicorrizas

Este tipo está presente en el 3% de las plantas superiores, principalmente en plantas forestales y leñosas de zonas boreales y templadas. En esta simbiosis la hifa no penetra en el interior de las células corticales de la raíz, solo avanza de modo intercelular (red de Hartig) y se desarrolla a modo de manto fácilmente visible alrededor de las raíces más finas (Harley y Smith, 1983). Son cultivares de manera axénica en medios de cultivo sintéticos. Los hongos que las generan son en su mayoría Basidiomycetes y Ascomicetes (trufas) algunos de ellos comestibles.

## Endomicorrizas

Es el tipo de micorriza más extendido en la naturaleza y el que forman las plantas con interés agronómico. No forman manto fúngico sobre la raíz y las hifas del endófito crecen inter e intracelularmente. Para observarlas precisamos técnicas de tinción del tejido radical y su posterior montaje para el microscopio óptico. Son simbiontes obligados, por lo que es difícil su cultivo de modo aislado y axénico en ausencia de hospedador vegetal. Dentro de este grupo hay tres tipos:

Tipo de Endomicorrizas.	Hongos responsables	Plantas implicadas
Orquidoides	Basidiomycetes	Orquidáceas
Ericoides	Ascomycetes	Ericales
Micorrizas Arbusculares	Glomeromycetes	Más del 80% de las plantas existentes.

Figura 2. Diferentes tipos de Endomicorrizas.

Las más importantes son las micorrizas arbusculares (MA) ya que el 96% de las especies forman esta asociación simbiótica. Se encuentran presentes en todos los climas y ambientes ecológicos que permiten el desarrollo vegetal y la forman la mayoría de las plantas de interés agrícola e industrial (Smith y Read, 1997). El hongo es capaz de formar estructuras intercelulares llamadas “arbusculos” y órganos de reserva conocidos como “vesículas”, elementos morfológicos característicos de esta infección.

## Ectendomicorrizas

Este tercer grupo, presenta formas intermedias entre los dos grupos anteriores, es decir forman manto, pero también pueden desarrollarse de modo intercelular. La forman algunos subgrupos de Pinaceae y de Ericales como los géneros *Arbustus* y *Monotropa* (Harley y Smith, 1983; Siquiera y Franco, 1988). Este tipo de micorrizas tiene especial significado en situaciones de estrés abióticos (incendios, sequías, inundaciones, contaminación por metales pesados, etc.) (Honrubia, 2009).

## Morfología y desarrollo de la simbiosis micorrícica

Los hongos micorrícicos se mantienen en el suelo bien en forma de esporas redes de micelio, en el interior de raíces activas o en fragmentos de raíces colonizadas. Cualquiera de estas estructuras es capaz de reproducir el hongo y se conocen como propágulos. Para que se inicie la simbiosis es necesario que una hifa del hongo parta de un propágulo y establezca un diálogo con la planta hospedadora que inhibe sus

mecanismos de defensa y le facilita al hongo la entrada. A partir del contacto de la hifa con la superficie de la raíz, el hongo se diferencia formando un “apresorio” que entra en la raíz y se desarrolla en su interior (Figura 26). Una vez dentro, coloniza inter e intracelularmente las células de la corteza radical, dividiéndose en el interior celular de manera dicotómica y formando una estructura arborescente (arbúsculo) de paredes muy finas, donde se produce el intercambio de nutrientes y señales entre la planta y el hongo (Jaizme-Vega, 2019). Una vez colonizada la raíz, las hifas se desarrollan hacia el exterior formando en torno a la raíz un micelio tridimensional muy ramificado que alcanza en el suelo mayores distancias que los pelos radicales y que incrementa considerablemente la capacidad de absorción de la planta (1 cm de raíz puede sustentar 1 m de hifas externas). Este micelio está capacitado para absorber nutrientes más allá de la zona de depresión en P (fósforo) que rodea la raíz, reduciendo la distancia entre la planta y dicho nutriente. Esta habilidad de las hifas es la principal razón que justifica el beneficio de esta simbiosis en suelos deficientes en P (fósforo).

Además de esta macro nutriente la simbiosis micorrícica aporta a la planta amonio, nitrato, cobre, zinc y otros microelementos y facilitan la capacidad de agua por la planta. Una vez iniciada la infección, tras unas semanas el hongo puede producir esporas, proceso que se ve favorecido por el estrés hídrico. Una vez consolidada la colonización, ambos organismos (planta y hongo), inician su vida en común funcionando de manera simbiótica y modulados por las condiciones ambientales (Jaizme-Vega, 2019).

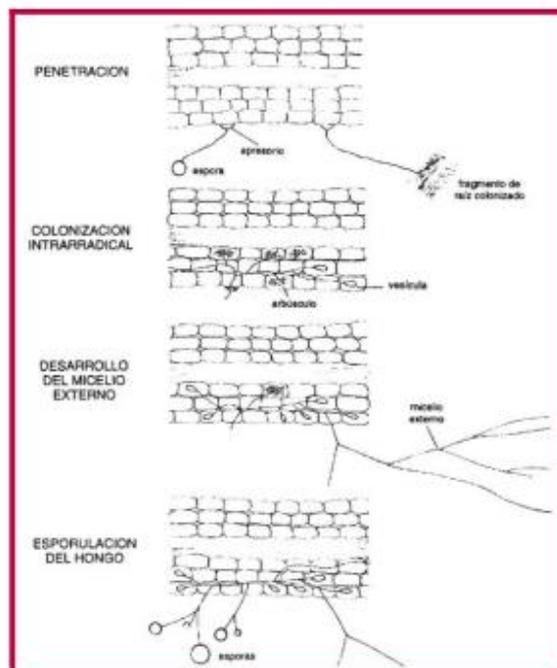


Figura 3. Proceso infeccioso de los hongos formadores de micorrizas arbusculares Fuente: Guerrero (1996).

## Efecto de las MA sobre el desarrollo de las plantas

La formación de las micorrizas en el conjunto suelo-planta ejerce múltiples acciones positivas como la mejora del crecimiento, potenciación de la captación de agua y nutrientes y acciones destinadas a ejercer un alivio sobre agentes patógenos del suelo y mejora de la estructura del mismo (Barea et al, 1997). En cualquier caso, ambos efectos pueden considerarse íntimamente relacionados, pues una planta micorrizada bien establecida y nutrida tendrá mayor resistencia a las enfermedades. Los hongos micorrícicos pueden, por lo tanto, contemplarse como: biofertilizantes, biorreguladores y bioprotectores.

### **Efectos sobre el crecimiento**

Se ha puesto de manifiesto en un gran número de trabajos de investigación que las micorrizas, en la mayoría de los casos, estimulan el crecimiento vegetal, y esto ocurre debido a su efecto beneficioso sobre la nutrición mineral de la planta hospedadora (Harley y Smith, 1983).

