



**Colonización natural con micorrizas arbusculares en huertos de mandarino
'Oneco' injertados en seis patrones¹**

**Colonização natural com micorrizas arbusculares em pomares de tangerina
'Oneco' enxertados em seis porta-enxertos**

DOI: 10.55905/rdelosv16.n46-005

Recebimento dos originais: 04/08/2023

Aceitação para publicação: 04/09/2023

Priscila de Sousa Rollo Pereira

Máster en Ciencias Vegetales

Institución: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dirección: Porto Alegre - RS, Brasil

Correo electrónico: prisciarollo@gmail.com

Paulo Vitor Dutra de Souza

Doctor en Agronomía, Becario de Investigación y Productividad del CNPQ

Institución: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dirección: Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre - RS

Correo electrónico: pvdsouza@ufrgs.br

Sidney Luiz Stürmer

Doctor Genética y Biología del Desarrollo

Instituição: Universidade Regional de Blumenau (FURB)

Dirección: Blumenau - SC, Brasil

Correo electrónico: sidneysturmer@gmail.com

Vinicius Ribeiro Jardim

Licenciado en Agronomía

Institución: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dirección: Porto Alegre - RS, Brasil

Correo electrónico: viniribeiroj@gmail.com

Mateus Pereira Gonzatto

Doctorado en Ciencias Vegetales

Institución: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Dirección: Viçosa - MG, Brasil

Correo electrónico: mpgonzatto@gmail.com

¹Este artículo es parte de la disertación del master de la primera autora. PPG – Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre - RS.



Sergio Francisco Schwarz

Doctorado en Agronomía

Institución: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dirección: Porto Alegre - RS, Brasil

Correo electrónico: schwarz@ufrgs.br

RESÚMEN

Gran parte de los cítricos son altamente dependientes de hongos micorrícicos arbusculares (HMAs). Sin embargo, la eficiencia de la simbiosis se afecta por el genotipo vegetal o del HMA, además de los factores edafoclimáticos del sitio. El objetivo de este estudio fue evaluar, en un huerto con 18 años, la influencia de la estación del año en la colonización micorrícica de seis patrones que se injertaron con mandarina 'Oneco' y su interacción con el estado nutricional de los árboles. Los patrones evaluados fueron: trifoliata 'Flying Dragon', citrange 'Troyer', citrumelo 'Swingle', lima 'Rangpur', limón 'Volkameriano' y naranjo 'Caipira'. Se realizó la cosecha de raicillas en cuatro épocas del año: invierno, primavera, verano y otoño. Se cuantificó la presencia de estructuras de colonización (hifas, vesículas y arbusculos), colonización radicular y densidad de esporas. La colonización micorrícica ocurre naturalmente en los patrones cítricos en el campo, variando entre ellos y entre las fechas del año. La colonización micorrícica fue alta en todos los patrones en primavera, verano y otoño, sobrepasando los 76%. En invierno, los patrones 'Caipira', 'Swingle', 'Cravo' y 'Troyer' siguieron con colonización óptima, mientras ocurrió una reducción significativa en 'Flying Dragon' y 'Volkameriano' (ambos con el 40 %).

Parabras clave: *Citrus reticulata blanco*, estaciones del año, endomicorrizas, nutrición mineral.

RESUMO

A maioria das árvores cítricas é altamente dependente de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). No entanto, a eficiência da simbiose é afetada pelo genótipo da planta ou do FMA, além dos fatores do solo e do clima. O objetivo deste estudo foi avaliar, em um pomar de 18 anos, a influência da estação do ano na colonização micorrízica de seis porta-enxertos enxertados com tangerina "Oneco" e sua interação com o estado nutricional das árvores. Os porta-enxertos avaliados foram: trifoliata 'Flying Dragon', citrange 'Troyer', citrumelo 'Swingle', lima 'Rangpur', limão 'Volkameriano' e laranja 'Caipira'. A colheita dos porta-enxertos foi realizada em quatro épocas do ano: inverno, primavera, verão e outono. A presença de estruturas de colonização (hifas, vesículas e arbusculos), a colonização da raiz e a densidade de esporos foram quantificadas. A colonização micorrízica ocorre naturalmente nos porta-enxertos cítricos no campo, variando entre os porta-enxertos e entre as datas do ano. A colonização micorrízica foi alta em todos os porta-enxertos na primavera, no verão e no outono, excedendo 76%. No inverno, os porta-enxertos "Caipira", "Swingle", "Cravo" e "Troyer" continuaram com ótima colonização, enquanto houve uma redução significativa em "Flying Dragon" e "Volkameriano" (ambos com 40%).

