

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

Master Universitario Oficial de
Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

OPTIMIZACIÓN DEL CULTIVO DE
VARIETADES DE CEBOLLAS LOCALES
MEDIANTE LA INOCULACIÓN
TEMPRANA DE HONGOS
MICORRÍMICOS NATIVOS

TRABAJO FIN DE MASTER

Convocatoria – Septiembre 2019

AUTOR: Marta Selma Garzón Molina

DIRECTOR/ES: Miguel Juárez Gómez
M^a Carmen Jaizme-Vega



Máster Oficial en Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo

Se autoriza a la alumna D^{ña} Marta Selma Garzón Molina a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Optimización del cultivo de variedades de cebollas locales mediante la inoculación temprana de hongos micorrícicos nativos” realizado bajo la dirección de D. Miguel Juárez Gómez y D.^{ña} M^{ra} Carmen Jaizme-Vega, debiendo cumplir las directrices para la redacción del mismo que están a su disposición en la asignatura.

Orihuela, 2 de septiembre de 2019

ESTHER|
SENDRA|
NADAL

Firmado digitalmente por
ESTHER|SENDRA|NADAL
Fecha: 2019.09.03
08:08:32 +02'00'

Fdo.: Esther Sendra Nadal

Directora del Master Universitario en Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo





MASTER UNIVERSITARIO OFICIAL DE AGROECOLOGÍA, DESARROLLOR RURAL Y AGROTURISMO

VISTO BUENO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2018/2019

Director/es del trabajo
Miguel Juárez Gómez M ^a Carmen Jaizme-Vega

Dan su visto bueno al Trabajo Fin de Máster

Título del Trabajo
Optimización del cultivo de variedades de cebollas locales mediante la inoculación temprana de hongos micorrícicos nativos
Alumno
Marta Selma Garzón Molina

Orihuela, a 5 de septiembre de 2019

Miguel Juárez Gómez



M^a Carmen Jaizme-Vega

Firma/s directores/es trabajo



MASTER UNIVERSITARIO OFICIAL DE AGROECOLOGÍA, DESARROLLO RURAL Y AGROTURISMO

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Título: Optimización del cultivo de variedades de cebollas locales mediante la inoculación temprana de hongos micorrícicos nativos

Modalidad (proyecto/experimental/bibliográfico/caso práctico): experimental

Autor: Marta Selma Garzón Molina

Director/es: Miguel Juárez Gómez y M^a Carmen Jaizme-Vega

Convocatoria: septiembre 2019

Número de referencias bibliográficas: 49

Número de tablas: 18

Número de figuras: 12

Número de fotos: 60

Palabras clave (5 palabras): agroecología, *Glomus mosseae*, variedades tradicionales, *Allium cepa*, micorrización.

Keywords: agroecology, *Glomus mosseae*, traditional varieties, *Allium cepa*, mycorrhization.

RESUMEN: (mínimo 10 líneas)

El cultivo de cebollas en las Islas Canarias ha tenido una gran importancia en los últimos siglos, no solo a nivel de consumo interior sino también por su exportación a América, si bien actualmente su importancia económica es menor que antaño, dedicándose el cultivo únicamente a cubrir el consumo insular.

Con el propósito de evaluar sobre esta especie los beneficios de la inoculación temprana con hongos micorrícicos, tanto en la fase de vivero como durante el cultivo en campo, se diseñó un ensayo bajo manejo agroecológico. Semillas de 4 variedades locales de cebollas (Lanzarote, Masca, Guayonje y Albina) fueron inoculadas en semillero con un aislado local de *Glomus mosseae* y trasplantadas posteriormente a una parcela con un diseño de bloques al azar. Al final de la etapa de semillero se evaluó el efecto de la micorrización sobre el desarrollo y la nutrición de las plántulas. Dos meses después del trasplante a campo, se recolectaron los bulbos y se valoraron variables relativas a la calidad de postcosecha tales como peso, color, dureza, firmeza, etc. Las conclusiones demuestran los beneficios de la simbiosis sobre la cantidad y calidad del producto recogido y su oportunidad como práctica rutinaria en el cultivo en nuestras islas.

ABSTRACT

The cultivation of onions in the Canary Islands has been of great importance in the last few centuries, not only at the level of domestic consumption but also by its export to the Americas. However, its current economic importance is less than before, with the crop dedicated only to cover island consumption.

In order to assess on this species the benefits of early inoculation with mycorrhizal fungi, both in the nursery phase and during field cultivation, a trial was designed under agroecological management. Seeds of 4 local varieties of onions (Lanzarote, Masca, Guayonje and Albina) were inoculated in seedbed with a local isolated of *Glomus mosseae* and subsequently transplanted to a plot with a random block design. At the end of the seedling stage, the effect of mycorrhization on seedling development and nutrition was evaluated. Two months after field transplantation, the bulbs were collected and variables related to postharvest quality such as weight, color,

hardness, firmness, etc. were assessed. The conclusions demonstrate the benefits of symbiosis on the quantity and quality of the product collected and its opportunity as a routine practice in cultivation in our islands.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Hongos formadores de micorrizas arbusculares.....	12
1.1.1. Origen.....	12
1.1.2. Tipos de micorrizas.....	13
1.1.3. Morfología y desarrollo de la simbiosis micorrícica.....	15
1.1.4. Efectos de las MA en el sistema suelo-planta.....	16
1.1.5. Aplicaciones de los hongos micorrícicos en agroecología.....	17
1.2. La Cebolla. Variedades locales.....	19
1.2.1. Taxonomía y generalidades.....	19
1.2.2. Factores que afectan al cultivo	20
1.2.3. Cultivo de cebollas en Canarias.....	20
1.2.4. Variedades locales.....	21
1.2.5. Aplicaciones de hongos MA en Liliáceas.....	23
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....	25
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. Fase de semillero.....	26
3.1.1. Plantas hospedadoras.....	26
3.1.2. Sustratos.....	26
3.1.3. Contenedores.....	27
3.1.4. Hongo MA e inoculación.....	27
3.1.5. Diseño experimental.....	28
3.1.6. Condiciones de cultivo	28
3.1.7. Variables experimentales a analizar	28
3.2. Fase de campo.....	31
3.2.1. Trasplante.....	31
3.2.2. Diseño experimental.....	32
3.2.3. Condiciones de cultivo y duración del ensayo.....	33
3.2.4. Variables experimentales a analizar.....	34
3.3. Fase postcosecha.....	35
3.3.1. Variables experimentales a analizar.....	36

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Fase de semillero.....	40
4.2. Fase de campo.....	48
4.3. Fase postcosecha.....	55
5. CONCLUSIONES.....	58
6. BIBLIOGRAFÍA.....	59



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos siglos el cultivo de cebollas ha sido uno de los más arraigados en la cultura agrícola insular. Las cebollas fueron introducidas en Canarias tras la Conquista, y ya en el siglo XVIII se cultivaban cebollas rojas y blancas de gran tamaño muy apreciadas por su dulzura. Durante el siglo XIX se produjo un gran movimiento de exportación a América y durante la primera mitad del siglo XX existió un mercado de estas semillas de cebolla en el continente americano, donde eran altamente apreciadas (Tascón, 2011).

La situación geográfica de las Islas Canarias y su particular orografía, ha permitido el desarrollo de una agricultura diversa, ya que existe tal variedad de microclimas que casi todas las especies agrícolas encuentran, aún sin querer, una zona en la que prosperar. (Tascón *et al.*, 2010). De este modo se explica la riqueza varietal que existe en los cultivos tradicionales, entre los cuales se encuentra el de las cebollas. Actualmente se cuenta con algunas variedades locales de notable calidad, alto rendimiento y gran valor genético. La particularidad de estas cebollas está en que se tratan de variedades subtropicales, adaptadas a la latitud y condiciones ambientales del archipiélago, que pasan el invierno en la tierra y producen en primavera-verano. Los cultivares locales pueden ser una alternativa interesante a las variedades comerciales por su adaptabilidad y por sus características organolépticas cada vez más valoradas.

Las cebollas son consideradas una especie con una alta dependencia micorrícica. Estas plantas tienen además una baja relación raíz/parte aérea y bajas tasas de absorción de fósforo, características típicas de las especies micotróficas (Augé y Moore 2005). Se sabe que los hongos formadores de micorrizas arbusculares influyen significativamente en la composición de los flavonoides en cebollas y otras plantas. (Ling-Lee *et al.*, 1977; Ponce *et al.*, 2004; Perner *et al.*, 2008).

Uno de los retos ampliamente consensuados por todos los países desarrollados y objetivo prioritario de los investigadores en agricultura es el mantenimiento de las cosechas mientras se reduce la dependencia a los fertilizantes (<http://www.fao.org>). Entre las posibilidades de investigación que pueden contribuir a la resolución de este problema está la integración de los microorganismos de suelo en los planes de fertilización y más concretamente el empleo de los hongos formadores de micorrizas



como un modo de optimizar la eficiencia del fosforo y de los restantes macro y micro elementos que integran la nutrición de los cultivos.

Además de su papel en la nutrición, los hongos MA son organismos claves en el aumento de la tolerancia de las plantas frente a estrés de tipo biótico (infecciones de hongos patógenos o plagas de la parte aérea). Tienen un papel protector de vital importancia para la agricultura sostenible donde los fertilizantes y fungicidas químicos son reducidos o ausentes (Hage-Ahmed *et al.*, 2013).

En el departamento de Protección Vegetal del ICIA, ubicado en la isla de Tenerife, desde hace más de 35 años se viene desarrollando una línea de trabajo, centrada en potenciar la microbiota beneficiosa del suelo y particularmente en utilizar la **simbiosis micorrícica** para mejorar la eficiencia de diferentes agrosistemas. Entre los diferentes cultivos que se han abordado como objeto de trabajos de investigación, se ha incluido las cebollas, desarrollando experiencias tanto en Lanzarote como en Tenerife con el objetivo de conocer la dependencia micorrícica de esta especie hortícola y el efecto de la simbiosis sobre la salud del cultivo y la calidad de la cosecha (Jaizme-Vega *et al.*, 2000 y 2002).

Por todo ello, el presente Trabajo Fin de Máster se centra en las poblaciones de hongos micorrícicos, para optimizar el cultivo de las variedades tradicionales de cebollas de Canarias abordando las ventajas de la inoculación temprana de estos simbiontes sobre el desarrollo, producción y calidad de la cosecha.



1.1. Hongos formadores de micorrizas arbusculares

1.1.1. 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 hongo 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 los que establecen una simbiosis mutualística denominada “micorriza” (Smith y Read, 1997). Etimológicamente la palabra deriva 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 al 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 fosfato hacia la planta. Este hecho convierte en esencial la actividad micorrícica, 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 las 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 su 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.

1.1.2. Tipos de Micorrizas

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).

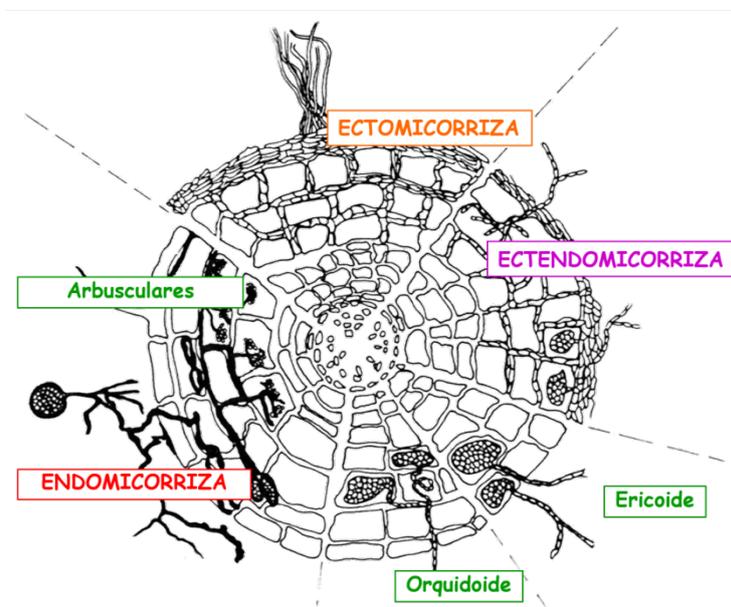


Figura 1. Tipos de Micorrizas (tomado de Barea, 2009 y modificado por M. Jaizme-Vega, 2019).