El establecimiento de la micorrización conlleva también cambios de carácter morfológico en el sistema radical (Atkinson et al., 1994; Berta et al., 1995), siendo el aumento de ramificación el efecto más frecuentemente descrito, consiste en una reducción de la longitud media de las raíces adventicias y un mayor número de raíces de primer y segundo (Jaizme-Vega et al., 2005). Este incremento en la ramificación puede contribuir a la bioprotección (Norman et al., 1996). La micorrización produce también una fortificación de la pared celular al aumentar la producción de polisacáridos para la lignificación (Jalali y Jalali, 1991), hecho que dificulta la penetración del patógeno (Linderman, 1994; Fusconi et al., 1999).

### **Efectos sobre la captación de nutrientes**

La simbiosis micorrícica es fundamental en el ciclo nutritivo del sistema suelo-planta (Smith y Read, 1997). Las micorrizas han demostrado su efectividad contribuyendo a un mejor aprovechamiento y absorción de los nutrientes disponibles en el suelo. Esta mejora en la absorción se observa en elementos de baja movilidad como P, Zn y Cu (Tinker, 1980), así como en otros de gran movilidad como ocurre con el Ca, K, Fe, Mg, Cl, B y N (Barea, 1991). Este fenómeno se observa claramente en plantas que han crecido en suelo poco fértiles en donde la disponibilidad y movilidad de elementos era

escasa (Barea, 1991). La estimulación de la captación de nutrientes y la subsiguiente translocación de éstos a la parte aérea ocasiona que se transfieran a la raíz relativamente menos productos de la fotosíntesis y que una mayor proporción de los mismos sea retenida en la parte aérea, para su utilización en la producción de material verde. La relación peso seco de parte aérea-peso seco de raíz, es normalmente mayor en las plantas micorrizadas (Smith, 1980).

### **Efectos en las relaciones hídricas**

Diversos estudios han comprobado como las micorrizas mejoran la relación hídrica de las plantas frente al estrés hídrico del suelo (Faber et al., 1991), de modo que la planta micorrizada presenta una mejor respuesta (Barea, 1991). Al parecer, existe un efecto de las micorrizas en la morfología de la raíz (ramificación radical, número de meristemas apicales) y anatomía de ésta (lignificación), (Gerdemann, 1975; Marschner, 1995). Ahora bien, este cambio en el balance hídrico puede ser también consecuencia hormonal y de cambios estructurales en la planta hospedadora (Marschner, 1995). Otro mecanismo apunta a que el micelio externo del hongo en cooperación con otros organismos del suelo forma agregados que estabilizan el agua, muy necesarios para el mantenimiento del cultivo (Miller y Jastrow, 2000; Requena et al., 2001).

### **Aplicación de los hongos micorrícicos en agroecología**

La mayoría de las plantas con interés económico forman micorrizas arbusculares: cereales, leguminosas, frutales, hortícolas, plantas tropicales, ornamentales, cultivos de interés industrial, cultivos mediterráneos, forestales... (Barea et al., 1991). Las especies cultivadas de mayor importancia económica en Canarias: plátano, tomate, ornamentales, papas, pimiento, papaya, mango, aguacate, cebolla, maíz, cucurbitáceas, etc., son en su mayoría micotróficas obligadas y responden muy bien a la inoculación temprana con hongos MA nativos (Jaizme-Vega y Azcon, 1995; Jaizme-Vega, Esquivel, Tenoury y Rodríguez-Romero, 2002; Jaizme-Vega, Rodríguez Romero y Piñero Guerra, 2005; Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008; Jaizme-Vega, 2009; Jaizme-Vega, 2010). Cuando las primeras fases de desarrollo de los cultivos se realizan en condiciones de vivero, es factible inocular durante la siembra o el estaquillado, o en los primeros momentos de la fase post vitro si se trata de plantas micropropagadas, garantizando así que la plántula se beneficie de la micorrización desde los primeros momentos y que posteriormente puede seguir desarrollando la simbiosis durante la fase de campo. Solo cuando las poblaciones de hongos simbioses no estuvieran presentes

de forma natural, por haber sido eliminadas por prácticas agrícolas intensivas (altas aplicaciones de abonos fosforados y de fitosanitarios), o cuando las que permanezcan sean poco efectiva, antes de aplicar cualquier inoculante habría que conciderar las características del suelo y de los cultivos a desarrollar y plantearse las razones de la pérdida de potencial micorrícico del agrosistema. Su importancia ha sido reconocida en los ecosistemas naturales y en la reforestación de tierras con problemas de desequilibrio.

Para ello, es oportuno realizar análisis para determinar el potencial micorrícico natural y los P (fosforo) asimilable del suelo de destino para confirmar que la inoculación MA es aconsejable y garantizar alguna posibilidad de éxito en la introducción de nuevas cepas. Las ventajas del uso de micorrizas no se limitan al ámbito de la producción vegetal, sino que deben tenerse en cuenta los beneficios ambientales que pueden generar, tales como el control de erosión o la regeneración de la cobertura vegetal en suelos degradados (Jazime–Vega, 2019). En la figura 4, resumimos las actividades agrícolas y medioambientales, donde pueden ser incluidos estos hongos benéficos.

Actividades agrícolas y medioambientales donde pueden ser utilizados los hongos micorrícicos
Producción de plántulas micorrizadas en vivero
Horticultura de alta productividad , apoyada en criterios de sostenibilidad y reducción de insumos contaminantes
Endurecimiento de plantas micropropagadas
Producción de árboles forestales y cultivos perennes en vivero y campo
Agricultura en suelos fumigados
Recuperación en suelos afectados por incendios
Restauración con cubiertas vegetales de suelos degradados por erosión
Restauración de áreas degradadas por actividades mineras
Recuperación de especies vegetales en peligro de extinción.

Figura 4. Potencial del uso agrícola y medioambiental de la inoculación y manejo de los hongos micorrícicos. Fuente: Jaizme – Vega (2019).

# Objetivo

El objetivo del presente estudio es evaluar mediante el cultivo de *Bituminaria bituminosa* asociado con hongos formadores de micorrizas en condiciones de campo la fertilidad de un suelo del sur de la isla de Tenerife.

# Material y métodos

## Fase de semillero

### **Material Vegetal**

Para este ensayo se utilizaron semillas de *Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata* procedentes de Güímar, que una vez pregerminadas en placas Petri, se sembraron en bandejas multipots de PE rígido de 28 alvéolos (115 cc de volumen/alveolo). 4 bandejas control (testigo) y 4 bandejas con hongos MA. Éstas últimas se rellenaron en sus 2/3 partes con un sustrato formado por una mezcla de suelo, picón y turba sin enriquecer (S:P:T, 1:1:1 v/v), previamente desinfectado en una máquina de vapor. Luego, se inoculó durante la siembra un hongo formador de micorrizas arbusculares (hongos MA).

FOTO

### **Inoculación micorrícica**

Se utilizó un “inóculo bruto”, compuesto por una mezcla de suelo rizosférico y raíces de sorgo (*Sorghum bicolor* var. *Sudanense*) colonizadas por el hongo formador de micorrizas arbusculares (MA) *Funneliformis mosseae* (*Glomus mosseae*), con un 72% de colonización y una riqueza de 1 espora/g de suelo. Se aplicaron 6 cc de inóculo/planta.