Palavras-chave: *Citrus reticulata blanco*, estações do ano, endomicorrizas, nutrição mineral.



1 INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son constituyentes importantes del suelo, que se pueden explotar buscando mejorar el desarrollo de los cultivos y contribuir al establecimiento de una agricultura más sostenible. La colonización de las raíces por hongos micorrízicos puede aumentar la absorción de algunos nutrientes a la planta huésped, promoviendo su crecimiento, a cambio de fotoasimilados (Berbara et al., 2006; Campo et al., 2020; Siqueira & Franco, 1988).

Los HMAs actúan especialmente para mejorar la absorción de iones fosfato, que son poco móviles y solubles en el suelo, ya que puede secretar fosfatasas para hidrolizar el fosfato del P orgánico (Fitter et al., 2011; Marschner, 2012). De igual manera, la extensa red de hifas de los HMAs aumenta la absorción de amonio, y micronutrientes inmóviles como Cu y Zn y otros minerales (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Fe^{3+}) (Smith & Smith, 2011).

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, los HMA imparten otros beneficios importantes, como la tolerancia a la sequía (Jayme & Quigley, 2014), resistencia a las condiciones químicas adversas del suelo, a la salinidad (Porcel et al., 2012; Riviero et al., 2018), y contaminación por metales pesados (Rozpadek et al., 2014). Auxilian en la reducción de los efectos adversos de la acidez y la toxicidad del aluminio (Rouphael et al., 2015), además de añadir una protección al ataque de fitopatógenos del suelo (Moreira et al., 2016). Esto no solo conduce a aumentos en el rendimiento y la producción, sino también a cambios en parámetros de calidad (Antunes et al., 2012). Estos beneficios, según Sbrana et al. (2014), son consecuencia de una inducción de cambios en el metabolismo secundario de los vegetales, que conduce a la biosíntesis de fitoquímicos, promoviendo la salud. Por lo tanto, los HMA también pueden mejorar el valor alimenticio de los productos agrícolas

Según Moreira y Siqueira (2006) la dependencia micorrízica se puede definir como el grado de dependencia que tiene la planta colonizada por HMA para lograr su mayor crecimiento o producción, a un determinado nivel de fertilidad del suelo. Las plantas cítricas poseen un sistema radicular con pelos absorbentes poco desarrollados, lo que dificulta la absorción de nutrientes, principalmente aquellos de baja movilidad en el suelo, se considerando altamente dependientes de las micorrizas para su equilibrio nutricional y mejor desarrollo (Ortas, 2012). Aunque los hongos micorrízicos tienen baja especificidad, es decir, una especie vegetal puede formar micorrizas con varias especies de HMA, la efectividad varía en las combinaciones de



hongo-planta, lo que indica que los HMA tienen preferencia por los hospedantes (Koch et al., 2012; Melloni & Cardoso, 1999; Menge et al., 1978; Peng et al., 1993; Torrecillas et al., 2012).

Así, los efectos de esta simbiosis varían según la interacción hongo-suelo-planta, que depende de la necesidad del huésped de absorción de nutrientes y fertilidad del suelo, especialmente P (Hippler & Moreira, 2013; Senna et al., 2014).

Prácticas de manejo pueden influir positiva o negativamente en la simbiosis con los HMA; como el uso de pesticidas y la aplicación de fertilizantes. La concentración de P en el suelo necesaria para el máximo crecimiento de plantas puede reducirse mediante la inoculación de HMA, resultando en una mayor eficiencia en el uso de fósforo. Además, también hay un aumento en la colonización y eficiencia de los HMA en suelos con baja concentración o deficientes en P (Watts-Williams & Cavagnaro, 2014). El desarrollo de la simbiosis micorrícica está controlado por la planta huésped e involucra su estado nutricional en relación con el fósforo, y se regula a través de fitohormonas, microARN y secreción de péptidos (Müller & Harrison, 2019).

Gran parte de los estudios realizados con inoculación de HMAs en plantas cítricas ocurrió en vivero, donde normalmente se verifica una reducción en la velocidad del crecimiento de los plántones, debido a la eliminación de hongos micorrícicos en los sustratos utilizados demostrando la elevada dependencia micorrícica de esta cultura (Ortas, 2012; Back et al., 2016; Back et al., 2018). Sin embargo, hay carencia de estudios evaluando la ocurrencia natural de HMAs en huertos de cítricos y su efecto en diferentes combinaciones con patrones.

Otra dependencia importante es la compatibilidad con el huésped y/o la adaptación al ambiente (Smith & Smith, 2011). Según Cabello (1999) y Vivas et al. (2003), la respuesta de la planta a la micorrización puede variar en las diferentes estaciones del año, debido a que las condiciones edafoclimáticas influyen en el desarrollo de las especies nativas del medio donde se encuentran.

