

“Relación de los hongos formadores de micorrizas respecto de las variables fisicoquímicas de suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria”



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



TESISTA: CAROSIO, María Emilia

DIRECTOR: Ing. Agr. María Gabriela Lorenzo

CO-DIRECTOR: M Sc. Ing. Agr. Laura Elizabeth Martínez



TÍTULO: Relación de los hongos formadores de micorrizas respecto de las variables fisicoquímicas de suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria.

TESISTA: CAROSIO, María Emilia.

PROCEDENCIA: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
Almirante Brown 500 - Chacras de Coria - Luján de Cuyo - Mendoza - Tel. 54 (261) 413-5010.



ÍNDICE

ÍNDICE	2
RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	6
Hacia una agricultura sustentable	6
Las micorrizas	6
Caracterización de la zona de estudio: provincia de Mendoza	8
El cultivo de tomate para industria.....	9
Asociación Tomate 2000	11
Importancia del tema en estudio.....	12
Objetivos	15
Objetivo general.....	15
Objetivos particulares	15
Hipótesis	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Descripción de la zona de muestreo	16
Diseño estadístico y muestreo	18
Determinaciones analíticas	20
Físicoquímicas	20
Biológicas	21
Cuantificación de esporas de HFM.....	21
Determinación del porcentaje de colonización de las raíces por HFM.....	22

Análisis estadístico.....	23
RESULTADOS.....	24
Caracterización fisicoquímica y micorrícica de los suelos analizados.....	24
Correlación de Pearson y regresiones lineales.....	26
DISCUSIÓN.....	29
Abundancia de esporas y porcentaje de micorrización de HFM en raíces de tomate para industria en suelos de Mendoza.....	29
Relación entre las variables fisicoquímicas del suelo y la micorrización.....	31
Porcentaje de micorrización y materia orgánica.....	31
HFM y contenido de fósforo.....	31
HFM y pH.....	33
Contenido de esporas en el suelo y contenido de potasio.....	33
CONCLUSIONES.....	35
CONSIDERACIONES FUTURAS.....	37
AGRADECIMIENTOS.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39



RESUMEN

Las políticas agrícolas a nivel mundial están tendiendo hacia sistemas agrícolas sostenibles destinados a la producción de cultivos con un mantenimiento del óptimo equilibrio físico, químico y biológico en el suelo. El estudio de diferentes procesos biológicos relacionados a la fertilidad de suelos y nutrición vegetal resulta promisorio para lograr esa armonía. Los beneficios de las micorrizas sobre la nutrición y crecimiento de especies vegetales han sido motivo de estudio desde hace más de medio siglo y aún queda mucho por responder acerca de la interacción entre el ambiente y la nutrición de cultivos hortícolas en zonas áridas regadías. En este trabajo se estudió la presencia de hongos formadores de micorrizas (HFM) en el suelo y el grado de colonización en las raíces de plantas de tomate para industria en relación con variables fisicoquímicas de los suelos. En seis fincas implantadas con *Solanum lycopersicum* L. (tomate para industria) y cultivadas bajo el protocolo del "Tomate 2000" del INTA, se evaluó abundancia de esporas de HFM en el suelo y porcentaje de micorrizas en la raíz. Además, en el suelo se determinó conductividad eléctrica, pH, textura, nitrógeno total, fósforo extractable, potasio intercambiable y materia orgánica. La abundancia de esporas de los suelos muestreados fue alta respecto de otros suelos agrícolas, mostrando valores entre 2083 y 3858 esporas 100 g^{-1} . El porcentaje de micorrización de las plantas de tomate mostró valores entre 26,45 y 51,55%. No se observó correlación entre número de esporas y porcentaje de micorrización, aunque se vió una tendencia de que a mayor porcentaje de micorrización hubo menor presencia de esporas en el suelo. Respecto a la relación con las variables fisicoquímicas del suelo, se observó que el porcentaje de micorrización estuvo asociado positivamente al contenido de materia orgánica y negativamente al pH y contenido de fósforo edáfico disponible. A medida que aumentó el pH, el contenido de potasio y fósforo edáfico disponible, la abundancia de las esporas se incrementó. Las características fisicoquímicas del suelo afectan de manera diferente la presencia de HFM. En los suelos



áridos de la provincia de Mendoza, donde el fósforo tiende a formar compuestos no disponibles para la absorción vegetal y en los cuales el contenido de materia orgánica es generalmente bajo, sería más efectivo y sustentable promover la colonización de HFM en las raíces haciendo un uso racional de la fertilización fosfatada y promover un mayor uso de abonos orgánicos. Esta práctica agrícola, favorecería la simbiosis entre el hongo y la raíz de la planta hospedera, manteniendo, en el caso del cultivo de tomate, un estado nutricional óptimo para la planta.

PALABRAS CLAVE

Micorrizas autóctonas – Zonas áridas – Fertilización fosfatada – Agricultura sustentable



INTRODUCCIÓN

Hacia una agricultura sustentable

La agricultura convencional de las últimas décadas, con permanente extracción de nutrientes, aceleró la degradación del suelo y afectó su fertilidad natural, lo que puso en peligro su productividad. Sin embargo, las políticas agrícolas a nivel mundial están tendiendo hacia sistemas agrícolas sostenibles, destinados a la producción de cultivos con un mantenimiento del óptimo equilibrio físico, químico y biológico en el suelo. En este sentido, la utilización de microorganismos del suelo con potencialidad para mejorar la nutrición mineral se está generalizando y permite disminuir el empleo de fertilizantes (Thougnon Islas *et al.*, 2014).

El uso de microorganismos benéficos para la agricultura juega un papel importante para la sustentabilidad de los ecosistemas; es así como la agricultura moderna ha ido incrementando el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Dichos organismos incluyen tanto bacterias como hongos, y dentro de este último grupo, los hongos formadores de micorrizas (HFM). El interés sobre los HFM como insumo microbiológico en la agricultura se ha incrementado, ya que facilitan la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos, además de proporcionar otros beneficios para la planta (Beltrano, 2013).

Las micorrizas

La palabra micorriza proviene del término griego "mykos" -hongo- y el vocablo latino "rhiza" -raíz- (Mirabal *et al.*, 2008). La micorriza es una asociación simbiótica entre las raíces de plantas superiores y ciertos hongos específicos (Zepeda Guzmán *et al.*, 2010). La simbiosis micorrícica es la asociación más antigua y extendida del mundo, presente incluso en ecosistemas áridos, degradados y/o alterados por la actividad humana, incluidos los suelos altamente contaminados con residuos industriales (Seguel Fuentealba, 2014).



Los hongos incrementan el volumen de la raíz y, por lo tanto, permiten una mayor exploración de la rizósfera. Son considerados los componentes más activos de los órganos de absorción de nutrientes de la planta, la que a su vez provee al hongo simbiote de nutrientes orgánicos y un nicho protector (Noda, 2009).

Las micorrizas se clasifican en tres tipos: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas. Las endomicorrizas son las más importantes desde el punto de vista agronómico. Las mismas son difícilmente apreciables a simple vista, no forman capas fúngicas externas y se propagan a través de las raíces, alcanzando el interior de las células corticales, pero sin franquear la endodermis (Mirabal *et al.*, 2008). La mayor parte de las plantas arbóreas y herbáceas poseen este tipo de asociación, al igual que la mayoría de las plantas cultivadas -aproximadamente el 80%- (Noda, 2009). Estos hongos inferiores que forman endomicorrizas vesículo arbusculares pertenecen a un solo grupo, las Glomales (Zygomycetes), con seis géneros y muchas especies distribuidas en todos los continentes; son estrictamente simbióticos y no pueden ser cultivados en cultivo puro, es decir, en ausencia de su hospedero, contrariamente a los hongos ectomicorrícicos. En las raíces micorrizadas por endomicorrizas se pueden encontrar distintas estructuras:

- Los arbusculos, que son estructuras altamente ramificadas, típicamente intracelulares, que se localizan en las células cercanas al cilindro vascular, y su función es la transferencia de nutrimentos desde el suelo hasta el huésped. El intercambio entre el hongo y el hospedante tiene lugar en los arbusculos, que se llenan de gránulos de fosfatos (Noda, 2009). Actualmente se reconoce a los HFM como hongos formadores de micorrizas arbusculares por ser los arbusculos una estructura que siempre está presente en los mismos.
- Las vesículas, que son protuberancias que quedan revestidas por la membrana plasmática. Son estructuras de reserva del hongo y en ciertas especies pueden no estar presentes.



- Las hifas, por otra parte, que se extienden varios centímetros por fuera de la raíz, incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos. Una de las características que las distingue es que no están septadas, es decir, no poseen tabiques que separan las células.

Las asociaciones hongo/hospedante no son muy específicas (Noda, 2009). La relación HFM-planta no es considerada específica, debido a que cualquier especie de HFM puede colonizar o formar simbiosis con cualquier planta, ya que se encuentran en todo tipo de suelos prácticamente. No obstante, bajo ciertas condiciones edafoclimáticas, algunos hongos pueden beneficiar mejor o en mayor grado un determinado hospedero (Pérez y Vertel, 2010).

El proceso de colonización del hongo en la raíz de la planta requiere de varias etapas: diferenciación de la espora, propagación del hongo, identificación mutua entre el hongo y la raíz, posteriormente se produce un acoplamiento progresivo y finalmente se produce la colonización del hongo en la raíz. Esta simbiosis produce los cambios morfológicos y estructurales característicos de las micorrizas (Franco Navarro, 2012). Varios autores han evaluado la colonización del hongo en las diferentes etapas, aunque las mismas puedan estarse dando de forma simultánea. Los estudios más frecuentes suelen incluir la abundancia de esporas en el suelo, el grado de infección del hongo a la raíz y la cuantificación de las estructuras típicas de las micorrizas como los arbusculos y vesículas.