- 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 cultivables de manera axénica en medios de cultivo sintéticos. Los hongos que las generan son en su mayoría Basidiomycetes y Ascomycetes (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:

Tabla 1. Diferentes tipos de Endomicorrizas.

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

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 intracelular. 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 abiótico (incendios, sequías, inundaciones, contaminación por metales pesados, etc.) (Honrubia, 2009).

1.1.3. Morfología y desarrollo de las 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 2). 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 (un 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 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. Además de esta macro nutriente la simbiosis micorrícica aporta a la planta amonio, nitrato, cobre, cinc y otros microelementos y facilitan la captación 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).

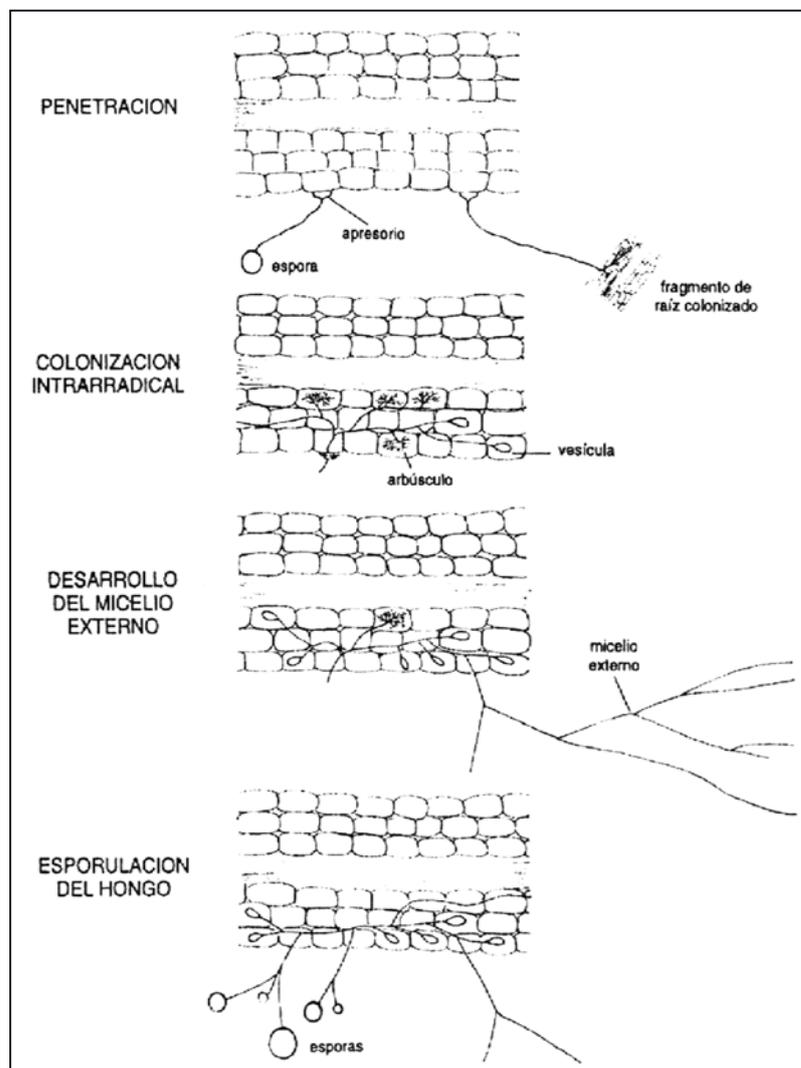


Figura 2. Proceso infectivo de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (Guerrero, 1996).

1.1.4. Efectos de las MA en el sistema suelo-planta

La formación de las micorrizas en el conjunto suelo-planta ejerce múltiples acciones positivas como la mejora del crecimiento de las plantas, potenciación de la captación de agua y nutrientes protegiendo a las plantas frente a sequías y salinidad, protección frente a agentes patógenos del suelo, metales pesados y plagas y



enfermedades siendo capaz de incrementar la producción de compuestos implicados en actividades de defensa tales como fitoalexinas, argininas, quitinasas, isoflavonoides, etc. (Pozo *et al.*, 2013) y mejora de la estructura y conservación del suelo debido a implicación de las hifas en la formación de agregados estables del mismo (Jaizme-Vega, 2019). Los hongos micorrícicos pueden, por lo tanto, contemplarse como: biofertilizantes, biorreguladores y bioprotectores.

1.1.5. Aplicaciones de los hongos micorrícicos en agroecología

Casi todos los cultivos agrícolas tienen un hábito micotrófico considerable, es decir que son capaces de beneficiarse de la simbiosis micorrícica. Se puede esperar, por lo tanto, mejorar su desarrollo y su salud si existieran en los sistemas de producción hongos MA, funcionalmente compatibles y disponibles para colonizar el sistema radical de las plantas.

Tanto los cultivos anuales como los cereales y legumbres herbáceas, como los cultivos de hortalizas, árboles o arbustos frutales de zonas templadas, cultivos de plantaciones tropicales, ornamentales, aromáticas, cultivos forestales, etc., son susceptibles de beneficiarse de la micorrización. Algunas de estas plantas, suelen mostrar un grado considerable de micotrofia, y su óptimo desarrollo depende por tanto de un pronto establecimiento de la simbiosis MA.

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 simbiosis no estuvieran presentes de modo natural, por haber sido eliminadas por prácticas agrícolas o cuando la que permanezca sea poco efectiva, se debe considerar la posibilidad de introducir un hongo seleccionado. En estos casos, antes de aplicar cualquier inoculante habría que considerar las características del suelo y de los cultivos a desarrollar y plantearse las razones de la pérdida de potencial micorrícico del agrosistema. Para ello, es oportuno realizar análisis



para determinar el potencial micorrícico natural y los contenidos en P 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 (Jaizme-Vega, 2019). En la Figura 3, 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 de 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 3. Potencial del uso agrícola y medioambiental de la inoculación y manejo de los hongos micorrícicos (Jaizme-Vega, 2019).



1.2. La Cebolla. Variedades locales

1.2.1. Taxonomía y generalidades

La cebolla (*Allium cepa* L.) es originaria del Asia Central donde se domesticó hace más de 5000 años. Se cultivaba en Egipto en tiempos del Antiguo Reino (2700 a. C.) y también en Mesopotamia. Fue cultivada por griegos y romanos, no sólo por su valor culinario, sino también por sus propiedades medicinales. A pesar de que era una especie habitual en el entorno mediterráneo (se considera el Mediterráneo y Oriente Medio centros secundarios de diversificación), la gran expansión del cultivo en Europa no tuvo lugar hasta la Edad Media. Llegó al continente americano de la mano de Colón en 1494 y más tarde fueron los colonizadores los que lo establecieron como cultivo en América a principio del siglo XVII. En siglos posteriores adquirió importancia el comercio de semillas y la selección y mejora de variedades pero fue a mediados del siglo XX cuando se dio un salto cualitativo con la obtención de las primeras variedades híbridas comerciales (Tascón, 2012). Históricamente España ha sido un importante país productor de cebollas y cuenta con numerosas variedades locales, algunas de las cuales han sido seleccionadas y cruzadas para obtener variedades comerciales de gran distribución internacional

Esta especie monocotiledónea se incluía dentro de la familia *Liliaceae* en la primera clasificación de las angiospermas, posteriormente también se situó en la *Amaryllidaceae*. Sin embargo desde 1997 y gracias a estudios moleculares, ha sido incluida en una nueva familia botánica, *Alliaceae* (Takhtajan, 1997).

La cebolla es una hortaliza bianual: esto quiere decir que completa su ciclo en dos años. En el primero las semillas germinan dando lugar a una planta herbácea de hojas verdes, lineares, cilíndricas y envainadoras que van acumulando en su base sustancias de reserva hasta formar un bulbo, este se conoce como cebolla y es la parte de la planta que generalmente se consume. Después de que el bulbo pase por un periodo de reposo o latencia, se lleva nuevamente al terreno y desarrolla una planta que florece y fructifica. En este segundo año es cuando se obtienen las semillas.



1.2.2. Factores que afectan al cultivo

Las cebollas son bastante sensibles a la temperatura, es conocida su influencia sobre el rendimiento y la floración, la cual es inducida por temperaturas bajas. Este factor ambiental es de gran importancia en las plantaciones del primer año pues puede provocar la subida prematura a flor en variedades genéticamente sensibles, reduciendo el rendimiento total y la calidad de las cebollas (Tascón, 2011).

El agua de riego debe ser blanda próxima a la neutralidad o ligeramente ácidas, de baja salinidad y con poco contenido en sodio.

Los suelos más apropiados son aquellos permeables limo-arenosos, bien estructurados, con un correcto contenido de materia orgánica, que posean un pH alrededor de 6 o algo superior y una conductividad eléctrica baja, menos de 1,2 dS/m. No son nada recomendables los suelos arcillosos y pesados (Tascón, 2012).

Las cebollas padecen con frecuencia plagas y enfermedades provocadas por hongos y bacterias que se encuentran en los suelos, sobre todo cuando los cultivos son reiterativos. Las rotaciones pueden ser una ayuda para el control de este tipo de daño. Las más adecuadas son las que alternan los *Allium* con cucurbitáceas, solanáceas, umbelíferas o compuestas.

1.2.3. Cultivo de cebollas en Canarias

El cultivo de cebollas, se introdujo en Canarias tras la Conquista, y ha sido citada, entre otros, por Viera y Clavijo a finales del siglo XVIII, y por De León y Falcón a mediados del siglo XIX. Este último autor hace referencia a la importancia que tenía la producción de cebollas en Canarias, no sólo para el consumo interior, sino también para su exportación a América. En este sentido, Navarro Soler expone que en 1880 Canarias exportaba tantas cebollas como la Península y las Islas Baleares juntas. Se sabe que durante la primera mitad del siglo XX Canarias fue una importante región productora de semillas de variedades “de día corto”, es decir, de cebollas subtropicales, capaces de producir con 12 o 13 horas de luz diarias (Morales *et al.*, 2012). A mediados del siglo XX el cultivo de cebolla para exportación en las islas se ve disminuido y



terrenos que antiguamente se habían destinado a la producción de semillas fueron dedicados a plataneras.

Actualmente, las únicas semillas que se producen en Canarias corresponden a las variedades locales que de forma tradicional se han mantenido hasta hoy en zonas más o menos aisladas o bien delimitadas y que solo representan un 10-15 % de la producción total. La superficie en Canarias dedicada a este cultivo es de 360,9 has en 2017, de las cuales 125 has fueron cultivadas en Tenerife y 100 has en Lanzarote. La producción anual de la comunidad autónoma ronda las 7937 t, unas 3120 t en la isla de Tenerife, 1500 t en Las Palmas de Gran Canaria y 1534 t en Lanzarote (ISTAC, 2017).

1.2.4. Variedades locales

Cuando hablamos de variedades locales o tradicionales, nos referimos a aquellas que han sido seleccionadas a lo largo del tiempo, por los agricultores en función de su estabilidad en la producción, calidad y resistencia a plagas y enfermedades. Estas variedades constituyen hoy la base de la agrobiodiversidad. Las variedades locales suelen ser genéticamente diversas, adaptadas localmente y asociadas a sistemas agrícolas tradicionales y han sido usadas históricamente como material de partida para el desarrollo de variedades mejoradas (Camacho Villa *et al.*, 2005).

En Canarias existen actualmente variedades o cultivares locales de cebollas tradicionales de notable calidad, alto rendimiento y gran valor genético, las cuales están siendo estudiadas y referenciadas por el Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife (CCBAT). Estas cebollas tienen la particularidad de ser variedades subtropicales, adaptadas a la latitud y condiciones ambientales del archipiélago, que pasan el invierno en la tierra y producen en primavera-verano.