## Fase de campo

### Emplazamiento del ensayo

El ensayo fue ubicado bajo un invernadero de malla en la finca 'La Planta', en la carretera del Socorro, Güímar.



Foto 2. Emplazamiento en Güímar del ensayo de tедера

### Sustrato

Para este ensayo se utilizó el suelo natural del invernadero de la Finca 'La Planta' ubicada en Güímar (Tabla 3). A continuación, se adjuntan los análisis previos al inicio del ensayo.

Análisis	Materia orgánica (%)	Fósforo (ppm)	Sodio (meq/100 gr)	Potasio (meq/100gr)	Calcio (meq/100gr)	Magnesio (meq/100gr)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	pH pasta saturada	% de saturación
Suelo natural	1,49	62	19,4	38,1	124	80,6	2,26	7,31	55,6

Tabla 3. Análisis de suelos realizados en el Laboratorio Agrario Regional del ICIA.

## Trasplante a campo

Finalizada la fase de semillero y cuando las plántulas alcanzaron un tamaño adecuado, se procedió al trasplante, sembrando las plantas directamente en el suelo, dispuestas en líneas bajo riego por goteo con 30 cm de separación entre goteros.

## Diseño experimental

Para este ensayo se usó un diseño experimental en bloques, formado por 24 plantas por bloque (6 m<sup>2</sup>/bloque), con un total de 3 bloques por cada uno de los tratamientos a estudiar: Control y MA.

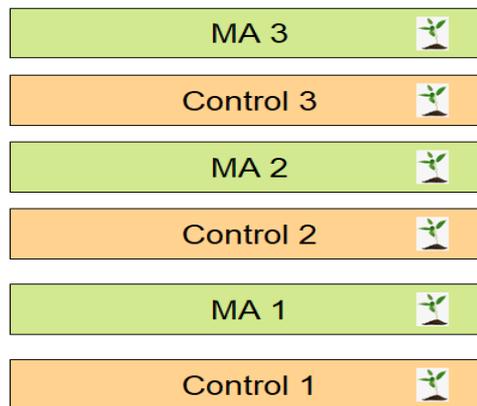


Foto 6. Diseño experimental en bloques con dos tratamientos: Control y MA.

## Galería fotográfica



Foto 7 y 8. Aspecto general del ensayo, 1º levante a los seis meses después de la siembra.



*Foto 9. Muestreo de suelos en Güímar, 1º levante*



*Foto 10 y 11. Aspecto general del ensayo, 2º levante a los once meses después de la siembra.*



*Foto 12. Medición del peso fresco aéreo.*



*Foto 13. Muestreo de suelos de cada tratamiento.*

## Cronología

Para observar el progreso de ambos ensayos se procedió a realizar levantes de las plantas en dos períodos de tiempo diferentes, con un número determinado de ejemplares y su posterior medición de los parámetros morfológicos, biológicos y microbiológicos.

<b>Ensayo</b>	<b>Germinación Semillas</b>	<b>Siembra en multipots</b>	<b>Trasplante a bandejas</b>
<b>Campo (Güímar)</b>	26 de abril	29 abril	29 de mayo

Tabla 4. Cronología de las diferentes labores realizadas (2019).

<b>Ensayo</b>	<b>1º levante</b>	<b>2º levante</b>	<b>3º levante</b>
<b>Campo (Güímar)</b>	15/01/2020	16/06/2020	23/09/2020**

Tabla 5. Cronología de los diferentes levantes realizados (2020)

\*\*Sólo se realizó un muestreo de suelos

## Variables experimentales

### En suelo

Para el desarrollo de los objetivos de este proyecto se llevó a cabo las tareas de muestreo y procesado de suelos de ambos ensayos descritos anteriormente, así como las determinaciones físico-químicas y microbiológicas de cada una de las muestras. A continuación, se detallan cada uno de los procesos.

Previamente al inicio de los dos ensayos ejecutados en este proyecto, se realizó un análisis físico-químico de ambos sustratos utilizados y anteriormente mencionados.

### Determinaciones microbiológicas

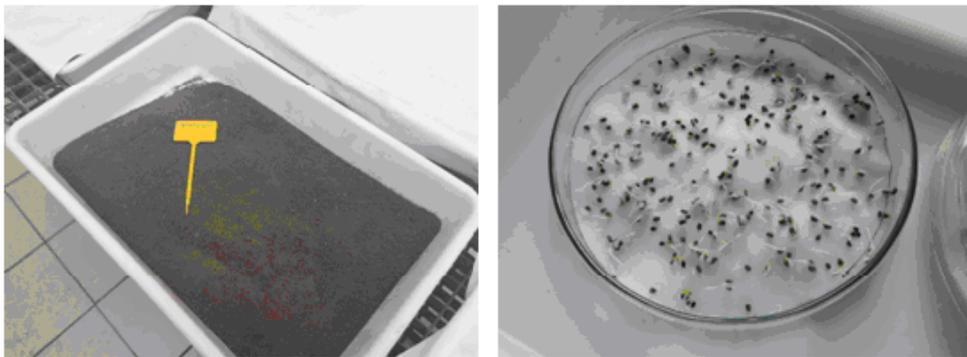
1. Cuantificación de esporas y porcentaje de colonización.

Las determinaciones del número de esporas se realizaron en primer lugar en los suelos originales y posteriormente en los suelos forzados mediante la técnica de planta trampa (Oehl *et al.*, 2003). Para el aislamiento de esporas se empleó la técnica de filtración húmeda (wet sieving) (Gerdemann y Nicolson, 1963).

2. Para la determinación de los porcentajes de colonización se realizaron plantas trampas donde los suelos se diluyeron al 50 % mezclándose con picón y plantándose sorgo y albahaca, observándose al microscopio óptico las raíces teñidas con azul trypan (Phillips y Hayman, 1970, Koske y Gemma, 1989).



*Foto 14 y 15. Detalle del secado y tamizado de las muestras.*



*Foto 16 y 17. Aspecto de la muestra tamizada y placa con semillas de albahaca.*



*Fotos 18 y 19. Distintas fases del filtrado húmedo para la cuantificación de esporas de hongos micorrícicos.*



Foto 20 y 21. Preparación de raíces para la lectura y valoración del % de colonización al microscopio óptico.

### **Determinaciones físico-químicas**

Las determinaciones físico-químicas de los suelos se realizaron en el Laboratorio Agrario Regional del ICIA, donde se determinaron los siguientes parámetros:

- pH: medido mediante potenciometría
- Conductividad eléctrica (CE): Medida en conductímetro, refiriendo la lectura a 25°C.
- Bases cambiables: Extracción con acetato amónico 1N pH:7 y determinación del calcio (Ca), magnesio (Mg) por absorción atómica y del sodio (Na) y potasio (K) mediante fotómetro de llama
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación del suelo con iones amonio y desplazamiento con sodio
- Materia orgánica oxidable (MO): se determinó el carbono orgánico del suelo, por oxidación con  $K_2Cr_2O_7$  en medio ácido.
- Fósforo (P): Método colorimétrico de Olsen.