Caracterización de la zona de estudio: provincia de Mendoza

La provincia de Mendoza está situada en el centro oeste de Argentina y pertenece a la región de Cuyo. Es un ambiente desértico situado a los 33° de latitud sur, limitando con Chile al Oeste a través de la Cordillera de Los Andes. Su clima es árido, con un promedio anual de precipitación de 190 mm de lluvias estacionales concentradas de septiembre a febrero, con precipitación nival de junio a septiembre (en la región cordillerana), con un



reducido porcentaje de humedad relativa (59%) y alta heliofanía (Fontela, *et al.*, 2009). El suelo está clasificado como torrfluente típico, mixto, térmico, calcáreo-yesoso, con escaso contenido de materia orgánica representativo de la zona. La vegetación corresponde a la región fitogeográfica del Monte y está constituida por un arbustal xerófito con dominancia del género *Larrea* acompañado por *Acacia caven*, *Atriplex* spp., *Porlieria microphylla* y algunas cactáceas (Martí *et al.*, 2011).

El desarrollo y nivel de vida de la provincia se debe al aprovechamiento de sus recursos hídricos. La infraestructura disponible para esos aprovechamientos fue desarrollada en los cinco ríos que se destinan al riego; estos son: Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Malargüe (Chambouleyron, 2005). Dichos ríos son la fuente de abastecimiento de los oasis de la provincia, en cuyos márgenes se concentra toda la actividad y el desarrollo agroindustrial. Los ríos más importantes son el Mendoza y el Tunuyán (Fontela, *et al.*, 2009). El área cultivada de la provincia de Mendoza ocupa la mayor superficie bajo riego de Argentina (aproximadamente 270000 ha) (Martí *et al.*, 2011). Los cultivos principales son: vid (142879 ha); frutales, principalmente duraznero, ciruelo, manzano, peral, damasco y nogal (66784 ha); hortalizas, tomate, papa, ajo, cebolla, zapallo y zanahoria (40368 ha); olivos (8327 ha) y otros (46312 ha). (Fontela, *et al.*, 2009)

El cultivo de tomate para industria

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) destinado a industria, es un cultivo que se adapta bien a muy diferentes tipos de suelo. La planta de tomate tiene un sistema radical que puede alcanzar profundidades importantes en el suelo si no existe una barrera física que impida su desarrollo, por lo que es preciso que, mediante labores de barbecho, se consiga un suelo bien trabajado y con buena aireación en una profundidad de al menos 60 ó 70 cm. (Rodríguez del Rincón, 1995)

Una fertilización correcta es aquella que complementa la fertilidad natural del suelo de modo que las plantas encuentren en él, en todas las fases de su desarrollo, las



cantidades de nutrientes que necesitan. La determinación de la fertilización a aplicar requiere un conocimiento lo más profundo posible del suelo, tanto desde el punto de vista de los cultivos realizados anteriormente como de determinaciones analíticas al momento presente (textura, pH, materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), caliza activa y sales, conductividad eléctrica). El estudio de estos datos debe poner de manifiesto la necesidad o no de aplicar enmiendas y/o abonos que corrijan las posibles deficiencias (Rodríguez del Rincón, 1995).

La fertilización del cultivo también debe basarse en el conocimiento de las extracciones de nutrientes que él mismo realiza, de modo que se restituyan al suelo los nutrientes que van a ser extraídos para mantener su fertilidad (Rodríguez del Rincón, 1995).

Tabla 1: porcentajes medios de extracciones realizadas entre distintos estados fenológicos del cultivo de tomate -medidas de tres años de ensayo- (Rodríguez del Rincón, 1995)

Estados Fenológicos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Desde implantación a inicio de floración	8	6	3
Desde inicio de floración a la aparición de los primeros frutos	18	16	23
Desde la aparición de los primeros frutos al inicio de la maduración	30	25	19
Desde el inicio de la maduración a la recolección	44	53	52

El trasplante es la técnica tradicional de implantación de cultivo. El tomate es una planta que soporta muy bien el trasplante a raíz desnuda por lo que, en el cultivo para industria, es la técnica más comúnmente utilizada, puesto que es la que resulta más económica (Rodríguez del Rincón, 1995). A pesar de esto, en Mendoza la técnica más utilizada es la de transplante de cepellones en bandejas (*speedling*).



Dentro de la horticultura, el cultivo de tomate ocupa, en superficie implantada, el segundo lugar a nivel nacional luego de la papa (Fundación IDR, 2012), con una producción de tomate para industria de 355 mil t, en una superficie de 6.775 ha, con un rendimiento medio de 52,4 t ha⁻¹. La demanda actual no es satisfecha por la producción nacional, generándose un déficit de 185 mil t.

El cultivo de tomate en Cuyo se produce en una superficie de 4000 ha, con una producción 240 mil t. En Mendoza el tomate para industria ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie implantada, luego del ajo, la papa y el zapallo (Secretaría de Comercio Interior, Corporación del Mercado Central de Buenos Aires, 2012). En Mendoza la producción es de 150 mil t en una su superficie de 2951 ha con un rendimiento promedio de 51 t ha⁻¹.

Asociación Tomate 2000

La Asociación Tomate 2000 de INTA es una integración entre investigación y extensión llevado por las principales agroindustrias conserveras de la región, sus productores y los principales proveedores de plantines. Esta integración vertical - legalmente una Asociación sin fines de lucro- se creó para aumentar la competitividad del sector en agosto de 1997, y tiene como finalidad transformar la balanza comercial deficitaria por mayores importaciones que exportaciones en una actividad con saldo exportador de *commodities* y productos terminados.

En la transferencia de tecnología trabajan tres técnicos contratados que hacen visitas semanales durante todo el año a sus productores, asistiéndolos en la transferencia de los avances tecnológicos que se conducen hacia la reducción de los costos y al aumento de los rendimientos.

Cada productor posee un cuaderno de campo que indica, con carácter de declaración jurada, el estado nutricional de su suelo, agua y la ocurrencia de plagas por cuadro o lote plantado. En éste figura la variedad utilizada y los tratamientos realizados con



agroquímicos. Esta metodología es fundamental para lograr la trazabilidad del producto industrializado y responde a directivas de un protocolo de cultivo que se orienta a las buenas prácticas de manejo agrícola.

Por medio del sector de transferencia de tecnología el productor recibe el beneficio de la asistencia técnica y capacitación permanente, así como información actualizada y seguro de su cultivo contra daños de granizo.

Cada año se realiza una evaluación de cada productor destacando sus logros y sus necesidades de inversión en tecnológica (Argerich, 1997).

Importancia del tema en estudio

Desde el año 1991, se han producido una serie de cambios en diferentes esferas de la producción del tomate para industria a fin de aumentar los rendimientos. A nivel de cultivo, las variedades empleadas actualmente tienen un potencial productivo mucho mayor debido al uso de híbridos seleccionados. Se aumentó la densidad de plantas por hectárea y se ha mejorado la sanidad del cultivo en cuanto al uso de variedades con diferentes grados de resistencia y tolerancia a distintos patógenos. Pero, sin lugar a dudas, el uso creciente de nuevas tecnologías de riego presurizado ha revolucionado la horticultura moderna en términos de producción y, por consiguiente, ha aumentado la demanda de fertilizantes simples y compuestos.

El uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos con el objeto de obtener mayor rendimiento provoca una contaminación de suelos y napas freáticas y un uso ineficiente de los productos. Estos efectos nocivos llevan a la degradación de suelo en la calidad productiva y sostenible del sistema productivo.

Actualmente, se ha tomado conciencia de la importancia de conocer los diferentes procesos biogeoquímicos que favorecen la disponibilidad de nutrientes en el suelo como



así también las relaciones que se establecen entre los factores bióticos y abióticos en un agroecosistema lo que, consecuentemente, mejoran la nutrición de las plantas.

El incremento en la adquisición de nutrimentos por plantas que han realizado una simbiosis con HFM favorece el crecimiento vegetal de aquéllas que se desarrollan en condiciones adversas, como las zonas áridas con baja fertilidad. Esto se debe a que los HFM incrementan la absorción de elementos nutritivos como fósforo (P) y nitrógeno (N) y otros elementos esenciales y de menor requerimiento como cobre (Cu) y zinc (Zn). La absorción, transporte y transferencia de fósforo del micelio del hongo a la planta es rápido y eficiente debido a la presencia de transportadores con alta afinidad al H_2PO_4^- , que actúan acoplado con un transportador simporte de H^+ a través de diversas H^+ATPasa . También existen estudios que hablan de la responsabilidad del micelio fúngico, ya sea solo, con bacterias u otros hongos, en la liberación de nutrientes desde partículas y rocas minerales mediante la meteorización (Seguel Fuentealba, 2014).

El fósforo es un elemento esencial para la nutrición de las plantas. El movimiento del fósforo en el suelo desde las formas menos disponibles a las más disponibles para ser absorbidas por las plantas y su camino inverso, es lo que se considera dinámica del fósforo. Por las características de los suelos de clima árido esta reacción tiende a desplazarse hacia la formación de compuestos no disponibles. En general, en los suelos de uso agrícola, el contenido total de fósforo alcanza 500 ppm mientras que la fracción disponible para las plantas se encuentra entre 5 a 20 ppm (Nijensohn *et al.*, 1972). Dicha fracción del nutriente se denomina fósforo extractable o disponible. El fósforo ingresa a la raíz por dos vías: absorción directa y a través de HFM (Bucher, 2007). En presencia de HFM el ingreso de fósforo se produce en su mayoría a través de las hifas del hongo (Smith y Smith, 2011).

Los HFM transfieren fosfatos desde el suelo a las células radicales a cambio de fotosintatos (Bonfante y Genre, 2010). La planta es beneficiada ya que las hifas fúngicas aumentan el volumen de suelo explorado por las raíces y como el fósforo es un elemento



poco móvil, pueden superar zonas agotadas y alcanzar parches enriquecidos del nutriente. Sumado a ello, las hifas extra radicales poseen un diámetro que llega a un orden de magnitud inferior al de los pelos radicales, con lo cual también pueden acceder a microporos (Smith y Read, 2008). Estos mecanismos le permiten a la planta incrementar la eficiencia de absorción de P, es decir, las unidades de fósforo absorbidas por unidad de raíz (Marschner, 1995).