- Cebolla de Masca

Esta cebolla, que tiene forma achatada y color rosado asalmonado, muy valorada por su sabor dulce, se cultiva en el caserío de Masca, en el municipio de Buenavista del Norte, Tenerife a 600 msnm. La siembra se hace habitualmente en noviembre-diciembre y se recolecta en los meses de junio y julio. Se puede comprar en las ventas locales o en las casas de los agricultores, generalmente en ristras.



Su conservación es muy buena, permaneciendo varios meses sin estropearse. Se consume en fresco o en guisos y frituras. En Masca también se producen plántulas (cebollinos), que se pueden comprar desde el mes de diciembre hasta febrero (Tascón, 2012).

- Cebolla de Guayonje

Esta cebolla, inicialmente cultivada alrededor del barranco de Guayonje (Tacoronte), entre los 200 y 400 msnm, se planta también en otros barrios del municipio (San Juan, Puerto de la Madera, Tagoro, Juan Fernández, etcétera) y es la más comercial de todas las variedades locales. Es de color rojo púrpura, de forma ovalada, ligeramente achatada y de sabor dulce. Las semillas de esta variedad se siembran entre noviembre y diciembre, recolectándose en los meses de mayo y junio, por lo que es la cebolla local-tradicional que primero llega al mercado. Se consigue en mercadillos del agricultor en manojos o sueltas o en algunas casas o fincas de los agricultores, en forma de ristras (Morales *et al*, 2012).

- Cebolla de Lanzarote

Esta cebolla, que tiene color amarillo-dorado, tamaño mediano y forma elíptica es cultivada en la isla de Lanzarote especialmente en el término municipal de Teguise, a unos 360 msnm. Se cultivan en seco, realizando la siembra desde octubre a diciembre, recolectándose en los meses de marzo y abril. Se consume tanto en crudo como hervida, al horno, frita, en polvo y en conserva. Se pueden comprar en algún mercadillo local o en las casas o fincas de los agricultores (Cabildo de Lanzarote, 2012).

- Cebolla Albina

Esta cebolla es una selección, a partir de mutaciones de la variedad de cebolla de Lanzarote, que se está realizando de forma experimental en el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias en Tenerife. Su color es blanco, de forma globosa, de tamaño grande y sabor dulce. Las semillas de esta variedad se siembran entre noviembre y diciembre, recolectándose en los meses de mayo y junio.



1.2.5. Aplicaciones de hongos MA en Liliáceas

En 2015, Baum *et al* publican nuevas experiencias en este tema que señalan que varios géneros de *Allium* responden con un incremento en el crecimiento cuando se inoculan con hongos MA. Las plantas de cebolla (*Allium cepa*) inoculadas con hongos formadores de micorrizas (*Glomus intraradices* o *Glomus versiforme*), y cultivadas en macetas con suelo mineral tienen una biomasa más alta que las plantas no inoculadas y alcanzan un tamaño comercializable (> 25 mm de diámetro de bulbo) 2–3 semanas antes que las no inoculadas (Charron *et al.*, 2001a). Esta inoculación con las micorrizas causa la formación de bulbos de cebollas más firmes (Charron *et al.*, 2001b). La inoculación micorrícica conduce a un aumento del 22% en el rendimiento de las cebollas en comparación con los controles no inoculados (Torres-Barragan *et al.*, 1996). La aplicación combinada de sustancias húmicas, inoculación micorrícica y elevado CO₂ induce a una mayor acumulación de azúcares solubles, proteínas y prolina en las hojas de *A. cepa*. Esta parece ser la combinación de tratamientos más efectiva para mejorar la calidad de las plántulas de cebollino, material vegetal de partida para el desarrollo posterior del cultivo, la tolerancia al estrés y la calidad de los bulbos (Bettoni *et al.*, 2014). Se han obtenido resultados similares en campo usando puerro (*Allium ampeloprasum*) como planta huésped (Sasa *et al.*, 1987; Sorensen *et al.*, 2003). El tiempo de inoculación afecta significativamente a la respuesta de crecimiento del puerro en plantas micorrizadas (Charron *et al.*, 2001b). De acuerdo con Koch *et al.*, (1997) plantas de ajo (*Allium sativum*) del cultivar Frankon inoculadas con AMF tuvieron pesos frescos y secos más altos que las plantas en parcelas no inoculadas.

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo. La producción mundial actual alcanza hasta 46,7 millones de toneladas de bulbos en 2.7 millones de has (http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_onions.html). Solo la producción de tomates y coles (en cuanto al peso) supera en importancia a las cebollas de bulbo (FAO). Su popularidad proviene de sus propiedades nutricionales y médicas (por ejemplo, antimicrobiano, antitumoral, antiasmático). También es ampliamente utilizado como potenciador del sabor, lo que además aumenta su valor funcional (Corzo-Martínez *et al.*, 2007). La abundancia de ácidos orgánicos en la cebolla ha sido estudiada en varios cultivares cultivados bajo ciertas condiciones agroclimáticas



(Rodríguez Galdón *et al.*, 2008) mostrando diferencias significativas entre cultivares. Sin embargo, no se consideró el efecto de las micorrizas. Esta parece de particular importancia debido al impacto de los hongos formadores de micorrizas en el metabolismo primario y secundario de la planta. Además, se puede esperar que las micorrizas pronto sean una herramienta muy importante en la agricultura sostenible, debido a la urgente necesidad de desarrollar tecnologías que permitan minimizar la fertilización y el control químico. Se demostró que las micorrizas son eficaces en ambos casos.

Se ha evaluado el papel de las micorrizas en la vitalidad de la cebolla, la productividad, las propiedades nutricionales y nutracéuticas. También se evaluó la tasa de dependencia de los hongos formadores de micorrizas y su potencial para mejorar el rendimiento de diferentes cultivares de cebolla. Esto es particularmente importante para la agricultura sostenible, porque permite seleccionar el consorcio óptimo de planta-hongo para condiciones agrícolas dadas (Rozpadek *et al.*, 2016).

Recientemente, un trabajo de Mollavali *et al.*, 2017 describe a las cebollas como una especie con una alta dependencia micorrícica. Estas plantas tienen además una baja relación raíz/parte aérea y bajas tasas de absorción de fósforo, características típicas de las especies micotróficas (Augé y Moore 2005). Los hongos formadores de micorrizas arbusculares son conocidos por influir significativamente en la composición de los flavonoides en cebollas y otras plantas. (Ling-Lee *et al.*, 1977; Ponce *et al.*, 2004; Perner *et al.*, 2008). El contacto de las micorrizas con las raíces de las plantas huésped inicia mecanismos de defensa (Harrison y Dixon 1994; Bi *et al.*, 2007) y en consecuencia, la producción de compuestos flavonoides y antioxidantes aumentan las actividades enzimáticas (Ling-Lee *et al.*, 1977; Devi y Reddy 2002).



2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Este trabajo Fin de Máster tiene como objetivo evaluar en las condiciones del archipiélago canario, el efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) sobre diferentes variedades locales de cebollas, para optimizar la salud y la calidad del cultivo durante la fase de semillero y campo.



3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado en las instalaciones del Departamento de Protección Vegetal del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) en Tenerife.

3.1. Fase de semillero

3.1.1. Plantas hospedadoras

Se sembraron semillas de 4 variedades locales de cebollas (*Allium cepa* L.), dos variedades locales de la isla de Tenerife (Masca y Guayonje) y dos de la isla de Lanzarote (Lanzarote y Albina).

3.1.2. Sustratos

Se empleó un sustrato formado por una mezcla de suelo, picón y turba sin enriquecer (S:P:T, 1:1:1: v/v), cernido a través de un tamiz con 1 cm de luz de malla y esterilizado en caldera de vapor Ygnis 60/4.



Foto 1 y 2: Proceso de esterilización del sustrato en caldera de vapor Ygnis 60/4.



3.1.3. Contenedores

Los semilleros se realizaron en bandejas multipots de PE rígido de 28 alveolos (115 cc de volumen/alveolo). Cada lóculo se rellenó en sus 2/3 partes con el sustrato, luego se añadió 6 cc de inóculo (sólo en los tratamientos con MA) y se completó con sustrato. Luego se colocaron las semillas de cebolla, enterrándolas con ayuda de unas pinzas. La operación acabó con un riego.

Para cada variedad se sembraron un total de 16 multipots (8 controles y 8 MA). Las bandejas permanecieron en condiciones de umbráculo hasta el momento del trasplante.

La fase de semillero duró 4 meses. Durante este periodo el riego se realizó en función de las necesidades hídricas del cultivo y la fertilización se realizó usando una solución nutritiva (Hewit, 1952), enriquecida moderadamente en P (0.272 g/l de PO_4H_2K) a razón de 30 cc/planta tres veces por semana.

3.1.4. Hongo MA e inoculación

La inoculación con los hongos formadores de micorrizas se realizó en el momento de la siembra. 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) *Glomus mosseae*, con un 72% de colonización y una riqueza de 1 espora/g de suelo. Se aplicaron 6 cc de inóculo/planta. Este aislado procede de suelo de una finca ecológica de la zona norte de Tenerife y está registrado en el Banco Europeo de Glomales (BEG) con el código 234. Él inóculo es reproducido de forma rutinaria en el Departamento de Protección Vegetal del ICIA.



Foto 3: Inoculación con *Glomus mosseae* en la fase de semillero.



3.1.5. Diseño experimental

El ensayo disponía de 2 tratamientos (micorriza y control) de 8 repeticiones cada uno, teniendo un total de 448 plantas por variedad estudiada, que se distribuyeron en mesas de crecimiento de forma aleatoria en bloques al azar, como se detalla en las siguientes fotos:



Foto 4 y 5: Vista general del ensayo en el invernadero.

3.1.6. Condiciones de cultivo

Las plantas permanecieron durante la fase de enraizamiento 4 meses, en bandejas multipots hasta el momento del trasplante y levante. Durante el periodo de ensayo, las plantas de cebolla permanecieron en condiciones de invernadero con cubierta de policarbonato y malla de sombreo cuyas condiciones ambientales fueron:

- Temperaturas medias diurnas: 26-32° C
- Temperaturas medias nocturnas: 15-20° C
- HR: 60-80%

3.1.7. Variables experimentales a analizar

En el momento del trasplante (4 meses después de la siembra) se analizaron 12 plantas/tratamiento, con el fin de verificar el efecto de la inoculación con hongos MA sobre el desarrollo de las plántulas. Las variables experimentales medidas, fueron las siguientes:

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



- Longitud de la parte aérea, raíz (cm)
- Diámetro del bulbo (mm)
- Colonización micorrícica (%)
- Dependencia micorrícica relativa (DMR) (%)

Las variables experimentales de **peso** se determinaron con la ayuda de una balanza analítica.



Foto 6: Determinación del peso fresco de las plantas en el momento del levante.

Para determinar el **peso seco**, se procedió al secado de las plantas en una estufa Heraeus (Kelvitron ® t) Kendro Laboratory Products Typ UT 6760, a 70 °C durante un periodo de 24h. Posteriormente llevamos a cabo las labores de pesado.

Las **longitudes de la parte aérea y radical** se realizaron mediante una regla de un metro de largo según el Sistema Internacional de Unidades. Para la medición de la parte aérea se situó el cuello de la planta de tomate en el cero de la regla y se midió hasta el último brote; para la raíz, procedimos a medir la raíz principal.



Foto 7 y 8: Medida de la longitud de la parte aérea y radical.



Para el **diámetro** de la planta se midió el cuello usando un pie de rey.



Foto 9: Medida del diámetro del tallo.

Para el estudio de la **colonización micorrícica** producida en el interior de la raíz, se tomaron muestras de raíz, aproximadamente un 10% del peso radical y se conservaron en tubos de ensayo, con etanol al 50%, para detener el crecimiento radical. Para llevar a cabo la tinción se siguió el protocolo descrito por Phillips y Hayman (1970) y modificado por Koske y Gemma (1989), dicha técnica consiste en clarificar las raíces calentándolas 1 hora a 70°C en KOH al 2,5% y tras enjuagar con agua, remojar durante 24 horas en HCL al 1% a temperatura ambiente para posteriormente teñir las raíces con Trypan-blue al 0,05% en glicerol acidificado, siendo después aclaradas y conservadas en glicerol acidificado.