### **En planta**

#### **Parámetros de crecimiento medidos en la planta**

Las variables experimentales medidas, en cada uno de los levantes fueron las siguientes:

- Peso fresco aéreo, radical y total (g)
- Peso seco aéreo, radical y total (g)
- Colonización radical (%)

### **A nivel foliar, se determinaron los siguientes parámetros**

Las siguientes determinaciones se realizaron en el Laboratorio Agrario Regional del ICIA.

- Bases cambiables: Extracción con acetato amónico 1N pH:7 y determinación del calcio (Ca), magnesio (Mg) por absorción atómica y del sodio (Na) y potasio (K) mediante fotómetro de llama
- Micronutrientes: determinación del manganeso (Mn), hierro (Fe) y Zinc (Zn) por absorción atómica.

## Resultados

### Primer levante del ensayo de Güímar

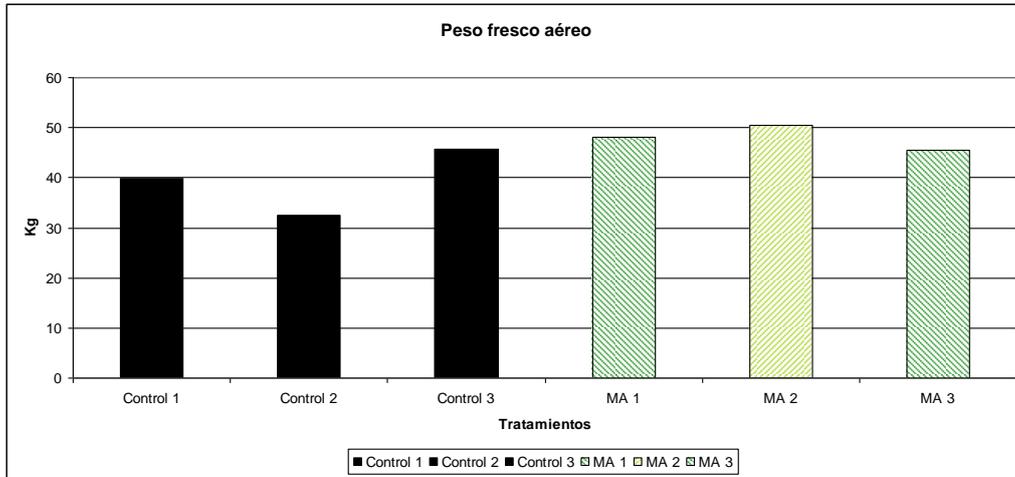
#### **Variables de crecimiento**

En las siguientes gráficas se muestra el desarrollo de las plantas bajo los efectos de la inoculación micorrícica en condiciones de campo.

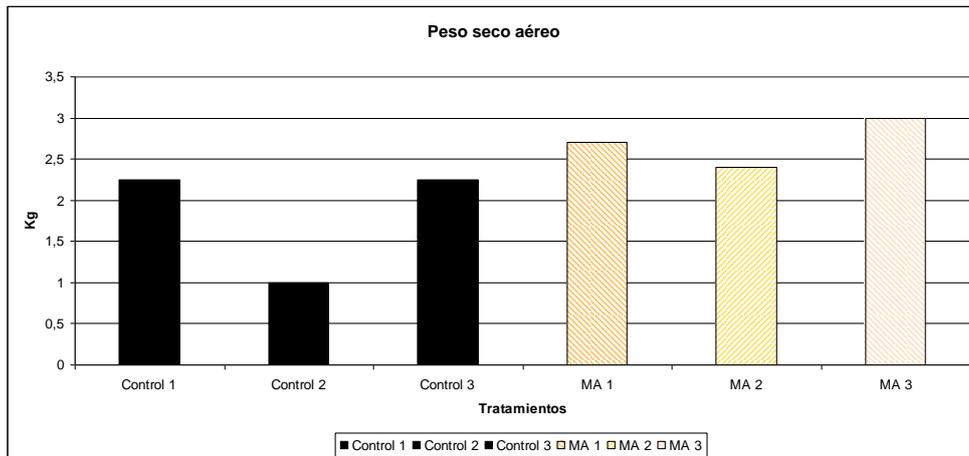
Tratamiento	Peso Freso Aéreo (g)	Peso Seco Aéreo (g)	Colonización (%)
Control	36,167 <b>b</b>	1,617 <b>b</b>	22,94 <b>a</b>
MA	48,800 <b>a*</b>	2,7 <b>a</b>	36,67 <b>a</b>
<i>n</i>	3	3	3
<i>p</i>	0,005	0,05	0,255

Tabla 23. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tедера del ecotipo Güímar en condiciones de campo.

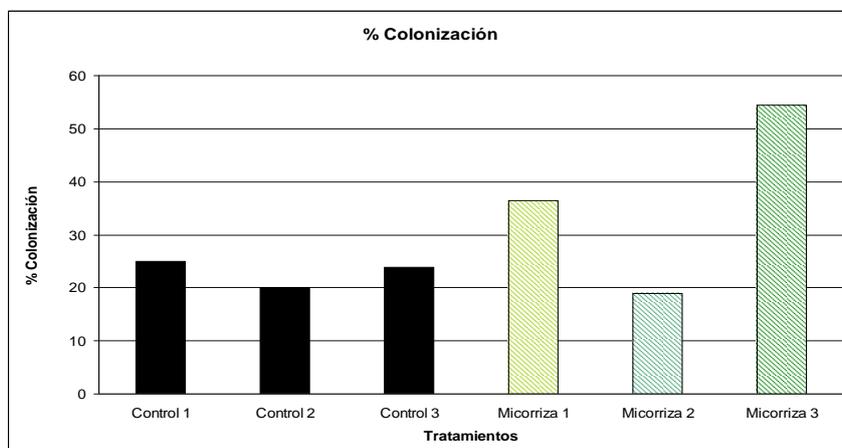
\*Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).



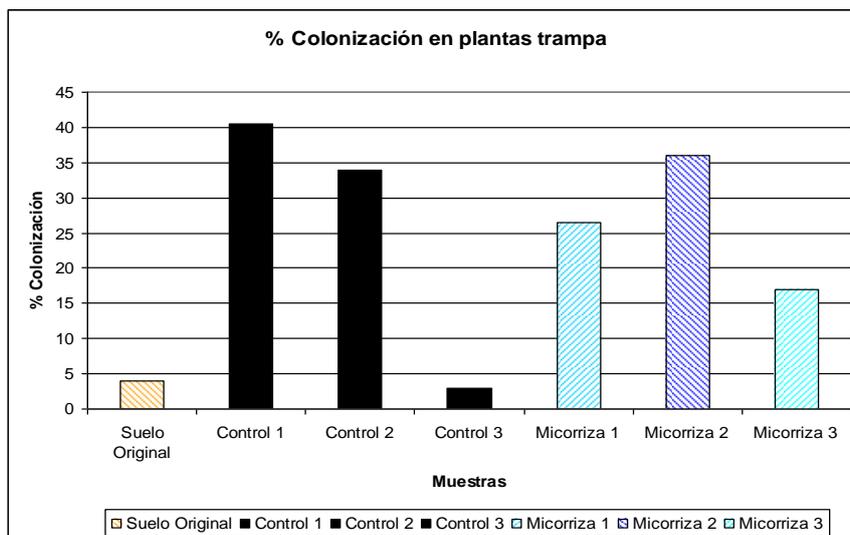
Gráfica 13. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Güímar en condiciones de campo.