Además de la baja fertilidad presente en zonas áridas, se debe considerar la presencia de otros problemas ambientales como la alta concentración de metales, salinidad del suelo y sequía. En este contexto, el daño en el suelo y las plantas existentes en zonas áridas y semiáridas no es fácil de reparar debido a la fragilidad que presentan estos ecosistemas. El impacto ecológico de la simbiosis HFM/planta es particularmente relevante para estos ecosistemas donde existe alta tolerancia de las plantas, en gran medida aportada por los HFM, a los estreses ambientales presentes en estos ecosistemas (Seguel Fuentealba, 2014).

Los ecosistemas naturales contienen diversas poblaciones nativas de HFM, que presentan distintos grados de variación en sus efectos sobre el crecimiento vegetal y la adquisición de nutrientes. Por esto, cambios en los entornos edáficos y medioambientales han repercutido en cambios en la abundancia y distribución de las especies de HFM (Seguel Fuentealba, 2014). Por ejemplo, la colonización de raíces por HFM es favorecida en suelos pobres en fósforo (Smith y Read, 2008) y se han observado disminuciones en la micorrización cuando el fósforo no es limitante (Guillemin *et al.*, 1995).

Este hecho, pone de manifiesto la trascendencia de los HFM en la nutrición fosforada de las plantas. Los beneficios de las micorrizas sobre la nutrición y crecimiento de especies vegetales ha sido motivo de estudios desde hace más de medio siglo (Smith y Read, 2008). Sin embargo, aún queda mucho por responder acerca de la interacción entre el ambiente y la nutrición de cultivos en agroecosistemas como los de Mendoza. Al



no existir en la provincia suficientes antecedentes sobre los efectos benéficos de los factores bióticos sobre la producción de tomate para industria, este trabajo pretende poner especial énfasis en el estudio de la presencia de las micorrizas (hongos simbióticos) como factor biológico en relación a las variables fisicoquímicas de los suelos, apostando a un uso racional de fertilizantes, la optimización de recursos y la incorporación de tecnologías de proceso para una agricultura sustentable.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar la relación de los hongos formadores de micorrizas respecto a las variables fisicoquímicas en suelos regadíos cultivados con tomate para industria.

Objetivos particulares

-Determinar la abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas en suelos cultivados de Mendoza y el porcentaje de micorrización en raíces de tomate para industria y su relación.

-Evaluar la relación de las variables fisicoquímicas asociadas a la fertilidad y salinidad edáficas con la abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas en suelos cultivados y el porcentaje de micorrización en raíces de tomate para industria.

Hipótesis

Estos objetivos permitirán poner a prueba las siguientes hipótesis:

-La abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas en suelos cultivados favorecerá el porcentaje de micorrización en raíces de tomate para industria.

-En suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria a menor contenido de fósforo habrá mayor porcentaje de micorrización en raíces de tomate y mayor cantidad de esporas en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de muestreo

La zona de estudio comprendió el oasis Norte y Centro de la provincia de Mendoza, Argentina.

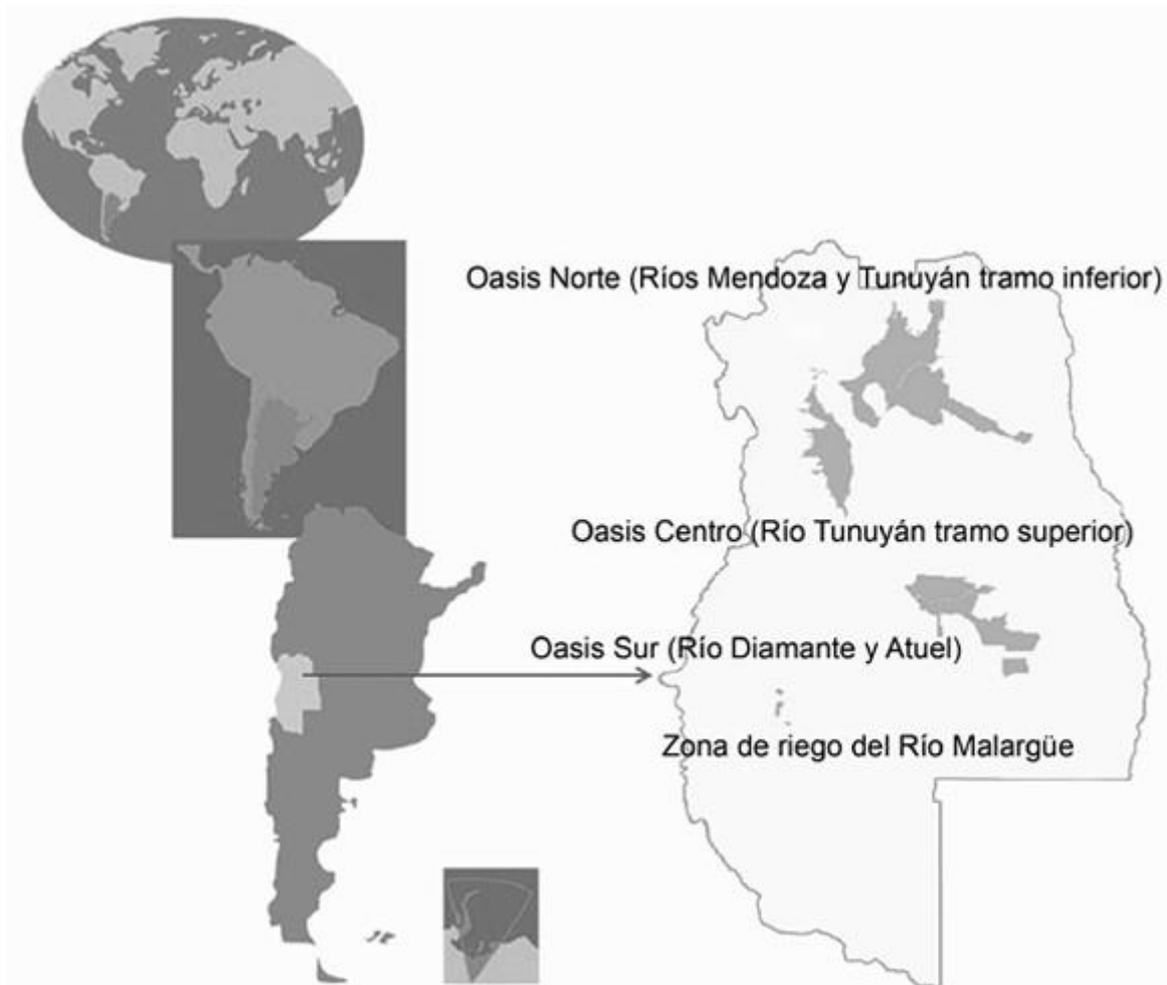


Figura 1: Ubicación de los oasis irrigados en la Provincia de Mendoza (Martí *et al.*, 2011)

El Oasis Norte de la provincia de Mendoza se encuentra abastecido por la Cuenca del Río Mendoza. Dicho río presenta un caudal promedio anual de $50,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y cuenta con dos diques derivadores que cumplen la función de derivar el agua de río a los canales de riego: Cipolletti ($40 \text{ m}^3/\text{s}$) y Gustavo André ($2 \text{ m}^3/\text{s}$). Además cuenta con la presencia del dique Potrerillos que cumple la función de embalsar el agua para la regulación adecuada



de los caudales, su capacidad es de 420 hm³. En este oasis la superficie regada (tanto por agua superficial como subterránea) es de 81682 ha (Chambouleyron, 2005).

El Oasis Centro es abastecido por la Cuenca del Río Tunuyán, que presenta un caudal promedio anual de 30,1 m³/s. La cuenca presenta tres diques derivadores, Valle de Uco (15 m³/s), Tiburcio Benegas (60 m³/s) y Yaucha (5 m³/s) y el dique de embalse El Carrizal (390 hm³ de capacidad). La superficie regada es de 91000 ha (Chambouleyron, 2005).

Respecto del agua subterránea, el total acumulado en el acuífero subterráneo cubicado para el río Mendoza y el Tunuyán Superior es de 40000 a 50000 hm³. La profundidad más explotada es de 200 m (Chambouleyron, 2005).

En relación a los suelos, el Oasis Norte presenta principalmente suelos del tipo entisoles, y dentro de éstos de la categoría torrifluventes típicos, torripsamientos típicos, torriortentes típicos; y del tipo aridisoles, dentro de éstos las categorías paleortides típicos y haplalgides típicos. El Oasis Centro presenta suelos del tipo entisoles, de las categorías torrifluventes típicos, torriortentes acuícos durortídicos, torripsamientos típicos, y del tipo molisoles de la categoría haplustoles énticos (Cricyt, 1996).

En cuanto al clima, gran parte del Oasis Norte se encuentra dentro de la isohieta de los 200 mm y una parte más pequeña hacia el oeste se encuentra dentro de la isohieta de los 300 mm. Respecto a las temperaturas, la mayoría de su superficie pertenece a la isoterma de 15°C y una pequeña parte de superficie hacia el oeste dentro de la isoterma de los 10°C. En cambio, el Oasis Centro presenta parte de su superficie dentro de la isohieta de 300 mm y hacia el oeste dentro de la isohieta de 400 mm. En cuanto a las temperaturas, está comprendido entre las isotermas de 10°C y 5°C (Cricyt, 1996).

Diseño estadístico y muestreo

Las unidades de análisis fueron seis fincas cultivadas con tomate para industria, tres pertenecientes al Oasis Norte y tres al Oasis Centro. Las fincas estaban cultivadas con *Solanum lycopersicum* L. híbrido HMX 7883.