El porcentaje de colonización micorrícica se determinó a partir de 10 trozos de raíz teñida de aproximadamente 1cm de largo, montados sobre un porta-objetos y fijados con ácido láctico, observándolos al microscopio óptico según el método descrito por Brundett *et al.* (1985).

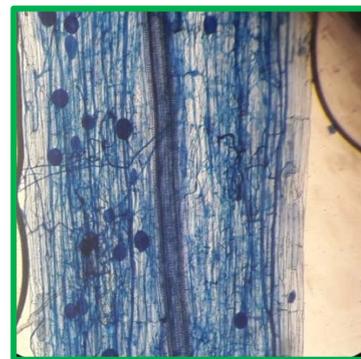


Foto 10 y 11: Preparaciones de raíces micorrizadas para la posterior observación al microscopio óptico y aspecto al microscopio óptico de una raíz colonizada con *Glomus mosseae*.



La dependencia micorrícica relativa (DMR), definida por Gerdermann (1975) como el grado de necesidad de las plantas de estar micorrizadas para producir el máximo crecimiento o cosecha a un nivel de fertilidad determinado se calcula mediante la fórmula:

$$DMR = \frac{\text{Peso fresco total planta Micorrizada} - \text{Peso fresco total planta No Micorrizada}}{\text{Peso fresco total planta Micorrizada}} \times 100$$

Los datos referidos al desarrollo de la planta fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA, usando el programa Systat 10. Las medias se compararon mediante el test de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.2. Fase de campo

3.2.1. Trasplante

Finalizada la fase de semillero (4 meses) se procedió al trasplante a campo en una huerta de unos 900 m² ubicada en el ICIA a unos 290 msnm. El suelo antes del cultivo fue analizado en el Laboratorio Agrario, dando las siguientes características:

Materia orgánica (%)	3
Fósforo (ppm)	84
Cationes extraídos con acetato amónico:	
Sodio (meq/100 g)	1,9
Potasio (meq/100 g)	5,1
Calcio (meq/100 g)	12,2
Magnesio (meq/100 g)	7,6
pH de pasta saturada	7,39
Conductividad eléctrica en el extracto saturado (mS/cm25°C)	1,45
Porcentaje de saturación (%)	57,6



3.2.2. Diseño experimental

Para cada variedad se montaron 8 líneas de riego de 20 m, con goteros de 2 l/h dispuestos a 30 cm, distribuidos en dos bloques. La separación entre bloques era de 1,5 m y entre las mangueras de cada bloque de 40 cm.



Foto 12 y 13: Vista general de la parcela con el riego instalado.



Foto 14, 15 y 16: Momentos del trasplante.

El ensayo de campo estaba dispuesto en bloques. Para cada variedad y tratamiento se sembraron 4 bloques de 28 plantas, distribuidas tal y como se detalla en el siguiente esquema:

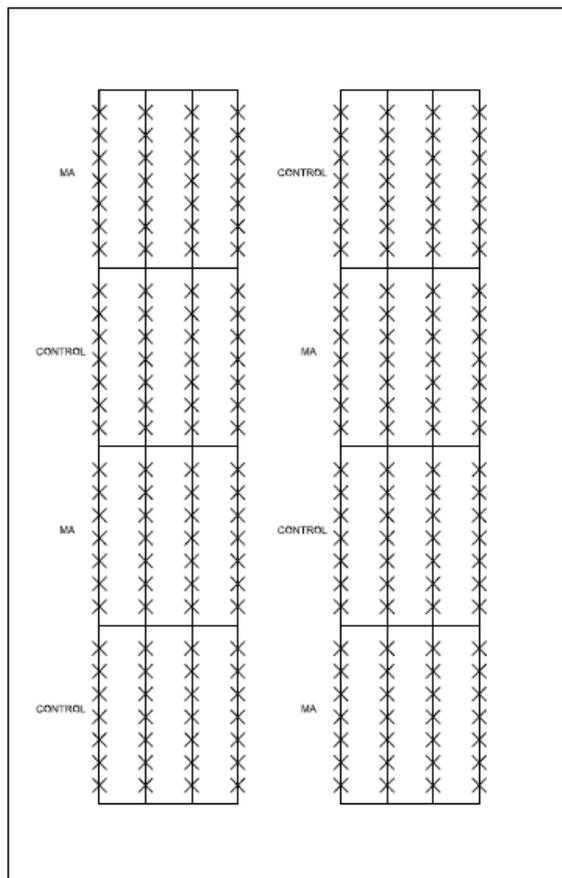


Figura 4: Croquis de la disposición de las plantas en una de las variedades.



Foto 17: Vista general de la parcela con las plantas sembradas.

3.2.3. Condiciones de cultivo y duración del ensayo

Las plantas permanecieron en campo aproximadamente unos 4 meses, de marzo a julio, hasta el momento del segundo levante. Durante el periodo de ensayo, las plantas de cebolla se regaron una vez a la semana y el suelo fue cubierto con un mulching de



paja para evitar la proliferación de malas hierbas y mantener la humedad. Las condiciones ambientales fueron:

- Temperaturas medias diurnas: 21-26° C
- Temperaturas medias nocturnas: 11-14° C
- HR: 76 %



Fotos 18 y 19: Aspecto de las plantas a los dos meses de la siembra e incorporación del mulching.

3.2.4. Variables experimentales a analizar

Después de unos 4 meses del trasplante (8 meses después de la siembra) se analizaron 10 plantas/bloque, descartando los bordes, con el fin de verificar el efecto de la inoculación con los hongos MA sobre el desarrollo y cosecha de las plantas.



Fotos 20 y 21: Aspecto de los tratamientos de las cebollas de la variedad Guayonje y Masca en el momento de la recolección.



Fotos 22 y 23: Aspecto de los tratamientos de las cebollas de la variedad Lanzarote y Albina en el momento de la recolección.

Las variables experimentales medidas, fueron las siguientes, determinadas de la misma forma que en el primer levante:

- Peso total (g)
- Diámetro del bulbo (mm)
- Colonización micorrícica (%)

Los datos referidos al desarrollo de la planta fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA, usando el programa Systat 10. Las medias se compararon mediante el test de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.3. Fase postcosecha

Una vez recolectados los bulbos, estos permanecieron aproximadamente un mes en cajas de cartón sobre mesas en el invernadero para realizar el secado o curado.



Foto 24: Secado de los bulbos de cebolla.



3.3.1. Variables experimentales a analizar

Después del tiempo de curado, se eligieron 9 bulbos de cada variedad para realizar los análisis de postcosecha en el laboratorio.



Foto 25 y 26: Detalle de las plantas controles (izda) y micorrizadas (dcha) elegidas para los análisis de postcosecha.

Las variables experimentales medidas, fueron las siguientes

- Dureza
- Firmeza dentro y fuera del bulbo
- Color interior y exterior
- ° Brix

La dureza, se determinó realizando tres medidas con un durómetro en la parte externa del bulbo



Foto 27 y 28: Durómetro y medida de la dureza en una de las variedades de cebolla estudiadas.



Para determinar la firmeza, se utilizó un penetrómetro tomando tres medidas en el exterior de la cebolla



Foto 29 y 30: Penetrómetro y medida de la firmeza en una de las variedades de cebolla estudiadas.

Para la determinación del color se utilizó un colorímetro, tomando medidas de luminosidad y de tonalidades (verde-azul y amarillo-rojo).



Foto 31 y 32: Colorímetro y medida del color en una de las variedades de cebolla estudiada.

Una vez tomadas las medidas del exterior de los bulbos se procedió a cortarlos para evaluar el color y la firmeza en el interior.



Foto 33 y 34: Corte de los bulbos controles (izda) y micorrizados (dcha) de la variedad Albina.

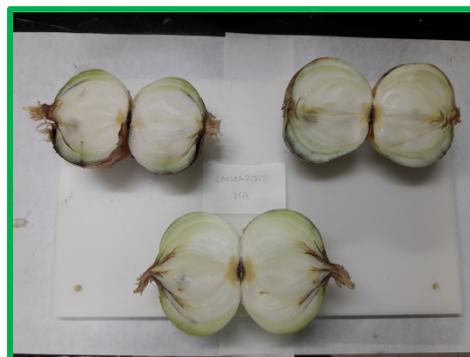


Foto 35 y 36: Corte de los bulbos controles (izda) y micorrizados (dcha) de la variedad Lanzarote.



Foto 37 y 38: Corte de los bulbos controles (izda) y micorrizados (dcha) de la variedad Masca.

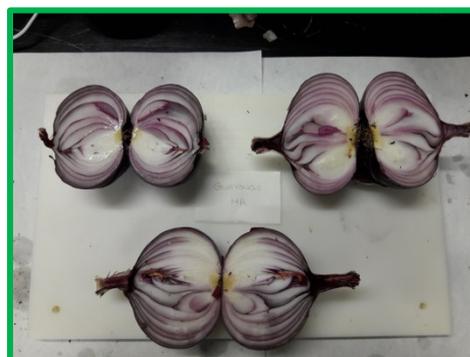


Foto 39 y 40: Corte de los bulbos controles (izda) y micorrizados (dcha) de la variedad Guayonje.



Foto 41 y 42: Medidas de firmeza y color en el interior de los bulbos.

Una vez cortadas las plantas se picaron para medir los grados brix con el refractómetro



Foto 43 y 44: Refractómetro y medida de los ° Bx en una de las variedades de cebolla estudiadas.

Los datos referidos a la postcosecha de las plantas fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA, usando el programa Systat 10. Las medias se compararon mediante el test de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Fase de semillero



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Fase de semillero

Los datos de las variables experimentales registrados en el primer levante se expresan para cada variedad por separado en las Tablas 2, 3, 4 y 5 y comparándolas entre ellas en la Tabla 6 y Figuras 5 a 9.

Al finalizar esta fase, todas las variedades estudiadas respondieron positivamente a la inoculación en la fase de semillero, con los hongos formadores de micorrizas. Todas las variedades mostraron dependencia micorrícica en esta fase, con un importante incremento con respecto al control, de las diferentes variables experimentales relativas al desarrollo estudiadas como se aprecia en las Tablas 2 a 6. La colonización de la raíz osciló entre un 53 y un 60 %, datos habituales para esta especie altamente micotrófica.

Aunque no existe en general mucha información de los efectos de los hongos formadores de micorrizas sobre esta especie en condiciones reales de cultivo, si se conoce y está documentada la capacidad del genero *Allium* para formar la simbiosis micorrícica y su alta dependencia micorrícica para su buen desarrollo. Para este cultivo y bajo un enfoque agroecológico es por lo tanto imprescindible la presencia de estos hongos en las raíces y en el suelo rizosférico para garantizar la salud y la calidad de la cosecha.

En las siguientes Tablas, Figuras y Fotos (45 a 52), se muestra y se ilustra para cada variedad el **desarrollo de las plantas** durante la fase de semillero.



- **Variedad Albina**

Tabla 2: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Albina.

Variedad	Tratamiento	Longitud parte aérea (cm)	Longitud parte radical (cm)	Diametro bulbo (mm)	Peso fresco parte aérea (g)	Peso fresco parte radical (g)	Peso fresco total (g)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco parte radical (g)	Peso seco total (g)
Albina	Control	17,07 b*	9,42 b	4,89 b	1,01 b	0,47 b	1,51 b	0,11 b	0,06 b	0,16 b
	MA	34,2 a	13,22 a	8,63 a	6,26 a	1,66 a	7,86 a	0,56 a	0,13 a	0,68 a
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	<i>p</i>	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$).



Foto 45 y 46: Aspecto de las plántulas controles y micorrizadas de la variedad de cebolla albina, 4 meses después de la inoculación.



- **Variedad Lanzarote**

Tabla 3: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Lanzarote.