Gráfica 14. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Güímar en condiciones de campo.



Gráfica 15. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Güímar en condiciones de campo.



Gráfica 16. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Güímar en condiciones de campo.

Tratamientos	Nº de esporas inicial/ 100 g	Nº de esporas final/ 100 g
Control 1	165	105
Control 2	370	160
Control 3	183	78
MA 1	65	148
MA 2	265	65
MA 3	155	68
Bordes	117	140

Tabla 25. Número de esporas iniciales y finales de los diferentes tratamientos, por 100 g de suelo.

## Variables nutricionales

### Análisis foliares

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables nutricionales a nivel foliar (tabla 26).

Tratamientos	N (g/kg)	P (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)	K (g/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)

<b>Control 1</b>	23,1b	2,51 a	13,6 a	3,55 a	1,98 a	31,4 a	43 a	111 a	35 a
<b>Control 2</b>	22,5b	2,07 a	17 a	4,2 a	1,17 a	28,6 a	42 a	130 a	26 a
<b>Control 3</b>	24,3b	2,35 a	16,4 a	4,45 a	0,88 a	29,2 a	58 a	173 a	36 a
<b>MA 1</b>	26,1a*	2,63 a	17,1 a	4,45 a	0,76 b	32 a	62 a	156 a	18 a
<b>MA 2</b>	24,7a	2,87 a	15,1 a	3,9 a	0,54 b	28 a	45 a	167 a	37 a
<b>MA 3</b>	25,7a	2,29 a	12,2 a	3,3 a	0,61 b	30,4 a	37 a	166 a	33 a
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>p</b>	0,000	0,058	0,456	0,513	0,008	0,670	0,758	0,060	0,489

Tabla 26. Análisis de foliar procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Güímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p>0,05$ ).

## Análisis de suelo

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables nutricionales a nivel de suelo tanto en suelo natural como en suelo de vivero junto (tabla 22).

Muestras	pH Extracto saturado	Conductividad eléctrica (mS/cm, 25°C)	Materia orgánica oxidable (%)	Fósforo Olsen (mg/kg)	Calcio (meq/kg)	Magnesio (meq/kg)	Sodio (meq/kg)	Potasio (meq/kg)
<b>Control 1</b>	7,5 a*	1,53 a	1,95 b	40 b	137 b	63,4 a	38,1 a	37,1 b
<b>Control 2</b>	7,64 a	0,76 a	1,75 b	46 b	151 b	69,5 a	34,6 a	29,2 b
<b>Control 3</b>	7,41 a	0,95 a	2,29 b	64 b	157 b	65,8 a	32 a	31,5 b
<b>MA 1</b>	7,8 a	0,12 b	1,82 b	44 b	151 b	72,4 a	45,7 a	40,5 b
<b>MA 2</b>	7,53 a	1,12 b	2,02 b	64 b	148 b	76,9 a	32,8 a	28,7 b
<b>MA 3</b>	7,37 a	0,9 b	1,61 b	32 b	136 b	56,8 a	32,4 a	27 b
<b>Borde 1</b>	7,17b	1,09 a	2,62 a	82 a	156 a	54,3 b	20,2 a	42,2 a
<b>Borde 2</b>	7,17b	1,73 a	1,82 a	50 a	151 a	63,4 b	22,8 a	38,2 a
<b>Borde 3</b>	6,8b	2,24 a	2,49 a	58 a	151 a	49 b	21,5 a	40,2 a
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>p</b>	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,240	0,000

Tabla 27. Análisis de suelo procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Güímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p>0,05$ ).

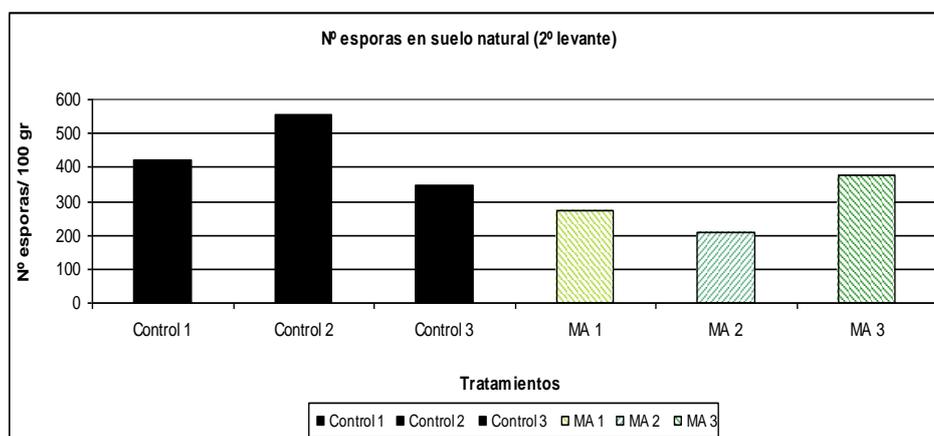
## Segundo Levante del ensayo de Güímar

Tratamiento	Peso Freso Aéreo (g)	Peso Seco Aéreo (g)	Colonización (%)
Control	15,750 <b>b</b>	6,450 <b>b</b>	0,83 <b>b</b>
MA	30,800 <b>a*</b>	10,500 <b>a</b>	2,33 <b>a</b>
<i>n</i>	6	6	6
<i>p</i>	0,000	0,001	0,019

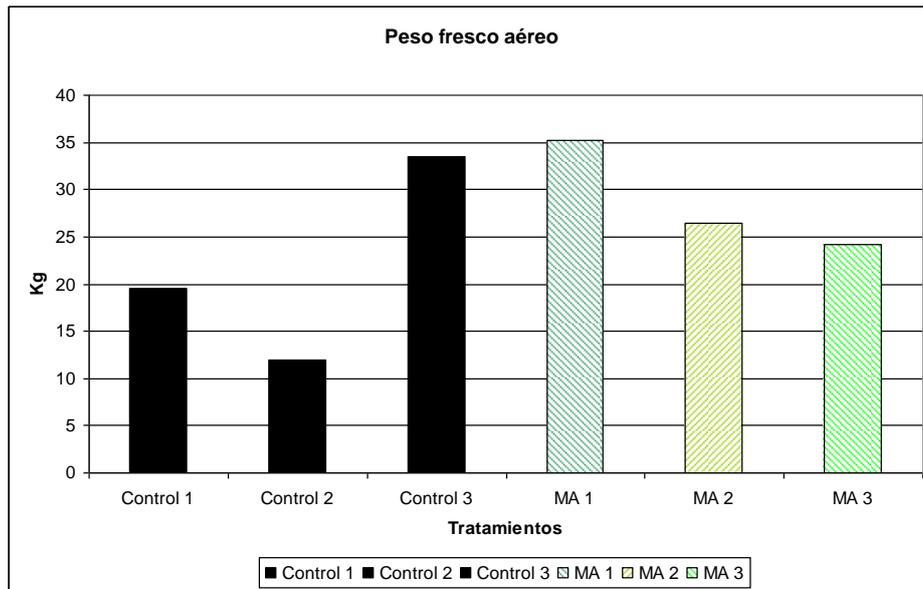
Tabla 28. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tедера del ecotipo Güímar en condiciones de campo.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).