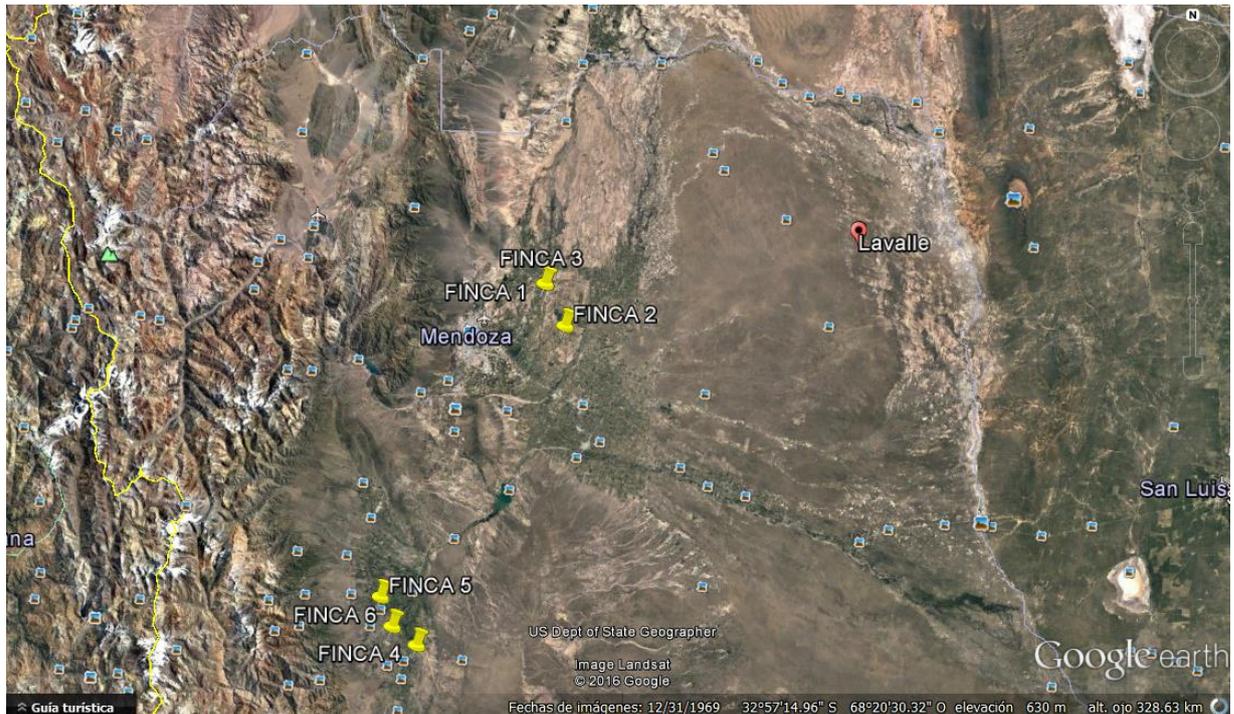


Figura 2: Localización de las fincas de estudio (Extraído de Google Earth, julio 2016).

El manejo agronómico en todos los casos fue similar ya que estaban incluidas en el programa Asociación Tomate 2000 de INTA. Todas las fincas contaban con riego por goteo. Se regaron desde el momento de colocar la planta con la frecuencia adecuada al tipo de suelo, evapotranspiración y a la fenología del cultivo. Se cuidaron todos los aspectos que hacen a una correcta sistematización a partir de un buen conocimiento del perfil del suelo y de su topografía, que permitió el óptimo uso del recurso suelo-agua. Se determinó la necesidad hídrica del cultivo en el período de máxima exigencia (período crítico) determinando la superficie máxima a cultivar (Argerich, 2016).

Las fincas recibieron fertilización química y orgánica. Se mantuvo la fertilidad del suelo mediante aplicaciones de guano correctamente compostado. El mismo se aplicó



después de la incorporación de los abonos verdes invernales, y un mes antes del trasplante. Consistió en guano de base de cama de pollos parrilleros en dosis de 10 a 13 t ha⁻¹. No se aplicaron fertilizantes que contuvieran sustancias tóxicas que contaminen el suelo, especialmente los metales pesados. Se aplicaron fertilizantes químicos según el siguiente esquema:

Tabla 2: Plan de referencia de fertilización porcentual de los principales nutrientes en tomate para industria (Argerich, 2016).

Semana después de trasplante	Fert. P (%)	Fert. N (%)	Fert. K (%)	Fert. Fe (%)	Fert. Mg (%)
2	20	10			
3	20	10			
4	12	15			
5	12	20			
6	8	20			
7	8	15	10	20	
8	4	10	20	20	
9	4		20	20	50
10	4		20	20	50
11	4		20	20	
12	4		10		

Se mantuvo un bajo nivel de plagas, enfermedades y malezas, con una óptima combinación de controles químicos, mecánicos, físicos, culturales, biológicos y/o genéticos. Se minimizaron las intervenciones químicas y efectuaron los tratamientos sólo en casos justificados. La elección del plaguicida se hizo considerando diferentes aspectos:

- Eficiencia y poder residual del producto.



- Tiempo de espera o de carencia.
- Rotación de productos.
- Toxicidad para los humanos.
- Toxicidad para peces, aves, mamíferos, enemigos naturales y abejas.
- Problemas de contaminación de la napa freática y aguas superficiales de escurrimiento o drenaje.
- Registros y tolerancias para el tomate.

Los biocidas se seleccionaron en base a una lista de permitidos por la Asociación Tomate 2000 (Argerich, 2016).

Al inicio de floración de las plantas de tomate, entre los 43 y 50 días después del trasplante (noviembre de 2013 a enero de 2014) se efectuó el muestreo de suelo de la rizósfera y raíces de las plantas. En cada finca, se seleccionaron cuatro puntos de muestreo al azar.

Las muestras de raíz y suelo para determinaciones biológicas se tomaron con pala hasta los 20 cm de profundidad. Se extrajeron además muestras de suelo con barreno hasta los 30 cm de profundidad para determinaciones fisicoquímicas. Las muestras se transportaron y conservaron en bolsas y recipientes de plástico para su posterior análisis en el laboratorio.

Determinaciones analíticas

Fisicoquímicas

Las determinaciones realizadas en las muestras de suelo fueron: a) conductividad eléctrica mediante extracto de saturación (USDA 1954), b) pH mediante método potenciométrico (USDA 1954), c) materia orgánica mediante el método de Walkey Black (USDA 1954), d) nitrógeno total mediante el método de Kjeldalh (Bremner y Mulvaney, 1982), e) fósforo extractable método Olsen y Sommers (1982), f) potasio intercambiable

mediante método con acetato de amonio 1N pH=7 (Page *et al.*, 1982) y g) textura por medio del método de volumen de sedimentación (Nijensohn y Pilasi, 1962) .

Biológicas

Cuantificación de esporas de HFM

Para la cuantificación de esporas de HFM, las muestras de suelo extraídas de cada sitio se procesaron en laboratorio mediante la técnica de tamizado en húmedo y decantado (Gerdemann & Nicolson, 1963) empleando tamices que permitieron obtener esporas de entre 30 y 450 μm , y centrifugación en gradiente de sacarosa (Walker *et al.*, 1982). Primero se colocó en la centrífuga la muestra de suelo (50 gramos) con agua (50 gramos) a 2000 revoluciones por minuto durante cinco minutos. Así se obtuvo un sedimento y una suspensión sobrenadante que se descartó. Posteriormente, al sedimento se le colocó solución de sacarosa (50 g de sacarosa al 80%) y nuevamente se centrifugó a la misma velocidad y el mismo tiempo. El sobrenadante obtenido se hizo pasar por los tamices. Lo que quedó luego de tamizar la muestra se colocó en una placa Petri cuadrada y cuadrículada. El conteo se efectuó con una lupa binocular x10. El resultado final obtenido se multiplicó por dos para expresar el resultado en esporas por 100 gramos de suelo.



Figura 3: Caja Petri cuadrículada con las esporas suspendidas en líquido en la lupa.



Determinación del porcentaje de colonización de las raíces por HFM

Para la determinación del porcentaje de micorrización, la presencia de arbuscúlos, hifas y vesículas se cuantificó según la metodología propuesta por Mc Gonigle *et al.* (1990) de raíces clarificadas y teñidas con tinta china (Vierheilig *et al.*, 1998). Primero se lavaron las raíces con abundante agua y se eliminaron los restos de materiales sólidos adheridos a ellas. Posteriormente, se trozaron y colocaron en un contenedor, sumergidas en KOH al 10% durante una semana a temperatura ambiente. El uso de KOH tiene por objeto la hidrólisis alcalina de la pared celular vegetal y otros componentes celulares que dificultan la tinción posterior. Luego se eliminó el KOH y se lavaron las raíces con abundante agua. Posteriormente, se sumergieron las raíces en HCl 0,1N durante 5 minutos a temperatura ambiente. Se eliminó el HCl y se les añadió una solución de tinta china y ácido acético dejándolas reposar durante 24 horas. El proceso de acidificación permite la unión del colorante a las estructuras con quitina, de ahí que sea esencial. Se eliminó la solución de tinta china y ácido acético, se enjuagaron con abundante agua y se las colocó en un contenedor con ácido láctico para su conservación. Para determinar la presencia/ausencia de colonización por micorrizas se montaron 20 trozos de diferentes raíces de una misma muestra, paralelos entre sí, en un portaobjetos; posteriormente un cubreobjetos trazado por cinco líneas perpendiculares a las raíces fue colocado sobre las mismas, generando 100 puntos de intersección. Se llevó el portaobjetos a microscopio óptico x40, donde se analizó si en cada intersección había presencia o ausencia de micorrización. Se expresó el resultado como porcentaje de micorrización.