Variedad	Tratamiento	Longitud parte aérea (cm)	Longitud parte radical (cm)	Diametro bulbo (mm)	Peso fresco parte aérea (g)	Peso fresco parte radical (g)	Peso fresco total (g)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco parte radical (g)	Peso seco total (g)
Lanzarote	Control	17,79 b*	11,17 a	4,92 b	1,08 b	0,51 b	1,59 b	0,10 b	0,04 b	0,14 b
	MA	31,71 a	12,67 a	8,14 a	4,73 a	1,68 a	6,40 a	0,44 a	0,20 a	0,59 a
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	<i>p</i>	0,000	0,233	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$).

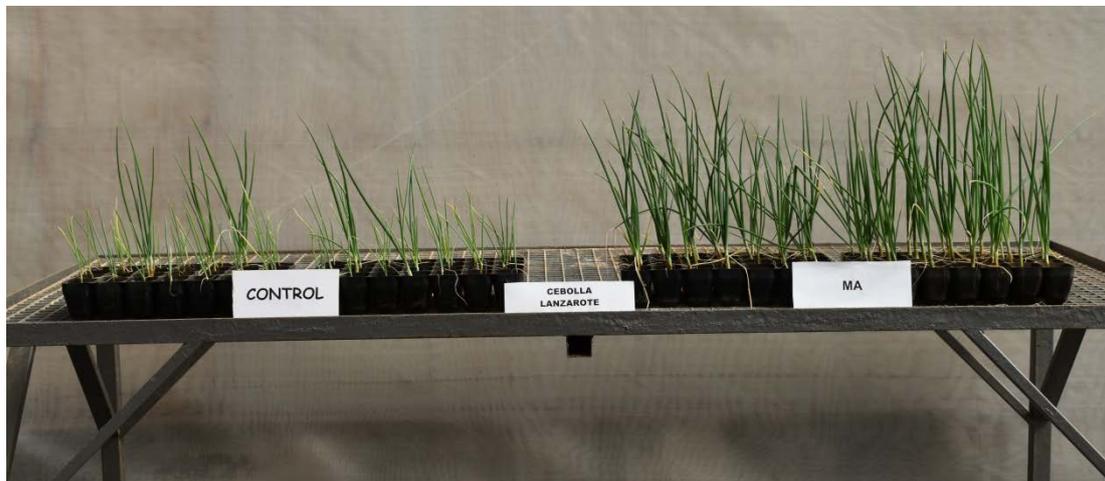


Foto 47 y 48: Aspecto de las plántulas controles y micorrizadas de la variedad de cebolla Lanzarote, 4 meses después de la inoculación.



- Variedad Masca

Tabla 4: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Masca.

Variedad	Tratamiento	Longitud parte aérea (cm)	Longitud parte radical (cm)	Diametro bulbo (mm)	Peso fresco parte aérea (g)	Peso fresco parte radical (g)	Peso fresco total (g)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco parte radical (g)	Peso seco total (g)
Masca	Control	16,54 b*	14,21 a	4,92 b	1,15 b	0,54 b	1,67 b	0,13 b	0,05 b	0,17 b
	MA	34,88 a	12,54 a	10,70 a	6,87 a	1,95 a	8,8 a	0,66a	0,17 a	0,83 a
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	<i>p</i>	0,000	0,292	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$).



Foto 49 y 50: Aspecto de las plántulas controles y micorrizadas de la variedad de cebolla Masca, 4 meses después de la inoculación.



- Variedad Guayonje

Tabla 5: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Guayonje.

Variedad	Tratamiento	Longitud parte aérea (cm)	Longitud parte radical (cm)	Diametro bulbo (mm)	Peso fresco parte aérea (g)	Peso fresco parte radical (g)	Peso fresco total (g)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco parte radical (g)	Peso seco total (g)
Guayonje	Control	17,21 b*	11,53 a	4,27 b	1,08 b	0,50 b	1,59 b	0,10 b	0,05 b	0,15 b
	MA	34,54 a	12,75 a	8,14 a	5,39 a	1,61 a	6,93 a	0,52 a	0,17 a	0,69 a
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	<i>p</i>	0,000	0,390	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$).

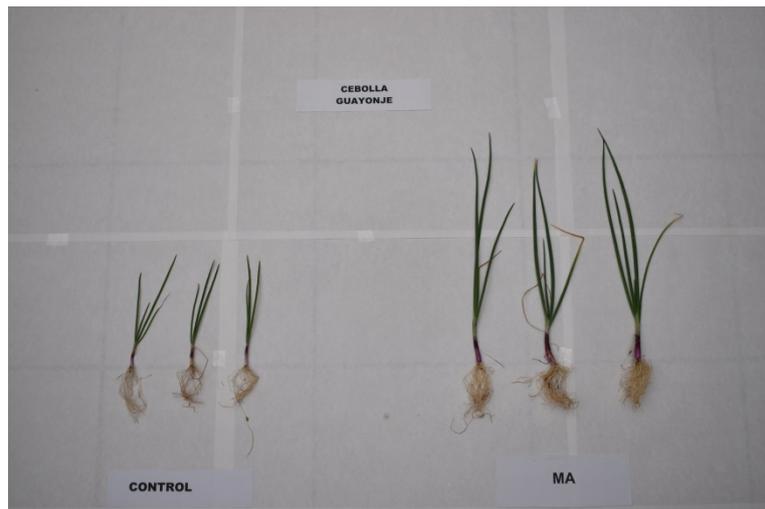
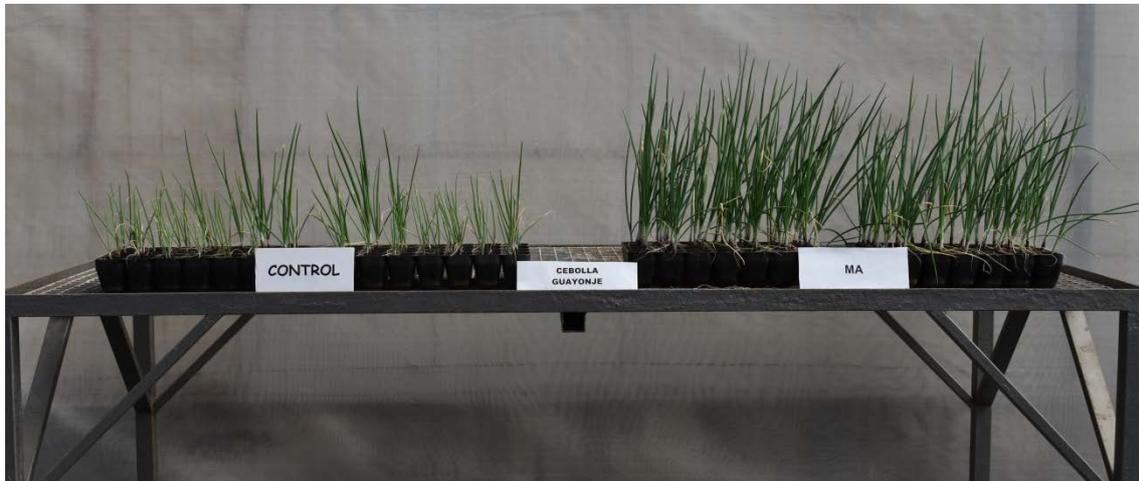


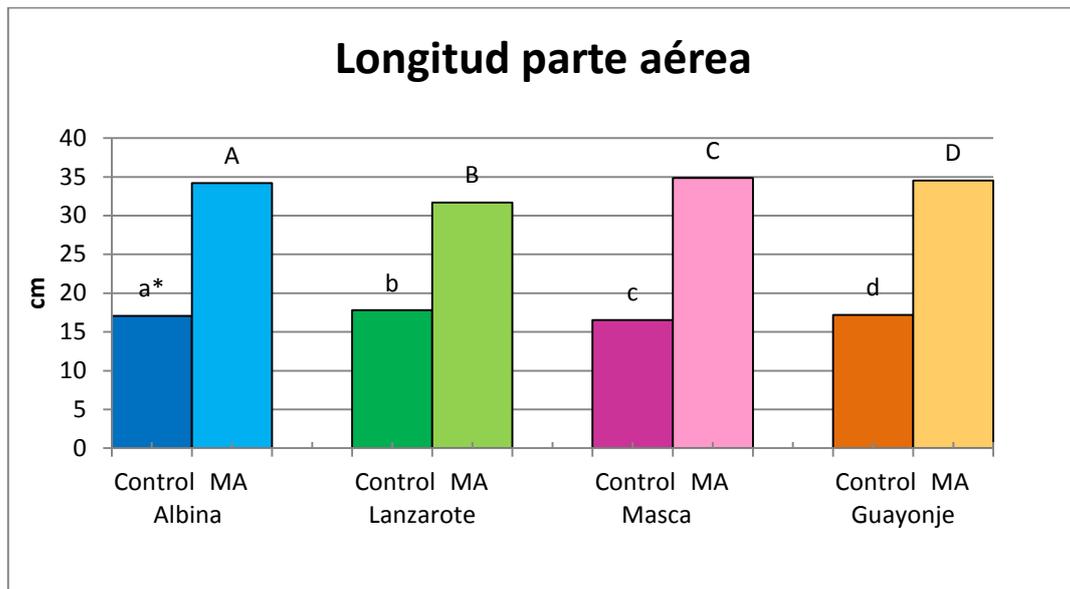
Foto 51 y 52: Aspecto de las plántulas controles y micorrizadas de la variedad de cebolla Guayonje, 4 meses después de la inoculación.



Como ya se dijo anteriormente todas las variedades incrementaron su desarrollo de manera muy similar y mostraron la misma colonización radical (Tabla 6).

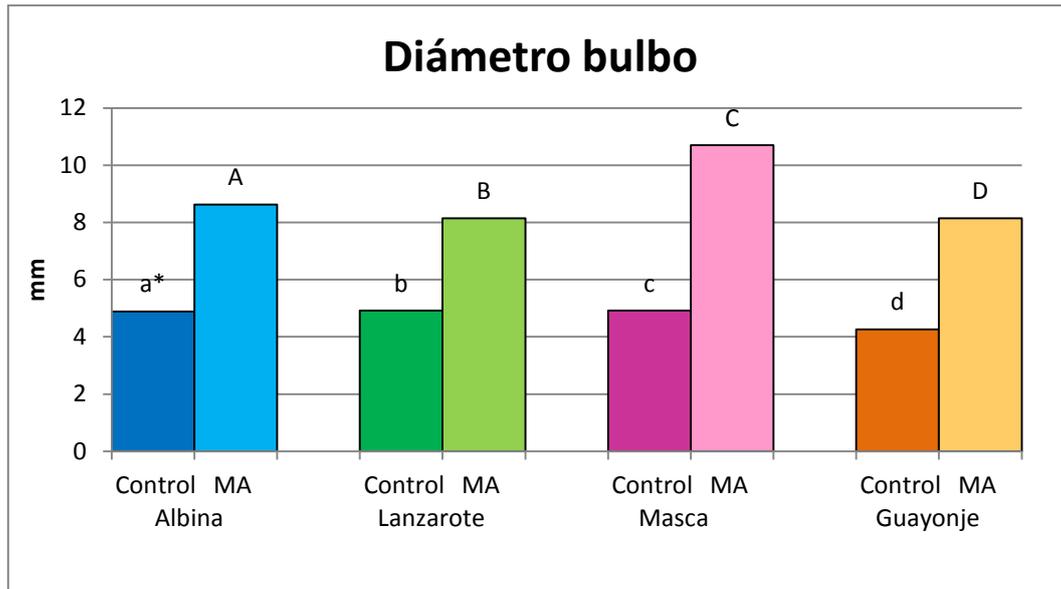
Tabla 6: Dependencia micorrícica relativa y porcentaje de colonización de todas las variedades de cebolla estudiadas.