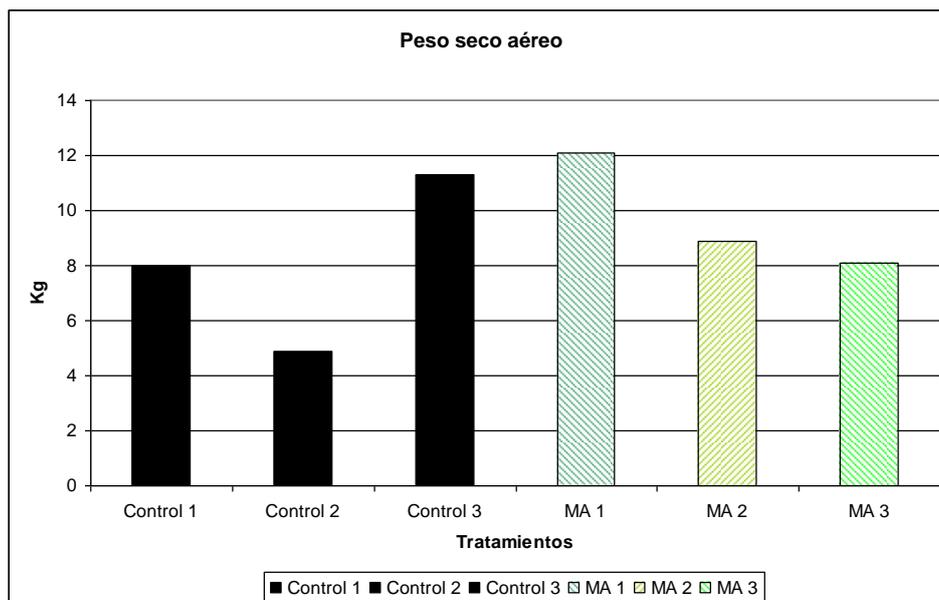
Efecto de la inoculación micorrícica sobre el desarrollo de la planta de tедера en condiciones de campo. Visualmente, el tratamiento con MA es el mejor resultado. Se muestrearon suelos (8 submuestras por suelo) de cada tratamiento



En los parámetros de peso fresco aéreo y peso seco aéreo, existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos, siendo el tratamiento MA el mejor resultado obtenido.

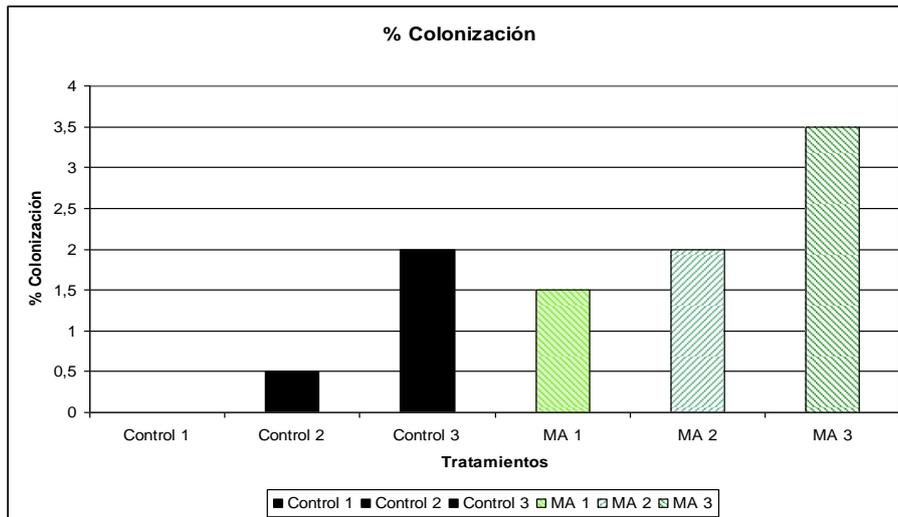


Gráfica 16. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Gúimar en condiciones de campo sobre el parámetro de peso fresco aéreo.

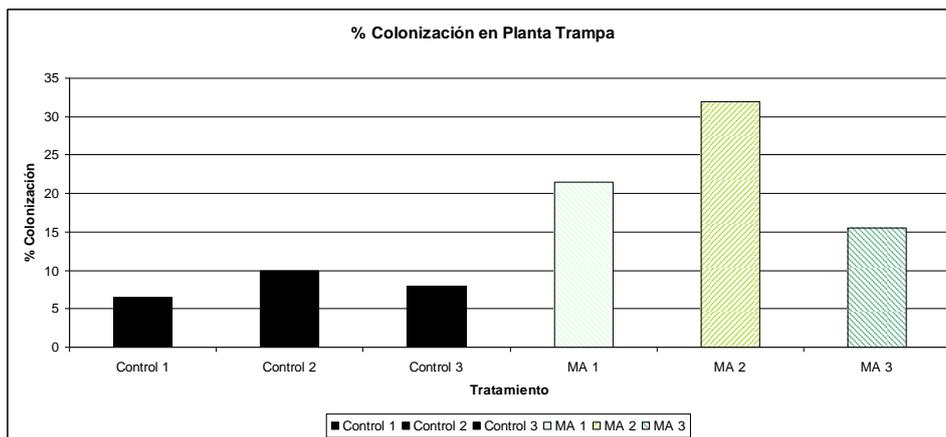


Gráfica 17. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Gúimar en condiciones de campo sobre el parámetro de peso seco aéreo.

En la colonización de hongos micorrícicos en la planta de tederá se puede apreciar visualmente una diferencia significativa entre el tratamiento MA y el control.



Gráfica 18. Efecto de los hongos MA sobre plantas de tederá del ecotipo Gúímar en condiciones de campo sobre el parámetro de colonización.



Gráfica 19. Efecto de los hongos MA sobre plantas trampa con suelos procedentes Gúímar.

Tratamientos	Nº de esporas inicial/ 100 g	Nº de esporas final/ 100 g
Control 1	421	48
Control 2	553	263

Control 3	345	305
MA 1	273	125
MA 2	208	125
MA 3	378	543
Bordes	215	70

Tabla 30 Número de esporas iniciales y finales de los diferentes tratamientos, en 100 g de suelo.