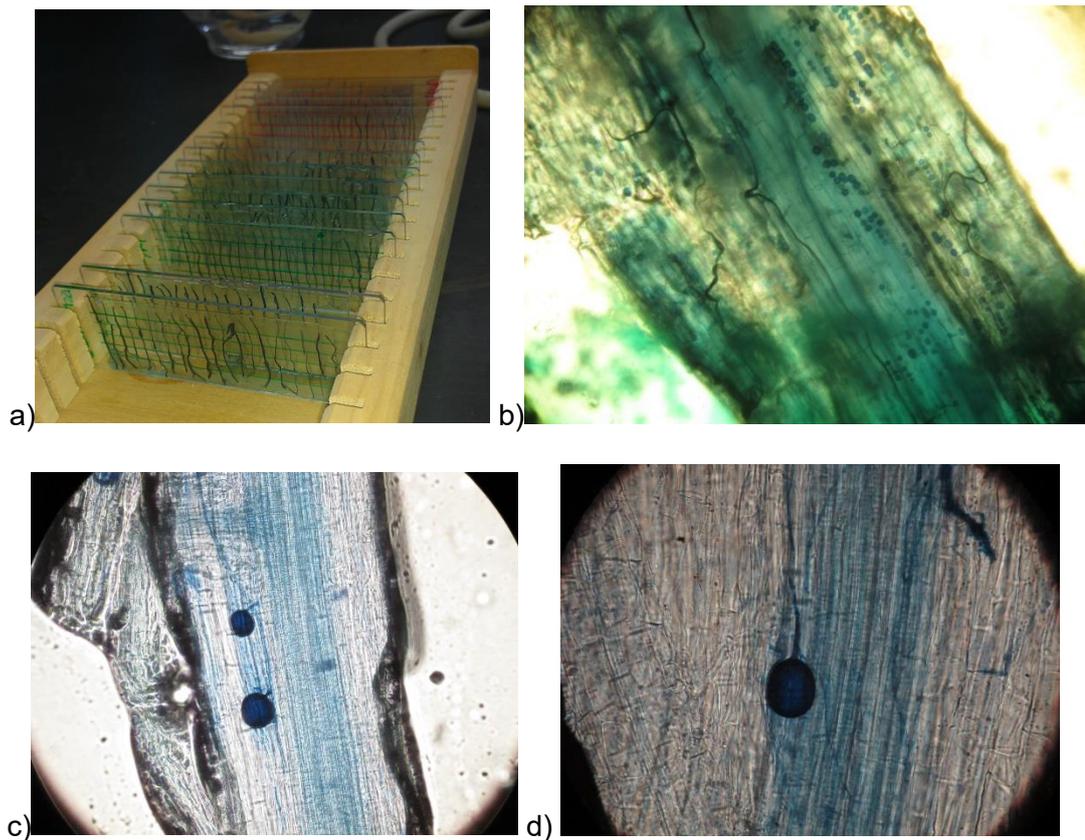


Figura 4: a) Portaobjetos con trozos de raíz de tomate y b), c) y d) raíz micorrizada vista al microscopio.

Análisis estadístico

Todas las variables fisicoquímicas del suelo, el número de esporas y el porcentaje de micorrización fueron analizadas por una descripción estadística y una correlación a través del índice de dispersión de Pearson ($p \leq 0,05$). Las variables que presentaron correlación fueron analizadas mediante regresiones lineales. Este análisis se efectuó a través del software INFOSTAT versión 2010.



RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica y micorrícica de los suelos analizados

Los suelos muestreados presentaron baja salinidad (Tabla 3), exceptuando la finca 3 que mostró un suelo salino, evidenciado por su conductividad mayor a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto al pH, los suelos de todas las fincas presentaron un rango entre 7,5 y 7,8 (Tabla 3), observando los valores más alcalinos en las fincas 4, 6 y 5. La textura de los suelos fue diferente pero con predominancia de texturas más arenosas. El volumen de sedimentación determinó una textura franco-arenosa (entre 80 y 93 $\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$) en las fincas 1, 5 y 6; una textura franca (entre 94 y 104 $\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$) en las fincas 2 y 4 y una textura franco-limosa (de entre 105 y 115 $\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$) en la finca 3 (Tabla 3).

Respecto de la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica varió entre 0,33 a 2,16%, siendo mayor el contenido en las fincas 3, 1 y 2 (Tabla 3). En cambio, el contenido de nitrógeno total presentó valores distintos entre las fincas sin evidenciar tendencia. Las fincas 3 y 5 fueron las de mayor valor de contenido de nitrógeno (Tabla 3). A pesar de esta heterogeneidad del contenido de nitrógeno, todas las fincas presentaron valores de relación carbono/nitrógeno menores a 10. El contenido de fósforo extractable varió de 12,6 a 54 ppm, habiendo una gran amplitud entre estos dos valores (Tabla 3). Las fincas con mayor contenido de fósforo fueron la 5, 4 y 6. El potasio intercambiable presentó valores entre 140 y 641 ppm, alcanzando los mayores valores las fincas 4 y 6 (Tabla 3).



Tabla 3: Valor medio y error estándar de las características fisicoquímicas del suelo y la presencia de HFM en seis fincas de la provincia Mendoza cultivadas con tomate para industria. (n=4)

	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5	FINCA 6
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2687 \pm 371	2309 \pm 342	5288 \pm 893	3920 \pm 239	2868 \pm 396	2643 \pm 344
pH	7,50 \pm 0,07	7,58 \pm 0,06	7,52 \pm 0,04	7,82 \pm 0,03	7,65 \pm 0,03	7,72 \pm 0,02
Materia Orgánica (%)	1,07 \pm 0,19	1,05 \pm 0,04	2,16 \pm 0,14	0,48 \pm 0,04	0,72 \pm 0,01	0,33 \pm 0,02
Nitrógeno Total (ppm)	610 \pm 100	715 \pm 45	1342 \pm 67	1009 \pm 55	1141 \pm 75	669 \pm 13
Fósforo Olsen(ppm)	28,21 \pm 15,06	22,80 \pm 4,65	12,59 \pm 3,62	41,38 \pm 1,45	53,97 \pm 8,35	32,89 \pm 2,98
Potasio (ppm)	258 \pm 117	140 \pm 8	175 \pm 36	641 \pm 71	250 \pm 31	361 \pm 11
Volumen de sedimentación ($\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$)	82,70 \pm 2,25	94,75 \pm 3,80	112,10 \pm 4,41	94,00 \pm 3,83	91,50 \pm 1,26	83,00 \pm 1,00
Infección micorrítica (%)	45,13 \pm 8,44	34,04 \pm 4,68	51,55 \pm 5,55	26,50 \pm 2,99	26,45 \pm 4,17	34,68 \pm 5,76
Esporas micorríticas en 100 gramos de suelo	2083 \pm 339	2779 \pm 450	2696 \pm 271	3858 \pm 198	3668 \pm 211	2929 \pm 155

Respecto a las variables biológicas referidos a la micorrización de las raíces de tomate y a la abundancia de esporas en el suelo de las fincas, el porcentaje de micorrización varió entre 26,45 y 51,55%, obteniendo los valores más elevados las fincas 3 y 1. El número de esporas abarcó un rango de entre 2083 y 3858 esporas 100 g^{-1} , presentando mayor cantidad de esporas los suelos de las fincas 4 y 5.



Correlación de Pearson y regresiones lineales

En la Tabla 4 se distribuyeron los coeficientes de correlación por debajo de la diagonal de números 1, y los valores de probabilidad "p" por encima de la misma. El análisis mostró correlación (probabilidades menores a 0,05 con celdas sombreadas en verde) entre las variables, de las cuales entre las fisicoquímicas y biológicas -que son las que competen a este estudio- se observaron seis correlaciones (valores escritos en rojo). El número de esporas se correlacionó con tres variables fisicoquímicas positivamente: con el pH, el fósforo y el potasio. Respecto del porcentaje de micorrización, se observó una correlación positiva con el contenido de materia orgánica y negativa respecto al pH y el fósforo.

Tabla 4: Coeficientes de correlación de Pearson ($p \leq 0,05$) entre las variables fisicoquímicas y abundancia de esporas del suelo y porcentaje de micorrización de raíces de tomate de todas las fincas de los Oasis Norte y Centro.

	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno Total (ppm)	Fósforo Olsen (ppm)	Potasio (ppm)	Volumen de sedimentación ($\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$)	Esporas en 100g de suelo	Infección micorrítica (%)
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1,00	0,61	0,03	0,01	0,09	0,86	0,01	0,62	0,09
pH	-0,11	1,00	0,0049	0,85	0,28	0,0048	0,79	0,0027	0,03
Materia Orgánica (%)	0,44	-0,55	1,00	0,0047	0,05	0,05	0,0001	0,16	0,0019
Nitrógeno Total (ppm)	0,54	0,04	0,56	1,00	0,52	0,79	0,0001	0,08	0,39
Fósforo Olsen (ppm)	-0,35	0,23	-0,40	0,14	1,00	0,01	0,11	0,01	0,05
Potasio (ppm)	0,04	0,56	-0,41	0,06	0,55	1,00	0,32	0,03	0,09
Volumen de sedimentación ($\text{ml } \% \text{ g}^{-1}$)	0,52	-0,06	0,71	0,73	-0,33	-0,21	1,00	0,79	0,40
Esporas en 100g de suelo	-0,11	0,59	-0,29	0,36	0,50	0,45	0,06	1,00	0,07
Infección micorrítica (%)	0,36	-0,44	0,60	0,18	-0,40	-0,35	0,18	-0,37	1,00

A partir de los valores de probabilidad menores a 0,05 obtenidos mediante el análisis de correlación Pearson se determinó la relación lineal entre las variables asociadas a la presencia e infección de los HFM (expresado en las figuras 5 y 6). En el caso de la abundancia de esporas, el pH, fósforo y el potasio afectaron a esta variable positivamente, con valores muy bajos de r^2 . En el caso de porcentaje de micorrización de las raíces, respecto de la materia orgánica la relación fue positiva, en cambio, se correlacionó negativamente con el fósforo y el pH, arrojando un r^2 bajo en todos los casos.