Variedad	Tratamiento	DMR (%)	% Colonización
Albina	Control	80,79	0
	MA		60
Lanzarote	Control	75,16	1
	MA		60
Masca	Control	81,02	0
	MA		53
Guayonje	Control	77,06	1
	MA		59
	<i>n</i>	12	12
	<i>p</i>	-	0,000



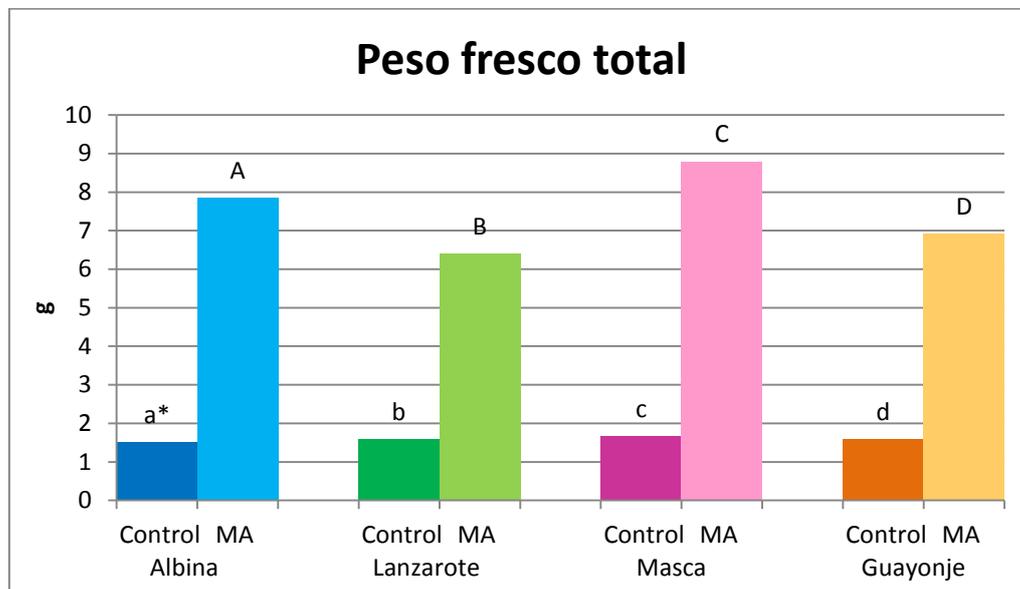
*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$)).

Figura 5: Efecto de la inoculación sobre la longitud de la parte aérea de las distintas variedades de cebolla estudiadas al finalizar la fase de semillero.



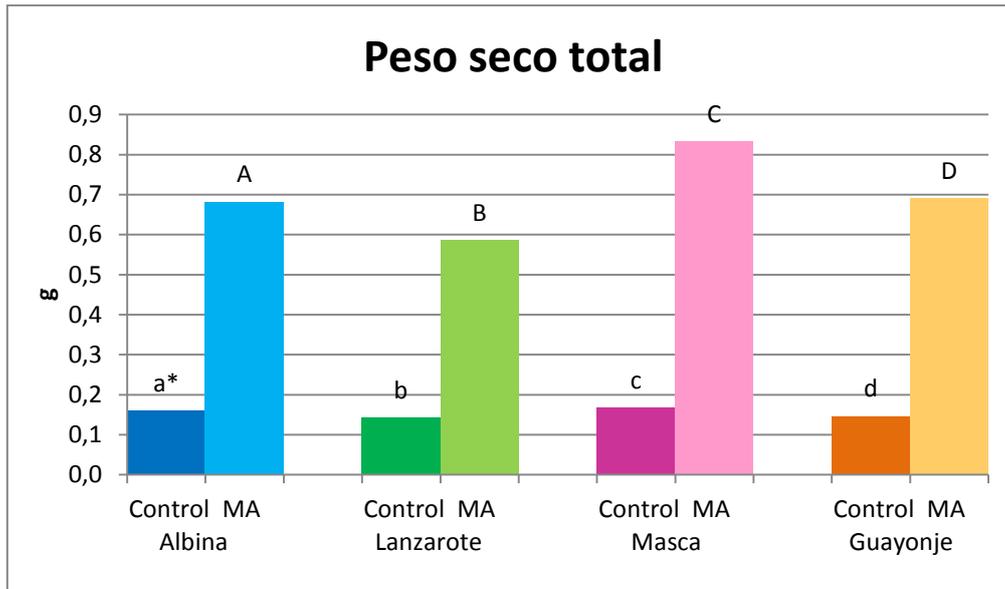
*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$)).

Figura 6: Efecto de la inoculación sobre el diámetro del bulbo de las distintas variedades de cebolla estudiadas al finalizar la fase de semillero.



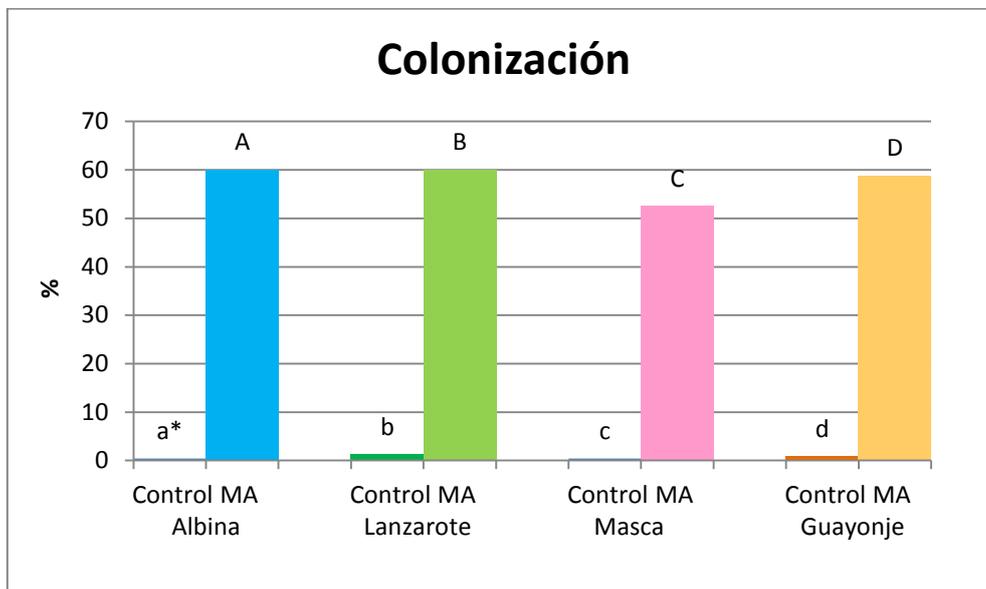
*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$)).

Figura 7: Efecto de la inoculación sobre el peso fresco total de las distintas variedades de cebolla estudiadas al finalizar la fase de semillero.



*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$)).

Figura 8: Efecto de la inoculación sobre el peso seco total de las distintas variedades de cebollas estudiadas al finalizar la fase de semillero.



*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=12$)).

Figura 9: Presencia del hongo MA, (*Glomus mosseae*) en las raíces control e inoculadas de las distintas variedades de cebollas al finalizar la fase de semillero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase de campo

Cebolla
Gua yonge
MA



4.2. Fase de campo

Los datos de las variables experimentales registrados en el segundo levante se expresan para cada variedad por separado en las Tablas 7, 8, 9 y 10 y comparándolas en las Figuras 10, 11 y 12.

Igual que ocurrió en la fase de semillero, los resultados relativos a la cosecha mostraron la gran capacidad de este cultivo para incrementar los rendimientos de las plantas micorrizadas en relación a los controles. En todas las variedades se registró una respuesta positiva tanto en lo referente a diámetro de los bulbos como en el peso medio de cada fruto.

Los bulbos de la variedad Albina, mostraron incrementos del 19 % en el diámetro y del 67 % en la cosecha cuando las plantas estaban inoculadas con los hongos micorrícicos. Del mismo modo, los frutos de la variedad Lanzarote que fueron inoculados con el hongo formador de micorrizas, incrementaron un 25 % el diámetro y un 78 % la cosecha. La variedad de cebollas Masca, inoculada con los hongos micorrícicos, mostraron un incremento del 30 % en el diámetro de sus bulbos y del 93 % en la cosecha. Finalmente los bulbos micorrizados de la variedad Guayonge, mostraron un incremento del 25 % en el diámetro y del 67 % en la cosecha.

Las colonizaciones de las plantas en el momento de la cosecha fueron muy parecidas y un 50 % más bajas que las obtenidas al final de la fase de semillero. Los valores medios que se situaban entre un 30-40%, demuestran que aun en condiciones de campo, la inoculación temprana de *G.mosseae* mantiene su capacidad colonizadora a niveles medios y que la infectividad del simbionte se traduce en un efecto benéfico significativo sobre la cosecha. Estos resultados de campo revelan rangos similares para todas las variedades evaluadas y siguen la misma tendencia obtenida en la fase de semillero.

Durante el cultivo no se presentaron problemas derivados de plagas y enfermedades, si bien hubo algo de presencia de trips (*Thrips tabaci*) y de *Spodoptera exigua*, que no causaron daños importantes.



En las siguientes Tablas, Figuras y Fotos (53 a 60) se muestra y se ilustra para cada variedad el **desarrollo de las plantas** durante la fase de campo.

- **Variedad Albina**

Tabla 7: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Albina.

Variedad	Tratamiento	Diámetro bulbo (mm)	Peso fresco bulbo (g)	% Colonización
Albina	Control	111 b*	474,7 b	6 b
	MA	132,2 a	791 a	37 a
	<i>n</i>	10	10	10
	<i>p</i>	0,023	0,015	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

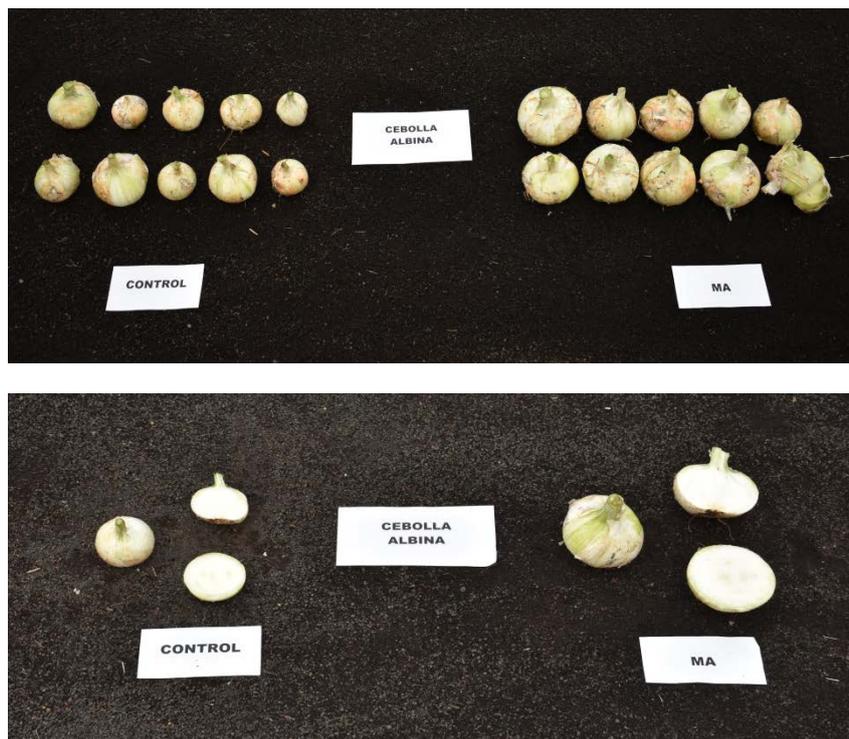


Foto 53 y 54: Aspecto de las bulbos controles y micorrizados de la variedad de cebolla Albina, 4 meses después del trasplante a campo.



- Variedad Lanzarote

Tabla 8: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Lanzarote.

Variedad	Tratamiento	Diámetro bulbo (mm)	Peso fresco bulbo (g)	% Colonización
Lanzarote	Control	104,2 b*	423,2 b	6 b
	MA	130 a	752 a	28 a
	<i>n</i>	10	10	10
	<i>p</i>	0,001	0,004	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).



Foto 55 y 56: Aspecto de los bulbos controles y micorrizados de la variedad de cebolla Lanzarote, 4 meses después del trasplante a campo.