## Valores nutricionales

### Análisis físico-químicos

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables nutricionales a nivel foliar:

Muestras	Nitrógeno (g/kg)	Fósforo (g/kg)	Calcio (g/kg)	Magnesio (g/kg)	Sodio (g/kg)	Potasio (g/kg)	Manganeso (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Control 1	22,1 b	2,5 a	12,4 a	4,2 a	1,19 a	22 a	144 a	36 a	30 a
Control 2	24,9 b	2,44 a	15,7 a	3,7 a	0,89 a	22,2 a	169 a	34 a	25 a
Control 3	25,6 b	2,82 a	13,6 a	3,65 a	1,04 a	24,6 a	204 a	39 a	39 a
MA 1	22,7a	2,96 a	15,1 a	3,3 a	0,88 b	21 a	174 a	37 a	35 a
MA 2	26,2 a	2,63 a	12,1 a	3,55 a	0,99 b	22,8 a	178 a	35 a	30 a
MA 3	21,4 a	2,23 a	12,7 a	3,3 a	1,36 b	21,8 a	285 a	41 a	32 a
n	6	6	6	6	6	6	6	6	6
p	0,000	0,058	0,456	0,513	0,008	0,670	0,758	0,06	0,489

Tabla 31. Análisis foliares procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Gúímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables nutricionales a nivel de suelo:

Muestras	pH Extracto saturado	Conductividad eléctrica (mS/cm, 25°C)	Materia orgánica oxidable (%)	Fósforo Olsen (mg/kg)	Calcio (meq/kg)	Magnesio (meq/kg)	Sodio (meq/kg)	Potasio (meq/kg)
----------	----------------------	---------------------------------------	-------------------------------	-----------------------	-----------------	-------------------	----------------	------------------

<b>Control 1</b>	7,64	1,89	2,04	29	118	87,2	29,4	32,2
<b>Control 2</b>	7,88	1	1,24	28	125	95,5	27,4	26,9
<b>Control 3</b>	7,7	1,2	2,02	31	113	90,5	33,1	26,5
<b>MA 1</b>	7,97	1,21	1,76	25	111	78,6	37,4	34,7
<b>MA 2</b>	7,76	0,82	1,84	43	122	95,5	30	28,9
<b>MA 3</b>	8,06	0,59	1,53	15	116	92,2	31,3	28,1

Tabla 32. Análisis de suelo procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Güímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).

### Tabla comparativa en el tiempo del ensayo de campo de Güímar de los dos levantes ejecutados

1º levante: 15 de enero

2º levante: 16 de julio

### Análisis foliar

Muestras	Nitrógeno (g/kg)	Fósforo (g/kg)	Calcio (g/kg)	Magnesio (g/kg)	Sodio (g/kg)	Potasio (g/kg)	Manganeso (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
<b>Control 1º</b>	23,3a	2,31 a	15,67 a	4,07 a	1,34 a	29,73 a	47,67 b	138 a	32,33a
<b>Control 2º</b>	24,2a	2,59 a	13,9 a	3,85 a	1,04 a	22,93 b	172,33 a	36,33b	31,33a
<b>MA 1º</b>	25,5 a	2,59 a	14,8 a	3,88 a	0,64 b	30,13 a	48 b	163 a	29,33a
<b>MA 2º</b>	23,43 a	2,61 a	13,3 a	3,38 b	1,08 a	21,87 b	212,33 a	37,67b	32,33a
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>p</b>	0,067	0,147	0,120	0,025	0,004	0,000	0,240	0,000	0,811

Tabla 33. Análisis foliares procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Güímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).

## Análisis de suelos

Muestras	pH Extracto saturado	Conductividad eléctrica (mS/cm, 25°C)	Materia orgánica oxidable (%)	Fósforo Olsen (mg/kg)	Calcio (meq/kg)	Magnesio (meq/kg)	Sodio (meq/kg)	Potasio (meq/kg)
Control 1º	7,52b	1,08ab	1,99b	50ab	148,33a	66,23b	34,9ab	32,6 b
Control 2º	7,74ab	1,36ab	1,77b	29,33bc	118,67c	91,07a	29,97b	28,53 b
MA 1º	7,57b	0,71b	1,82b	46,67abc	145a	68,7b	36,97a	32,07b
MA 2º	7,93 a*	0,87b	1,71 b	27,67c	116,33c	88,77a	32,9ab	30,57 b
Bordes 1º	7,05c	1,69a	2,31 b	63,33a	153a	55,57c	21,5c	40,2 a
Bordes 2	7,22c	1,76a	3,03 a	47abc	132,67b	62,27bc	31ab	41,17a
n	6	6	6	6	6	6	6	6
p	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000

Tabla 34. Análisis de suelo procedente de la finca 'La Planta' ubicada en Güímar.

\* Las medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de TUKEY ( $p > 0,05$ ).

## Tercer levante del ensayo de campo

### Análisis

Se hizo un tercer levante, pero esta vez sólo se muestrearon los suelos, siguiendo el mismo patrón de los levantes anteriores. Este hecho fue debido al estado visual deteriorado en el que se encontraban las plantas de tедера, y así poder observar posibles problemas.

El muestreo se ejecutó el 24 de septiembre de 2020. Se muestrearon 6 puntos diferentes de cada muestra de suelo, por tratamiento. Se dejaron secar a temperatura ambiente y se tamizaron en un tamiz de 5 mm. Posteriormente se montaron los bioensayos correspondientes (Planta Trampa y W.S). También se realizó un análisis físico-químico de las muestras, a espera de los resultados del Laboratorio Regional Agrario.

Las plantas trampas fueron montadas el 5 de octubre y sembradas con sorgo y albahaca el 9 de octubre. Se dejaron desarrollar durante dos meses, hasta principios de diciembre.

Tratamientos	Nº de esporas inicial/ 100 g
Control 1	310
Control 2	440
Control 3	443
MA 1	125
MA 2	230
MA 3	135
Bordes	41

Tabla 35. Número de esporas iniciales y finales de los diferentes tratamientos, en 100 g de suelo

### Evolución del número de esporas iniciales en el suelo a lo largo de los levantes

Tratamientos	1 levante (Enero 2020)	2 levante (Junio 2020)	3 levante (Septiembre 2020)
Control 1	165	421	310
Control 2	370	553	440
Control 3	183	345	443
MA 1	65	273	125
MA 2	265	208	230
MA 3	155	378	135
Bordes	117	215	41

Tabla 36. Número de esporas iniciales en 100 g de suelo en tres períodos de tiempo diferentes.

Resultados de los análisis físico-químicos realizados al suelo original de Gúimar antes del ensayo (octubre) y al final del experimento (junio):

Muestras	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm, 25°C)	Materia orgánica oxidable (%)	Fósforo	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio
	Extracto saturado			Olsen (mg/kg)	(meq/kg)	(meq/kg)	(meq/kg)	(meq/kg)
Suelo original	7,31	2,26	1,49	62	124	80,6	19,4	38,1
Suelo final*	7,51	<b>1,25</b>	<b>2,11</b>	44	135,67	72,10	31,21	34,19

*Comparativa entre el suelo inicial antes de iniciar el ensayo, y el suelo analizado en el último levante.*

*\*Resultados obtenidos de la media de todos los tratamientos.*

## RESULTADOS PRIMER ANALISIS SUELO ANTES DEL ENSAYO DEL SUELO DE GUIMAR.

El porcentaje de saturación (55,6%) nos señala que nos encontramos ante un suelo con una textura limo-arcillosa, con alto contenido en calcio y magnesio. Arroja un contenido medio de fósforo (Para ser un suelo de Canarias, con alta presencia de este elemento en la mayoría de suelos). Tiene un bajo porcentaje de materia orgánica (>1,5% es el recomendable) y un pH cercano a la neutralidad.