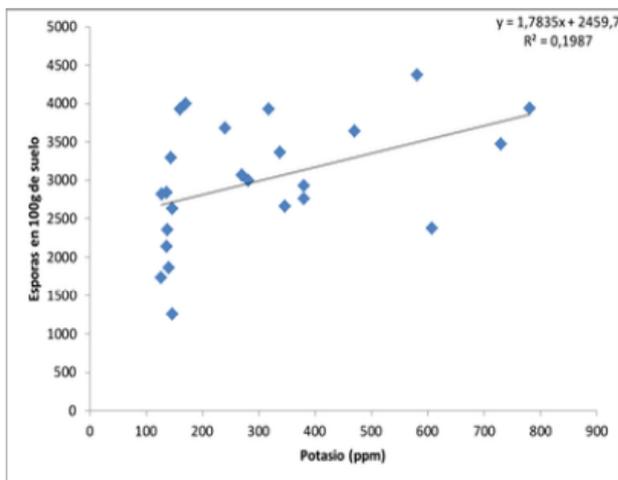
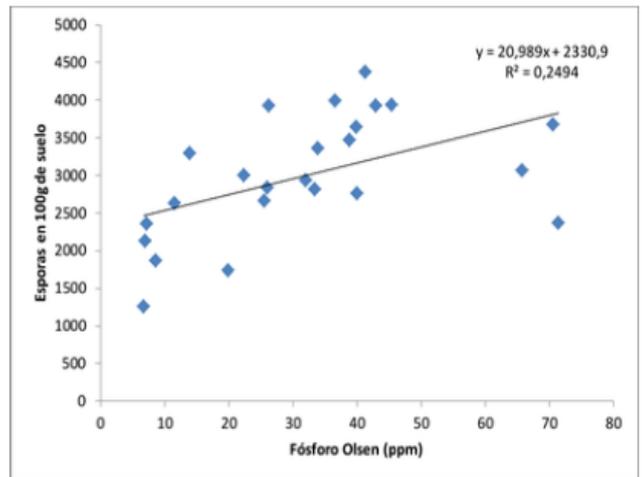
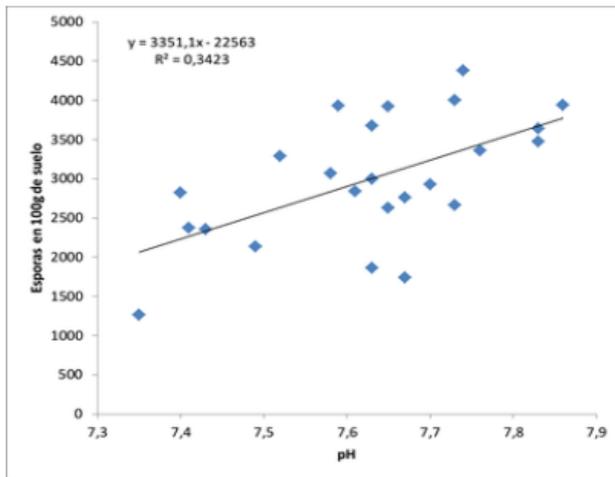


Figura 5: Regresiones lineales entre pH, fósforo (ppm), potasio (ppm) y esporas (num.100g-1) de los suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria, para todos los puntos de muestreo (n=24).

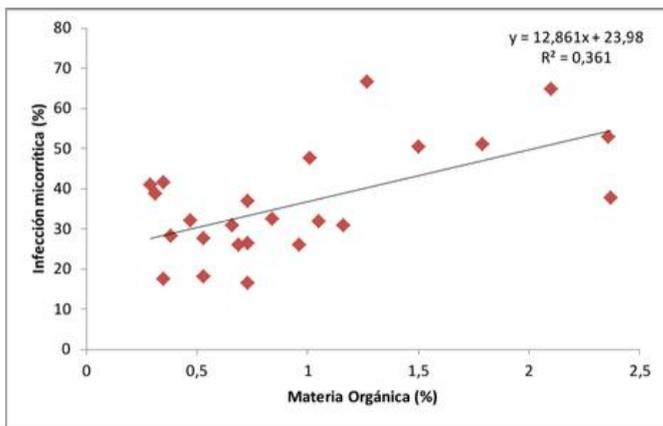
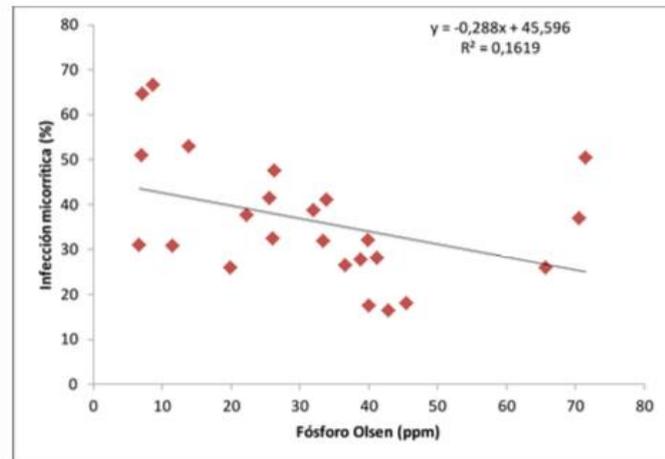
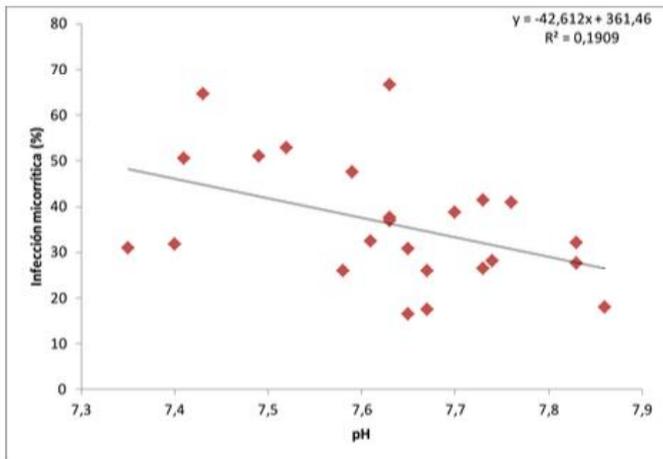


Figura 6: Regresiones lineales entre pH, fósforo (ppm), materia orgánica del suelo (%) y porcentaje de micorrización (%) de los suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria, para todos los puntos de muestreo (n=24).



DISCUSIÓN

Abundancia de esporas y porcentaje de micorrización de HFM en raíces de tomate para industria en suelos de Mendoza

Los suelos cultivados con tomate para industria analizados en este ensayo presentaron alta abundancia de esporas (entre 2083 y 3858 esporas 100 g^{-1}) respecto de otros suelos cultivados con tomate. Thougnon Islas *et al.* (2014) encontraron abundancias que variaron entre 80 – 1175 esporas 100 g^{-1} en suelos de Buenos Aires, Argentina. Viera *et al.* (2017) obtuvieron resultados más cercanos al presente estudio, en cuatro sitios de Ecuador cultivados con tomate de árbol, donde el rango de esporas varió entre 1544 y 2100 esporas 100 g^{-1} . El alto contenido de esporas hallado en este ensayo podría atribuirse a que el momento de muestreo coincidiría con la fase de esporulación del hongo o simplemente a que, en las condiciones edáficas de las fincas se favorecería la prevalencia de dichas estructuras. Las esporas resultarían ser más resistentes que otros propágulos y podrían permanecer más tiempo en el suelo respecto a una hifa durante todo el ciclo del cultivo (Zangaro *et al.* 2012). Por otra parte, las esporas cuantificadas fueron determinadas en su población total, incluidas aquéllas que podrían estar en dormancia y que no pudieran formar micorrizas con las plantas. En cuanto a suelos cultivados con otras especies vegetales, los resultados obtenidos en el presente estudio fueron elevados en comparación a Lugo y Cabello (2002), quienes observaron 50 a 2000 esporas 100 g^{-1} en muestras de suelo de campos naturales del sur de Córdoba, Argentina, y en comparación a Chaudhry *et al.* (2013), quienes en suelos agrícolas áridos de Baghdad observaron un rango de 60 a 246 esporas 100 g^{-1} . Sin embargo, resultados mayores obtuvieron Zangaro *et al.* (2012) en suelos del sur de Brasil en diferentes estados de sucesión vegetal de pastos y arbustos, entre 4000 y 8000 esporas 100 g^{-1} . Cardona *et al.* (2008), en suelos cultivados con ají en Colombia, obtuvieron alta variabilidad en el contenido promedio de esporas, de entre 196 a 6567 esporas 100 g^{-1} .



Respecto a la relación de las esporas con el porcentaje de micorrización, la correlación entre estas variables micorrícicas fue baja (Tabla 4), coincidiendo con lo hallado en tomate por Thougnon Islas *et al.* (2014) donde la correlación entre la abundancia de esporas y la colonización micorrícica fue baja y sin significancia estadística. En otros estudios en tomate, Viera *et al.* (2017) tampoco encontraron diferencias significativas estadísticamente en los suelos evaluados, a pesar de que los valores de porcentaje de colonización mostraron cierta correspondencia con el número de esporas. La baja relación entre abundancia de esporas y porcentaje de micorrización hallada en el presente estudio puede deberse a que las hifas se desarrollan más rápido que las esporas, acelerando la infección en mayor grado que si esta proviniera de su germinación (Thougnon Islas *et al.* 2014). Este comportamiento micorrícico podría estar relacionado también a las condiciones de manejo de cultivo, fertilidad de suelo, la presencia de otros microorganismos y como se había manifestado anteriormente, a una posible dormancia que inactiva la infección del hongo a la raíz. McGee (1989) afirma respecto a las esporas que, aunque son las estructuras reproductivas más importantes, su número en el suelo está poco relacionado con la micorrización de la raíz; para algunas especies la producción de esporas sólo ocurre cuando un nivel umbral de colonización ha sido alcanzado (Gazey *et al.* 1992). Estos resultados coinciden con lo hallado en otros cultivos, Cardona *et al.* (2008) y Becerra *et al.* (2009), quienes tampoco encontraron correlación entre el número de esporas y la colonización micorrícica, Djuuna *et al.* (2010) observaron que un aumento de colonización del hongo en la raíz se correlacionó con una disminución de las esporas en el suelo. Contrariamente, Chaudhry *et al.* (2013) observaron que la población de esporas de HFM y el porcentaje de colonización de raíces fueron fuertemente dependientes el uno del otro, indicando una correlación significativamente positiva.