- Variedad Masca

Tabla 9: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Masca.

Variedad	Tratamiento	Diámetro bulbo (mm)	Peso fresco bulbo (g)	% Colonización
Masca	Control	104,5 b*	373 b	2 b
	MA	137,2 a	721,6 a	36 a
	<i>n</i>	10	10	10
	<i>p</i>	0,001	0,003	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

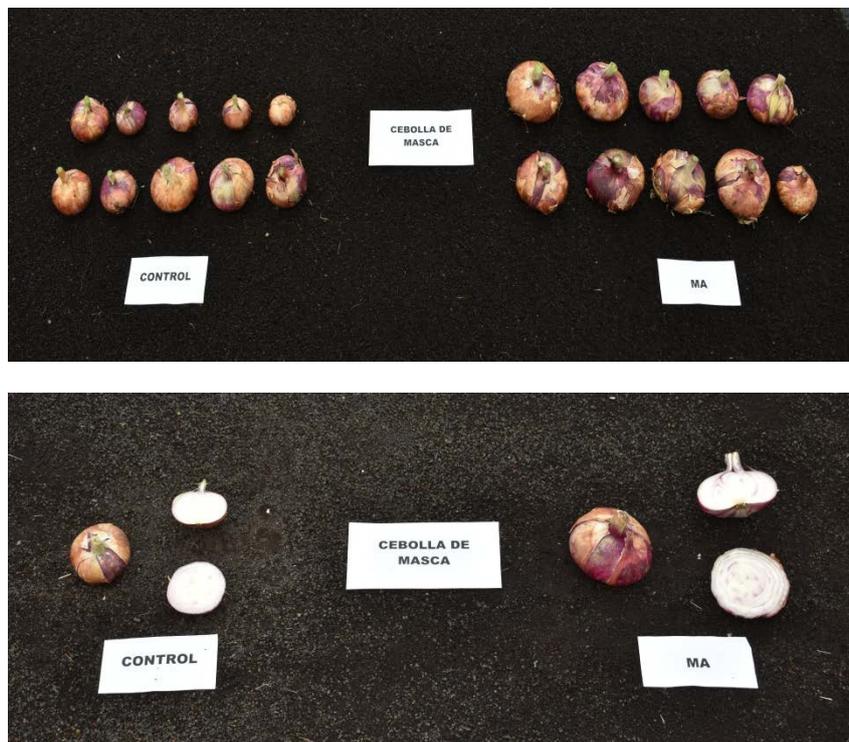


Foto 57 y 58: Aspecto de los bulbos controles y micorrizados de la variedad de cebolla Masca, 4 meses después del trasplante a campo.



- Variedad Guayonje

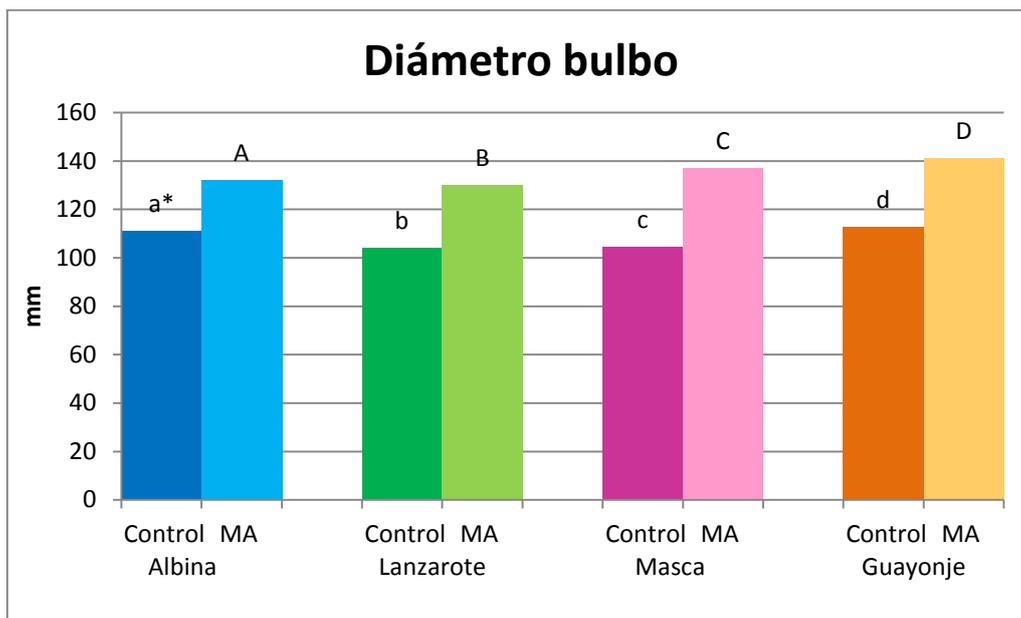
Tabla 10: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de la variedad Guayonje.

Variedad	Tratamiento	Diámetro bulbo (mm)	Peso fresco bulbo (g)	% Colonización
Guayonje	Control	112,7 b*	555,1 b	5 b
	MA	141,3 a	926 a	37 a
	<i>n</i>	10	10	10
	<i>p</i>	0,001	0,000	0,000

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

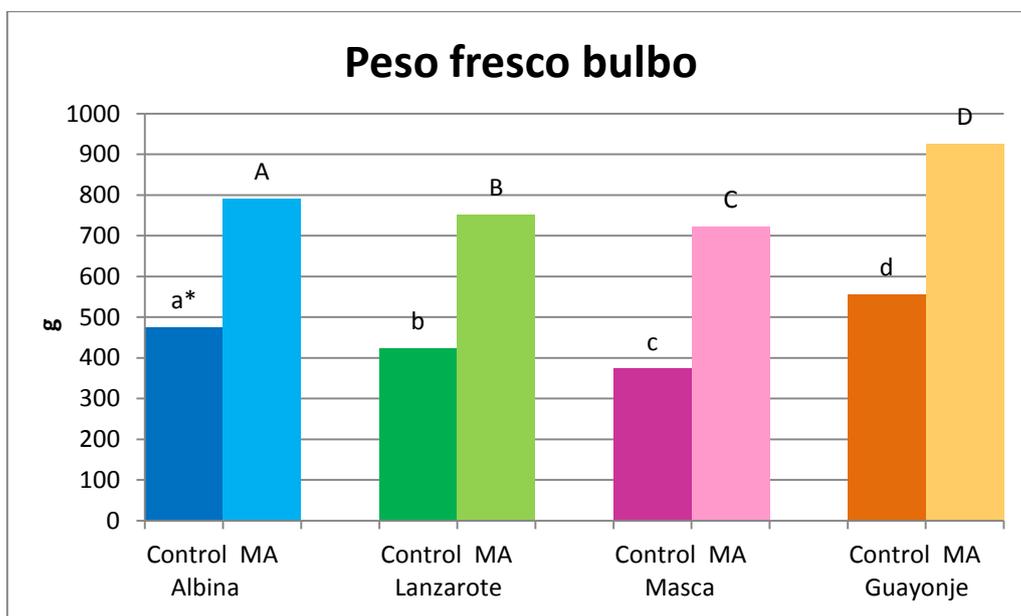


Foto 59 y 60: Aspecto de los bulbos controles y micorrizados de la variedad de cebolla Guayonje, 4 meses después del trasplante a campo.



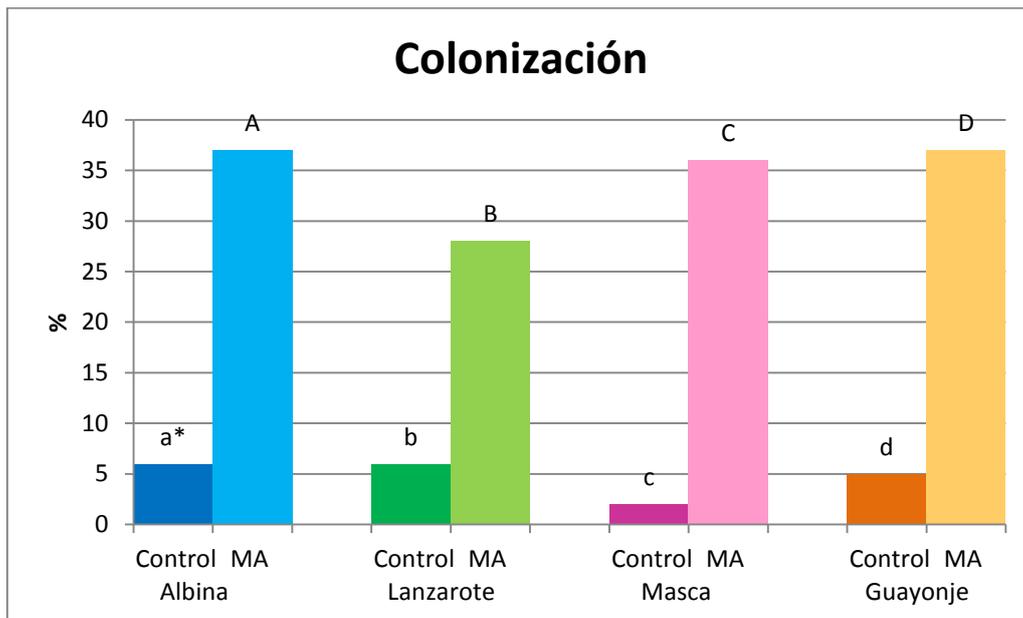
*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$)).

Figura 10: Efecto de la inoculación sobre el diámetro del bulbo al finalizar la fase de campo.



*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$)).

Figura 11: Efecto de la inoculación sobre el peso fresco del bulbo al finalizar la fase de campo.



*Para cada variedad señalamos con mayúsculas las medias que son estadísticamente significativas (Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$)).

Figura 12: Presencia del hongo MA, (*Glomus mosseae*) en las raíces control e inoculadas de las distintas variedades de cebollas al finalizar la fase de campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Fase postcosecha



4.3. Fase postcosecha

Los datos de las variables experimentales obtenidos en la fase de postcosecha se expresan para cada variedad por separado en las Tablas 11-18.

En todas las variedades, los parámetros estudiados relativos a la postcosecha no revelaron diferencias remarcables entre las plantas control e inoculadas. La necesidad de redactar este trabajo no permitió profundizar estos estudios después del periodo de almacenaje. Entendemos que este dato sería necesario para completar este trabajo y que los bulbos micorrizados tendrían un comportamiento diferente a los que no lo están.

- **Variedad Albina**

Tabla 11 y 12: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre la postcosecha de las plantas de la variedad Albina.

Variedad	Tratamiento	Color externo			Dureza	Firmeza externa
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Albina	Control	74,1 a*	-1,3 a	12,5 a	88,6 a	4,7 a
	MA	70,5 b	-1,9 a	13,6 a	84,8 a	4,9 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,035	0,424	0,441	0,062	0,679

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

Variedad	Tratamiento	Color interno			Firmeza interna	° brix
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Albina	Control	63,9 a*	-1,5 a	5,4 a	3,7 a	6,7 a
	MA	65,4 a	-1,7 a	6,5 a	4,0 a	6,2 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,561	0,732	0,216	0,127	0,277

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).



- **Variedad Lanzarote**

Tabla 13 y 14: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre la postcosecha de las plantas de la variedad Lanzarote.

Variedad	Tratamiento	Color externo			Dureza	Firmeza externa
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Lanzarote	Control	67,55 a*	1,23 a	21,40 a	90,1 a	4,70 a
	MA	64,51 a	2,37 a	21,82 a	86 b	4,62 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,165	0,692	0,866	0,044	0,673

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

Variedad	Tratamiento	Color interno			Firmeza interna	° brix
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Lanzarote	Control	66,37 a*	-1,24 a	5,17 a	4,11 a	7,09 a
	MA	66,35 a	-1,27 a	5,92 a	3,71 a	6,82 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,994	0,886	0,393	0,054	0,549

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

- **Variedad Masca**

Tabla 15 y 16: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre la postcosecha de las plantas de la variedad Masca.