## Conclusiones

### Conclusiones parciales

- **Resultados primer levante:**

En las variables de crecimiento:

Como se puede observar, existen diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento control y el de hongos micorrícicos en los parámetros de peso fresco y el peso seco. Sin embargo, no hubo diferencias en el parámetro de colonización, podría ser debido a que el tratamiento control pudo ser colonizado por hongos nativos existentes en la parcela donde se sembraron las plantas.

Otro punto a destacar para poder explicar los bajos porcentajes obtenidos, es que lo suelos de las Islas Canarias tienden a tener unas cantidades altas de fósforo presentes, y se conoce que las respuestas a la micorrización tienden a ser menores en suelos ricos en fósforo.

En cuanto al número de esporas podemos observar:

En el suelo original, en el momento del levante, se encontraban más esporas que al realizar el forzado con una planta trampa. Esto es debido a que las esporas nativas de

los hongos formados de micorrizas prefieren esporular con plantas adaptadas al entorno en vez de las utilizadas en este ensayo (albahaca y sorgo)

Hay más presencia de esporas en los tratamientos controles, debido a que las plantas micorrizadas fueron inoculadas con un hongo que compite con los nativos.

En las variables nutricionales:

Sólo se observaron diferencias en los análisis realizados a nivel foliar, en los macronutrientes de nitrógeno y en el sodio. El contenido de nitrógeno pudo aumentar de forma significativa al ser la tederá una planta que genera simbiosis con las bacterias del género *Rhizobium*, conocidas por fijar naturalmente nitrógeno en el suelo.

- **Resultados segundo levante:**

A nivel de variables de crecimiento:

Se observan diferencias en todos los parámetros, peso fresco, peso seco, y colonización

En el parámetro de esporas en el suelo no hay un incremento de ellas en el suelo, si no por el contrario, una disminución. Lo que puede representar dos resultados:

1. El suelo natural del ensayo (Güímar) a alcanzado su máximo potencial referido al nivel de generar y reproducir esporas en el suelo. Ya que de manera forzada y controlada no se puede aumentar este nivel
2. En comparación con el primer ensayo, el número inicial de esporas en el suelo recogidas ha aumentado.

Con respecto a la cantidad de esporas en los diferentes tratamientos, se observó que en todos hay presencia de ellas. La formación de esporas comienza entre la tercera y cuarta semana después de la colonización de la raíz. Sin embargo, la extensión de la esporulación se puede ver afectada por la planta hospedera, el suelo y las condiciones medioambientales (León, 2006). Es por eso que se deberían tomar en cuenta aspectos como la capacidad de cada especie para producir esporas, la época y las condiciones del muestreo (León, 2006).

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29s3/0379-3982-tem-29-s3-5.pdf>

En las variables nutricionales:

A nivel foliar, se observan diferencias estadísticamente significativas en los macronutrientes de nitrógeno y en el sodio.

## **Tabla comparativa en el tiempo del ensayo de campo de Güímar de los dos levantes ejecutados**

**1º levante:** 15 de enero

**2º levante:** 16 de julio

A nivel foliar, se encuentran diferencias estadísticamente significativas en los distintos periodos de los tratamientos pero no entre los mismos tratamientos:

En el tratamiento control 1 y control 2 en el potasio, manganeso y hierro

En el tratamiento MA 1 y MA 2 magnesio, sodio, potasio, manganeso y hierro

### **Conclusión final**

Las Islas Canarias siempre han sido un lugar de alta actividad agrícola sobre todo en las islas más occidentales, debido a sus buenas condiciones meteorológicas, sus ricos suelos y su alta diversidad biológica y edáfica. Sin embargo, desde hace un tiempo se llevan abandonando suelos (por diversos motivos) que anteriormente se utilizaban mayoritariamente para producir un monocultivo de manera intensiva. Se abandonan suelos convertidos en pobres a nivel nutricional y con baja actividad biológica en el suelo. Por ello, se está fomentando la recuperación de suelos para evitar la desertificación de los mismos mediante métodos agroecológicos como el de este presente estudio.

Como se puede observar, el uso de MA en combinación con una planta leguminosa endémica de las islas da como resultado la mejora de las propiedades físicas (estructura del suelo), químicas (fertilidad), biológicas y bioquímicas (activación de microorganismos):

- Aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, y por ende mejorar la textura en este suelo, evitar la compactación, mejorar la aireación e infiltración, aumentar la capacidad de retención de agua, entre otros.
- Aumentar el nivel de actividad y diversidad de poblaciones de microorganismos biológicos

Este conjunto de factores son elementos indispensables para evitar la degradación de los suelos y su posterior pérdida.

Además, debido a la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares se estimuló notablemente el crecimiento de las plantas y aumentó la actividad de microorganismos en el suelo.

A nivel de suelo, los parámetros químicos como el de materia orgánica tuvo un notable incremento, sin embargo, los demás no se pudieron llegar a modificar significativamente, pero, debido a la corta vida de este ensayo (menos de 1 año) se puede llegar a especular que con el tiempo y el manejo adecuado se podrían llegar a mejorar en un futuro. Además, la planta se puede usar de dos maneras: como forraje de alta calidad para animales y para reincorporar en el suelo como abono verde.

## Programa estadístico

Para el análisis estadístico de este estudio se utilizó el programa de SYSTAT Software utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y el método de test de comparaciones múltiples de TUKEY (Intervalos de confianza 95%) donde  $p < 0,05$  si existen diferencias significativas.

## Bibliografía

- Martínez, S., Correal, E., Real, D., Ortuño, A., del Río J.A. 2010. Bituminaria bituminosa: a source of furanocoumarins of pharmaceutical interest. En: A.S. Awaad, J.N. Govil, V.K. Singh (eds). Recent Progress in Medicinal Plants. Vol 27. Drug Plants I, pp. 310-322.. Studium Press LLC, Houston, USA.
- Méndez, M.O., Maier, R. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. Environmental Health Perspectives 116:278-283.
- Real, D., Verbyla, A. 2010. Maximizing genetic gains using a “plant” model in the Tederia (*Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata* and var. *crassiuscula*) breeding program in Australia. Options Méditerranéennes A 92:87-95
- Walker, D.J., Bernal, M.P., Correal, E. 2007. The influence of heavy metals and mineral nutrient supply on *Bituminaria bituminosa*. Water, Air, and Soil Pollution 184:335-345
- Manual Técnico Manejo del suelo en los sistemas de producción ecológica SEAE 2008, Juana Labrador, 2008
- Jaizme-Vega, M. del C., & Rodríguez-Romero, A. S. (2008). Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en

agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, 3, 33–40. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95491>