La colonización del hongo en la raíz de las plantas de tomate mostró valores de entre 26,45 y 51,55%. Thougnon Islas *et al.* (2014), encontraron valores de porcentaje de micorrización entre 4,8 a 56,7% en tomate. En cambio, Viera *et al.* (2017) hallaron valores



de porcentaje de micorrización de entre 7,3 a 15,3% en raíces de tomate de árbol. Cardona *et al.* (2008) en ají obtuvieron niveles medios de colonización en raíz de entre 33,6 y 41,29%.

Relación entre las variables fisicoquímicas del suelo y la micorrización

Porcentaje de micorrización y materia orgánica

Respecto de la relación de las variables fisicoquímicas del suelo, se observó que un mayor porcentaje de micorrización se asoció a un mayor contenido de materia orgánica (Figura 6). Esto puede deberse a que un aumento de materia orgánica en el suelo mejora la estructura del mismo, produce mayor retención de humedad y aporta mayor cantidad de nutrientes, y a su vez, aumenta en cantidad y diversidad los microorganismos presentes en el suelo, lo que favorecería la simbiosis entre el hongo y la raíz de la planta hospedera. Esto indicaría que manejos que incrementan el contenido de materia orgánica, como abonaduras, favorecerían la simbiosis del hongo con la raíz hospedera. Estos resultados coincidieron con lo hallado en tomate por Thougnon Islas *et al.* (2014), Becerra *et al.* (2007) quienes realizaron un estudio en el noroeste argentino cuantificando la colonización de HFM en *Alnus acuminata* y hallaron una correlación positiva en uno de los bosques entre la colonización por HFM y la materia orgánica. Mohammad *et al.* (2003) también hallaron una correlación positiva entre el contenido de carbono orgánico en el suelo y la población de HFM en el ambiente semi-árido de Jordán; atribuyéndolo a que el contenido de materia orgánica en el suelo aumenta la capacidad de retención de agua del mismo (Brady y Weil, 1996) y por lo tanto podría producir una humedad del suelo más favorable para la presencia de HFM (Chaudhry *et al.* 2013).

HFM y contenido de fósforo

A pesar de la baja relación ($r^2=0.1619$) entre el contenido de fósforo y el porcentaje de micorrización, a menor disponibilidad de ese elemento la tendencia fue aumentar la infección micorrícica en raíz (Figura 6). Contrariamente, el contenido de esporas en el suelo



se correlacionó positivamente con el contenido de fósforo (Figura 5), aunque también con una baja relación ($r^2=0,2494$). Esto coincide parcialmente con los resultados obtenidos por Thougnon Islas *et al.* (2014) en tomate quienes determinaron que la mayor capacidad micotrófica se correspondió con el menor contenido de fósforo del sitio agrícola evaluado. Sin embargo, esto no ocurrió en todas las situaciones, estos autores también encontraron muestras en las que, aun habiéndose observado abundancia de esporas, obtuvieron valores bajos de colonización micorrícica en raíz. Covacevich *et al.* (2006 y 2007) y Siddiqui *et al.* (2008), observaron que la mayor capacidad micotrófica se correspondió con el menor contenido de fósforo en suelos cultivados, coincidiendo esto con el presente estudio en el caso del porcentaje de micorrización, pero no así con la abundancia de esporas. Cardona *et al.* (2008) hallaron una correlación inversa entre el porcentaje de micorrización y los contenidos de fósforo en los suelos, coincidiendo con este estudio. Djuuna *et al.* (2010) no encontraron relación entre la capacidad micotrófica y el contenido de fósforo en el suelo para suelos de Australia. Chaudhry *et al.* (2013) observaron que a mayores contenidos de fósforo del suelo hubo un decrecimiento en la población de esporas, lo que no coincide con los resultados de este ensayo, pero un aumento en el fósforo del suelo se correlacionó con un decrecimiento respecto a la colonización de raíces por HFM, lo que coincide con este estudio realizado en Mendoza. Resultados similares a los de Chaudhry *et al.* (2013) fueron reportados por Dhillon and Zak (1993), quienes determinaron que cuando las plantas contaban con un alto estado nutricional (especialmente en términos de P) una respuesta negativa de HFM debía ser esperada. Esa relación opuesta entre el número de esporas y el porcentaje de micorrización respecto del P, podría deberse a que el hongo, frente a contenidos de fósforo favorables para la planta, se mantiene en el estadio de esporulación hasta que las condiciones de fósforo sean más desfavorables.

Debido a que el fósforo es un elemento fundamental para la nutrición del tomate para industria y por las características de los suelos de Mendoza de clima árido que tienden hacia la formación de compuestos de fósforo no disponibles para la absorción vegetal,



dados los resultados hallados en el presente estudio, fertilizaciones excesivas inhibirían el porcentaje de colonización de las raíces de tomate para industria. Las hifas fúngicas aumentan el volumen de suelo explorado por las raíces y como el fósforo es poco móvil, pueden superar zonas agotadas y alcanzar parches enriquecidos del nutriente, por lo tanto, sería más efectivo y sustentable promover el desarrollo de HFM en las raíces haciendo un uso racional de la fertilización fosfatada y preferiblemente mediante la incorporación de abonos orgánicos.

HFM y pH

Respecto del número de esporas y pH, a medida que aumentó el pH, el número de esporas en el suelo incrementó (Figura 5). Contrariamente, el porcentaje de micorrización se correlacionó negativamente con el pH (Figura 6). Ambas relaciones fueron bajas ($r^2=0,3423$ y $r^2=0,1909$ respectivamente), esto puede deberse que el rango de pH de los suelos analizados es pequeño (7,50 a 7,82), por lo que estas variaciones de pH no modificarían el tipo de suelo. Los HFM tienen amplia capacidad de adaptación, se han encontrado en rangos de pH desde 2,7 a 9,2 (Sánchez de Prager, 1999 y Alloush *et al.*, 2000). A pesar de esto, algunos autores observaron una significativa correlación positiva entre la densidad de esporas y el pH del suelo (Blaszkowski 1993 y Mathur y Vyas 1997). Otros autores como Chaudhry *et al.* (2013), donde el pH varió de 7,8 a 8,11, no obtuvieron correlación entre el mismo y la presencia de HFM.

Contenido de esporas en el suelo y contenido de potasio

El contenido de esporas en el suelo se correlacionó positivamente con el contenido de potasio en el mismo, aunque dicha relación fue baja ($r^2=0,1987$). Esto puede estar asociado a la relación positiva entre esporas y pH ya que, al haber un mayor contenido de potasio, este último aporta mayor alcalinidad al suelo, favoreciendo así el desarrollo de los HFM nativos de los suelos investigados. Sin embargo, no existen muchos antecedentes relacionados al estudio de los HFM y el potasio. Además, todos los suelos de Mendoza



analizados en este estudio, resultaron bien provistos de potasio, por lo que no sería un nutriente limitante para el crecimiento y desarrollo del tomate para industria. Chaudhry *et al.* (2013), en suelos de menor contenido de potasio (de 70 a 140 ppm), no obtuvieron correlación entre el mismo y la presencia de HFM.



CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas de los suelos cultivados con tomate para industria de la provincia de Mendoza bajo el manejo del programa Tomate 2000 de INTA, influyeron en la abundancia de esporas de HFM e infección micorrícica de las raíces.

No se observó una relación entre el número de esporas y porcentaje de micorrización. El contenido de fósforo del suelo afectó la abundancia de esporas y el porcentaje de micorrización. A mayor contenido de fósforo disminuyó el porcentaje de micorrización y aumentó la abundancia de esporas en el suelo. El contenido de fósforo en los suelos de Mendoza tiende hacia la formación de compuestos de fósforo no disponibles para las plantas, fertilizaciones excesivas inhibirían el porcentaje de colonización de las raíces de tomate para industria.

La materia orgánica influyó positivamente en el porcentaje de micorrización en raíces. Un aumento de materia orgánica en el suelo mejora la estructura y retención de agua del mismo, aporta mayor cantidad de nutrientes y aumenta en cantidad y diversidad los microorganismos presentes en el suelo, fundamental en suelos mendocinos de clima árido, favoreciendo así la simbiosis entre el hongo y la raíz de la planta hospedera. La relación entre variables micorrícicas con el pH y el potasio, no fueron de aplicación agronómica en las zonas de estudio en Mendoza, por las características intrínsecas de los suelos, ya que la variación de pH fue mínima y el contenido de potasio en la provincia no es limitante.

La función de los HFM resultaría un precursor fundamental de nutrición vegetal dentro de sistemas hortícolas sustentables. Favorecer el desarrollo de los mismos permitiría disminuir el uso de fertilizantes fosfatados, manteniendo el cultivo en un estado óptimo nutricionalmente. Debido a que las características fisicoquímicas de los suelos afectan la abundancia e infección micorrícica de plantas de tomate es necesario



concientizar a los productores de realizar manejos agrícolas sustentables que favorezcan el cuidado de los recursos naturales y del medio ambiente y permitir promover los ciclos biológicos y naturales de cada sitio de cultivo.

Por los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis que preveía que la abundancia de esporas de HFM en suelos cultivados favorecería el porcentaje de micorrización en raíces de tomate para industria, ya que, como se mencionó, no se observó relación entre dichas variables. A su vez se acepta parcialmente la hipótesis que preveía que a menor contenido de fósforo habría mayor porcentaje de micorrización en raíces de tomate y mayor cantidad de esporas en el suelo, debido a que sólo se cumplió en el caso del porcentaje de micorrización.