Variedad	Tratamiento	Color externo			Dureza	Firmeza externa
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Masca	Control	50,16 a*	14,13 a	16,99 a	85,44 a	4,41 a
	MA	46,65 a	12,94 a	9,55 a	83,78 a	4,53 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,333	0,594	0,055	0,573	0,616

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).



Variedad	Tratamiento	Color interno			Firmeza interna	° brix
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Masca	Control	64,31 a*	0,82 a	4,99 a	3,50 a	7,76 a
	MA	64,15 a	0,92 a	3,87 a	3,81 a	7,53 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,950	0,912	0,359	0,135	0,645

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

- **Variedad Guayonje**

Tabla 17 y 18: Efecto de los diferentes tratamientos, sobre la postcosecha de las plantas de la variedad Guayonje.

Variedad	Tratamiento	Color externo			Dureza	Firmeza externa
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Guayonje	Control	30,4 a*	22,9 a	3,3 a	85,1 a	4,3 a
	MA	29,9 a	21,8 a	2,1 a	85,7 a	4,6 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,733	0,678	0,468	0,759	0,066

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).

Variedad	Tratamiento	Color interno			Firmeza interna	° brix
		Luminosidad	Tono verde-azul	Tono amarillo-rojo		
Guayonje	Control	58,3 a*	7,4 a	0,4 b	3,6 b	7,1 a
	MA	60,7 a	3,1 b	2,1 a	4,1 a	7,4 a
	<i>n</i>	9	9	9	9	9
	<i>p</i>	0,462	0,002	0,037	0,019	0,656

(*) Los datos seguidos de la misma letra representan a medias que no son significativamente diferentes según el test de Tukey ($P \leq 0.05$ y $n=10$).



5. CONCLUSIONES

- 🌿 Al finalizar la fase de semillero, las plantas inoculadas de todas las variedades de cebollas estudiadas mostraron incrementos significativos en su desarrollo con respecto a las plantas control.
- 🌿 Los hongos micorrícicos tuvieron un efecto positivo sobre la cosecha en todas las variedades estudiadas.
- 🌿 No se detectaron efectos de la inoculación sobre las características organolépticas de la cosecha.
- 🌿 A la vista de los resultados es aconsejable introducir esta biotecnología sobre el cultivo de las variedades locales de cebollas de Canarias, como complemento al apropiado manejo agroecológico indispensable para este cultivo en nuestras condiciones.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Augé, R. y Moore, J. 2005. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and plant drought resistance. In: Mehrotra VS (Ed) Mycorrhiza: role and applications. Allied Publishers Limited, New Delhi, pp 136–157.
- Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. M. 1995. Saprophytic growth of arbuscular-mycorrhizal fungi. En: Mycorrhiza structure function, molecular biology and biotechnology. B Hock y A Varma (Eds.). Springer-Verlag, Heidelberg. pp. 391-407.
- Barea, J. M. 2009. Mycorrhizas and Agricultural Fertility. En: Current Topics in Agriculture. Editor J. Bonilla. Editorial Studium Press. USA.
- Barea, J. M., Werner, D., Azcón-Aguilar, C. y Azcón, R. 2005. Interactions of arbuscular mycorrhiza and nitrogen-fixing symbiosis in sustainable agriculture. D Werner and WE Newton (eds.), Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment. pp. 199-222.
- Baum, C., El-Tohamy, W. y Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae* 187. 131-141.
- Bettoni, M.M., Mogor, Á.F., Pauletti, V., Goicoechea, N., 2014. Growth and metabolism of onion seedlings as affected by application of humic substances, mycorrhizal inoculation and elevated CO₂. *Sci. Hortic.* 180, 227–235.
- Bi, H., Song, Y. y Zeng, R. 2007. Biochemical and molecular responses of host plants to mycorrhizal infection and their roles in plant defence. *Allelopath J* 20:15–28
- Brundett, M. S., Piche y Peterson, R. L. 1985. A development study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhizal formation. *Canad. J. Bot.* 63, 184-194.
- Cabildo de Lanzarote. 2012. Fichas Técnicas de Cultivos de Lanzarote. Agrolanzarote. Servicio Insular Agrario. (En Línea). Consulta 19 de agosto de 2019. Disponible en: <http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/doc>



[umentos/agrolanzarote. ficha cebolla.pdf](#)

- Camacho, T., Maxted, N., Scholten, M. y Ford-Lloyd, B. 2005. Defining and identifying crop landraces. *Plant Gen. Resour.* 3,373-384.
- Charron, G., Furlan, V., Bernier-Cardou, M. y Doyon, G., 2001a. Response of onionplants to arbuscular mycorrhizae. 2. Effects of nitrogen fertilization on biomassand bulb firmness. *Mycorrhiza* 11, 145–150.
- Charron, G., Furlan, V., Bernier-Cardou, M., Doyon, G., 2001b. Response of onionplants to arbuscular mycorrhizae. 1. Effects of inoculation method and phosphorus fertilization on biomass and bulb firmness. *Mycorrhiza* 11, 187–197.
- Corzo-Martínez, M., Corzo, N., Villamiel, M., 2007. Biological properties of onions and garlic. *Trends Food Sci. Technol.* 18, 609-625.
- De León y Falcón, F. 2005. Memoria sobre el estado de la agricultura en la provincia de Canarias. En: H.A. Tessier y F. M. de León y Falcón. *El Estado de la Agricultura en Canarias*. Ediciones Idea. 211 pp.
- Devi, M. y Reddy, M. 2002. Phenolic acid metabolism of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) plants inoculated with VAM fungus and Rhizobium. *Plant Growth Regul* 37:151–156.
- FAO. ONION Post-harvest Operations. 2003. (En línea). Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_Onion.pdf
- Frank, A. y Trappe, J. 2005. On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (an English translation of A.B. Frank´s classic paper of 1885). *Mycorrhiza* 15:267-275.
- Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular arbuscular mycorrhiza. En: *The organization and structure of roots*. JG Torrey y DT Clarkson (Eds.). Academic. Press, London, New York, San Francisco. pp. 575.



- Guerrero, E. 1996. Micorriza: Fundamentos biológicos y estado del arte. Bogotá, Colombia pp. 31-38. En: Guerrero E. et al. (Ed) Micorrizas: Recurso Biológico del Suelo.
- Hage-Ahmed, K., Krammer, J. y Steinkellner, S. 2013. The intercropping partner affects arbuscular mycorrhizal fungi and *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici interaction in tomato. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria. *Mycorrhiza* 23:543-550.
- Harley, J. L. y Smith, S. E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. London. 483 pp.
- Harrison, M., Dixon, R. 1994. Spatial patterns of expression of flavonoid/isoflavonoid pathway genes during interactions between roots of *Medicago truncatula* and the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Plant J* 6:9–20.
- Hewitt, E. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical Communication No. 22., Technical Communication No. 22. East Malling, Maidstone, Kent, England: Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops.
- Honrubia, M. 2009. Las micorrizas: Una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. Vol. 66S1:133-134.
- ISTAC. 2017. Estadísticas de superficie y producción. (En Línea). Consulta 19 de agosto de 2019). Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi-istac/menu.do?uripub=urn:uuid:ef5f2e5c-e2c4-4c1d-b5ed-c20fe946ce6f>
- Jaizme-Vega, M.C. 2019. Las micorrizas, una estrategia agroecológica para optimizar la calidad de los cultivos. Ed. Phytoma. Valencia. 112 pp.
- Jaizme-Vega, M.C., Garrido, A., Alcoverro, T. y Tenoury, P. 2000. Aplicación de micorrizas sobre cebolla y tomate en condiciones de “enarenado” en Lanzarote (Islas Canarias), en: IV Congreso de la S.E.A.E. 19-23 Septiembre. Córdoba, España.



- Koch, M., Tanami, Z., Bodani, H., Wininger, S., Kapulnik, Y., 1997. Field application of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi improved garlic yield in disinfected soil. *Mycorrhiza* 7, 47–50.
- Koske, R. y Gemma, J. 1989. A modified procedure for staining root to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92: 692.
- Ling-Lee, M., Chilvers, G. y Ashford, A. 1977. A histochemical study of phenolic materials in mycorrhizal and uninfected roots of *Eucalyptus fastigata* Dean&Maid. *New Phytol* 78:313–328.
- Mollavali, M., Perner, H., Rohn, S., Riehle, P., Hanschen, F. y Schwarz, D. 2017. Nitrogen form and mycorrhizal inoculation amount and timing affect flavonol biosynthesis in onion (*Allium cepa* L.). *Mycorrhiza*. DOI 10.1007/s00572-017-0799-3.
- Morales, D., Castro, N., González, A., Rodríguez, R., Medina, C., Monterrey, A., Morera, E., Ríos, D. y Tascón, C. 2012. Variedades Agrícolas Tradicionales de Tenerife y La Palma. Edita: Asaga Canarias. Agricomac. 138 pp.
- Navarro Soler, D. 1880. Cultivo de la cebolla en Canarias. *Revista de Canarias* nº 45, Tomo II: 301-303.
- Perner, H., Rohn, S., Driemel, G., Batt, N., Schwarz, D., Kroh, L. y George, E. 2008. Effect of nitrogen forms, supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in onions. *J Agric Food Chem* 56:3538–3545.
- Phillips, J. y Hayman, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Ponce, M., Scervino, J., Erra-Balsells, R., Ocampo, J. y Godeas, A. 2004. Flavonoids from shoots and roots of *Trifolium repens* (white clover) grown in presence or absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Phytochemistry* 65:1925–1930.



- Pozo, M., Jung, S., Martínez-Medina, A., López-Ráez, J., Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. 2013. Root allies: Arbuscular mycorrhizal fungi help plants to COPE with biotic stresses. En: *Symbiotic Endophytes* (Ed: R. Aroca). Springer-Verlag. Berlín. Heidelberg, pp.289-307.
- Rodríguez Galdón, B., Tascón Rodríguez, C., Rodríguez Rodríguez, E., Díaz Romero, C., 2008. Organic acid contents in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56, 6512-6519.
- Rozpadek, P., Rapała-Kozik, M., Wezowicz, K., Grandin, A., Karlsson, S., Wazny, R., Anielska, T. y Turnau, K. 2016. Arbuscular mycorrhiza improves yield and nutritional properties of onion (*Allium cepa*). *Plant Physiology and Biochemistry.* 107.264-272.
- Sasa, M., Zahka, G., Jacobsen, I., 1987. The effect of pretransplant inoculation with VA-mycorrhizal fungi on the subsequent growth of leeks in the field. *Plant Soil*97, 279–283.
- Siqueira, J. y Franco, A. 1988. *Biotecnología do solo. Fundamentos e perspectivas.* Brasil: Ed. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, pp.125-177.
- Smith, S. E. y Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis.* Academic Press, Cambridge. 605 pp.
- Sorensen, J.N., Larsen, J., Jakobsen, I., Tremblay, N., 2003. Management strategies for capturing the benefits of mycorrhizas in the production of field-grown vegetables. *Acta Hort.* 627, 65–71.
- Takhtajan, A. 1997. *Diversity and Classification of Flowering Plants.* Columbia University Press. New York. 643 pp.
- Tascón, C. 2011. *Cebollas tradicionales de Tenerife. Información técnica.* CCBAT. Tenerife.
- Tascón, C. 2012. *Las Cebollas de Tenerife. Cultivo y variedades.* Edita: Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife. Servicio Técnico de



Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. 104 pp.

Tascón, C., Avero, N., Hernández, F., Díaz, C., Medina, G., García, Z. y Ríos, D. 2010. Ensayo de cebollas de variedades locales de Canarias (I). Información Técnica. Cabildo de Tenerife. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural. Área de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas. 28 pp.

Torres-Barragán, A., Zavaleta-Mejía, E., Gonzalez-Chavez, C., Ferrera-Cerrato, R., 1996. The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk.) under field conditions. *Mycorrhiza* 6, 253–257.

Viera y Clavijo, J. 1866. Diccionario de Historia Natural de las Islas Canarias e índice alfabético descriptivo de sus tres reinos animal, vegetal y mineral. Reeditado en 2004. Ediciones Nivaria. 639 pp.