CONSIDERACIONES FUTURAS

El presente estudio sirve de puntapié inicial para una serie de investigaciones futuras que pueden centrarse en:

- Estudiar las relaciones entre los HFM, las variables fisicoquímicas de los suelos y también, de manera cuantitativa, las variables climáticas (precipitaciones, humedad ambiental y del suelo, heliofanía, etc.)
- Estudiar con mayor profundidad cómo varía la presencia de HFM frente a cambios más significativos en el contenido de fósforo extractable y materia orgánica.
- Evaluar la presencia de HFM nativos frente a distintos manejos agronómicos y/o distintos cultivos agrícolas.
- Caracterizar las especies nativas de HFM presentes en suelos de Mendoza.
- Estudiar otras formas de microorganismos benéficos presentes en suelos de Mendoza que ayuden a la nutrición vegetal.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, en quien todo lo puedo.

A mi familia, quienes hicieron posible que hoy este defendiendo una tesis de grado.

A mi directora Gabriela Lorenzo y co-directora Laura Martínez, quienes me acompañaron e incentivaron en este proceso y de quienes aprendí a realizar un proyecto de investigación.

A mis compañeras de facultad Paula, María José y Micaela, quienes hicieron del estudio un lindo camino para compartir buenos momentos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloush, G.A., Zeto, S.K. y Clark, R.B. 2000. Phosphorus source organic matter and arbuscular mycorrhizal effects on growth and mineral acquisition of chickpea grow acidic soil. *J Plant nutr*; 23(9):1351-1369.
- Argerich, C. 1997. La experiencia de la Asociación Tomate 2000. Un Modelo de Generación y Transferencia de Tecnología. INTA La Consulta, Mendoza.
- Argerich, C. 2016. Directivas de producción integrada de tomate industrial 2015-2016. INTA Centro Regional Mendoza - San Juan. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación.
- Becerra A, Cabello M, Bartolini N, Zac MR. 2009. Arbuscular mycorrhizae of dominant plant species in Yungas forests, Argentina. *Mycologia*. 101:612-21.
- Becerra, A., Arrigo, N., Bartoloni, N., Domínguez, L., Cofré, M. 2007. Arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* kunth in Northwestern Argentina in relation to season and soil parametres. *Cl. suelo* 25(1) 7-13.
- Beltrano, J. 2013. El uso de micorrizas en cultivos intensivos. Un recurso microbiológico en la agricultura sostenible. En: Curso Sanidad en Cultivos Intensivos 2013. Módulo 4 Flores y ornamentales: el difícil arte de la belleza responsable. 1° edición. Ediciones INTA, San Pedro, Buenos Aires. 59 pp.
- Blaszkowski, J. 1993. The occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae Glomales in plant communities of maritime dunes and shores in Poland. *Bulletin of the Polish Academy of Science and Biological Sciences*. 41: 377-392.
- Bonfante, P. y A. Genre. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Review. *Nature Communications* DOI: 10.1038/ncoms1046.



- Brady, N.C, Weil, R.R. 1996. The Nature and Properties of soils, 11th Edn. Prentice Hall Incorporation, New Jersey, USA: p. 739.
- Bremner, J.M. y Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. P 595-624. In A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Bucher, M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. Tanley reviews. New Phytologist, 173: 11 – 26.
- Cardona, G., Peña-Venegas, C.P. y Arcos, A. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. Agronomía Colombiana 26(3), 459-470.
- Chambouleyron, J. 2005. Riego y drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable Tomo I. EDIUNC. Mendoza.
- Chaudhry, M.S., Saeed, M., Nasim, F. 2013. Soil chemical heterogeneity may affect the diversity of arbuscular-mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Tamarix aphylla* under arid climate. Analele Științifice ale Universității Al. I. Cuza Iași, s. II a. Biologie vegetală, 2013, 59, 2: 53-63.
- Covacevich F, Marino MA, Echeverría HE. 2006. The phosphorus source determines the arbuscular mycorrhizal potential and the native mycorrhizal colonization of tall fescue and wheatgrass in a moderately acidic Argentinean soil. Eur J Soil Biol. 42:127-38.
- Covacevich, F., Echeverría, H., Aguirrezabal, L. 2007. Soil available phosphorus status determines indigenous mycorrhizal colonization of field and glasshouse-grown spring wheat from Argentina. Applied Soil Ecology 35 1–9.
- Cricyt. 1996. Inventario de Recursos de la Región Andina Argentina. Coordinación general: Elena María Abraham y Francisco Rodríguez Martínez.



- Dhillon, S.S., Zak, J.C. 1993. Microbial dynamics in arid ecosystems-desertification and the potential role of mycorrhizas. *Revista Chilena De Historia Natural*. 66: 253-270.
- Djuuna IAF, Abbott LK, Van Niel K. 2010. Predicting infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi from soil variables using generalized additive models and generalized linear models. *Biodiversitas*. 11:145-50.
- Fontela, C., Morábito, J., Maffei, J., Salatino, S., Mirábile, C., Mastrantonio, L. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*. Tomo XLI. N° 1.135-154.
- Franco Navarro, J.D. 2012. Efectos beneficiosos de la micorrizas sobre las plantas. *Bioscripts*.
- Fundación IDR. 2012. Estimación de la superficie cultivada con hortalizas en Mendoza Temporada 2011-2012.
- Gazey, C., Abbot, L. y Robson, A. 1992. The rate of development of mycorrhiza effects the onset of sporulation and production of external hyphae by two species of *Acaulospora*. *Mycological Res*. 96, 643-650.
- Gerdemann J. W., Nicolson T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc*. 46, 235-244.



- Guillemin, J.P., M.O. Orozco, V. Gianinazzi-Pearson y S. Gianinazzi. 1995. Influence of phosphate fertilization on fungal alkaline phosphatase and succinate dehydrogenase activities in arbuscular mycorrhiza of soybean and pineapple. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53: 63 – 69.

http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/la_produccion_de_hortalizas_en_argentina.pdf

- Lugo M, Cabello M. 2002. Native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from mountain grassland (Córdoba, Argentina) I. Seasonal variation of fungal spore diversity. *Mycología*. 94:579-86.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of higher plants*. Academic Press, London 2nd Edition, 889 pp.
- Martí, L., Filippini, M.F., Drovandi, A., Salcedo, C., Troilo, S., Valdés, A. 2011. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, vol. 43 n° 2.
- Mathur, N., Vyas, A. 1997. Vesicular arbuscular mycorrhizae in Indian Thar desert. *Journal of Indian Botanical Society*. 76: 125-126.
- Mc. Gonigle, T.P., Miller, M.H., Evans, D.G., Fairchild, G.L., Swan, J.A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol*. 115, 495-495.
- McGee, P.A. 1989. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid soil. *Mycological Res*. 92, 28-33.
- Mirabal, L. y Ortega, E. 2008. Comunidad microbiana asociada a los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). *Cultivos tropicales*, vol. 29, n°4, p. 13-20.



- Mohammad, M.J., Hamad, S.R., Malkawi, H.I. 2003. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. *Journal of Arid Environment*, 53:409-417.
- Nijensohn, L. y H. Pilasi. 1962. Correlación entre contenido de agua a pF0, volumen de sedimentación y porcentaje de arcilla. *Resúmenes de Trabajos y Comunicaciones*, 2ª Reunión Argentina y 1er Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mendoza.
- Nijensohn, L., M.O. Avellaneda, O. Pizarro y F.S. Olmos. 1972. Empleo de soluciones bicarbonatadas sódicas en el diagnóstico del nivel de fósforo disponible en los suelos mendocinos de riego. *Rev. De la Fac. de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. de Cuyo*, Mendoza, 18(2): 120-126.
- Noda, Y. 2009. Las micorrizas: una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y forrajes*, vol. 32, n° 2, 105-118.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. p. 403-430. In A.L. Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Page, R., Miller, H. y Keeney, D. 1982. *Methods of soil analysis Part 2 - Chemical and microbiological properties*.
- Pérez, A., Vertel, M. 2010. Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev.MVZ Córdoba* 15(3):2165-2174.
- Rodríguez del Rincón, A. 1995. *El cultivo del tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. España. Capítulo 8.
- Sánchez de Prager, M. 1999. *Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos*, ed., Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.



- Secretaría de Comercio Interior, Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. 2012. Fuente on-line: http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/la_produccion_de_hortalizas_en_argentina.pdf
- Seguel Fuentealba, A. 2014. El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas. IDESIA, vol. 32, n° 1, 3-8.
- Siddiqui ZA, Akhtar MS, Futai K. 2008. Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. Dordrecht, The Netherlands, Springer; p. 362.
- Smith S.E. y F.A. Smith. 2011. Roles of arbuscularmycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystems scales. Annual Review of Plant Botany, 62: 227 – 250.
- Smith, S.E y D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Edition. Academic press. New York. USA. 815 pp.
- Thougnon Islas, A.J.; Eyherabide, M.; Echeverría, H.E.; Sainz Rozas, H.R. & Covacevich, F. 2014. Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrízicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. Revista Argentina de Microbiología, 46(2):133-143.
- USDA. 1954. U.S. Laboratory Staff. L. A. Richards (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook n° 60.
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P. y Sotomayor, A. 2017. Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Bioagro 29(2): 105-114.
- Vierheilig H., Goughlan A.P., Wyss U. and Piche´ Y. 1998. Ink and vinegar, a simple technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. Appl. Environ. Microbiol. 64, 5004–5007.



- Walker, C., W. Mize y H.S. McNabb. 1982. Population of endogonaceous fungi at two populations in central Iowa. Canadian Journal of Botany, 60: 2518 – 2529.
- Zangaro W, Vergal Rostirola L, Bochi De Souza P, De Almeida Alves R, Azevedo Marques Lescano LE, Berbel Lírio Rondina A, Nogueira MA, Carrenho R. 2012. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. Mycorrhiza. 23:221-33.
- Zepeda Guzmán, S., Ambriz Parra, E., Dasgupta-Schuber, N. y Villegas Moreno, H.J.A. 2010. Efecto de la interacción *Glomus intraradices*-Nitrógeno sobre el pH, acumulación de fósforo y desarrollo de *Tagetes erecta* L. bajo condiciones de agobio hídrico.