Tras los beneficios promovidos por los HMAs y la dependencia de los cítricos a la simbiosis, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la estacionalidad en la flotación poblacional y colonización natural de HMAs en raíces de seis patrones injertados bajo copa de mandarina 'Oneco' (*Citrus reticulata* Blanco), y su interacción con el estado nutricional de los árboles.



2 MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca Panoramas Citros (latitud 30° 07' 56" S, longitud 51° 51' 21" W, altitud de 100 m), ubicada en la BR 290, km 164, en el municipio de Butiá, Estado de Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Se realizó entre julio del 2015 y junio del 2016. El clima de la región se caracteriza como subtropical húmedo, clasificado como Cfa por Köppen. presentando temperatura y precipitación media anual del 18.8 °C e de 1455 mm, respectivamente (Bergamaschi et al., 2013). El suelo del área experimental es clasificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, un *Rhodic Ultisol*, con 19% de arcilla en la camada superficial (0-20 cm de profundidad) (Santos et al., 2018).

El huerto tenía como cultivar copa: mandarino 'Oneco', injertada sobre seis patrones: trifoliata 'Flying Dragon' [*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* (T. Ito) Swing.], citrange 'Troyer' [*Citrus sinensis* (L.) Osb. × *P. trifoliata* (L.) Raf.], citrumelo 'Swingle' [*C. paradisi* Macf. × *P. trifoliata*], lima 'Rangpur' (*C. limonia* Osb.), limón 'Volkameriano' (*C. volkameriana* Ten. & Pasq.) y naranjo 'Caipira' (*C. sinensis*).

El huerto se trasplantó en agosto del 1997, en marco de plantación de 6,0 m x 2,5 m entre plantas, con 667 árboles por hectárea. El manejo fitosanitario y de fertilización se condujo según las recomendaciones para los cítricos. Las plantas espontáneas en el suelo se rozaron periódicamente (Koller, 2009).

Muestras de suelo y raíces se recolectaron en las cuatro estaciones del año: invierno (24/08/2015), primavera (01/12/2015), verano (21/03/2016) y otoño (30/05/2016). Se recolectó una muestra por unidad experimental. Cada una de las muestras de suelo y raíces se compusieron de cuatro submuestras recolectadas de 0-20 cm superficiales.

Las muestras de suelo recolectadas en verano fueron evaluadas cuanto a sus características químicas (Tedesco et al. 1995; Teixeira et al., 2017). Presentaron las siguientes características medias: pH en H₂O del 5.9; Índice SMP del 6.4; contenido en materia orgánica del 27 g kg⁻¹; contenido en P del 48.1 mg dm⁻³; contenido en K del 198.5 mg dm⁻³; contenido en Ca del 6.5 cmol_c dm⁻³; contenido en Mg del 2.4 cmol_c dm⁻³; razón Ca/Mg = 2.7. Estos valores se consideran adecuados para huertos en cultivo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

Las raicillas se separaron de las muestras de suelo con empleo de tamices de malla 53 μm (0,053 mm). Luego las muestras de suelo se secaron a la sombra, en aire libre y bajo temperatura



ambiente. Parte de estas muestras (aproximadamente 50g de suelo) se separó y se empleó para colecta de esporas, buscando determinar la flotación poblacional a lo largo del año.

Para determinación de la intensidad de colonización por HMAs en las raicillas, las mismas se lavaron con agua destilada y se conservaron en F.A.A. (Formaldeído al 5%, Ácido Acético al 5% e Alcohol Etílico al 90%), según método de Honrubia et al. (1993). Luego se cortaron en segmentos de aproximadamente un centímetro de largo; se clarificaron y se tiñeron según Phillips y Hayman (1970). Finalmente, 60 segmentos de raicillas por tratamiento (20 segmentos por repetición) se dispusieron en láminas (un total de 360 láminas), que, en seguida, se analizaron en microscopio, para evaluación de la presencia y densidad de hifas, vesículas y arbusculos (Nemec, 1992). El porcentaje de raíces colonizadas se obtuvo del número de segmentos infectados del total analizado. Para determinación de la densidad de hifas, se atribuyó el valor 0, para ausencia de estructuras; 1, para baja presencia (1/3 de la raicilla colonizada); 2, para media presencia (2/3 de la raicilla colonizada); y 3, para alta presencia (raicilla totalmente colonizada). La densidad de vesículas y arbusculos también se relacionó con una escala de 0 al 3, donde se consideró como 0 la ausencia de estructuras; 1, de 1 a 50 estructuras; 2, de 51 a 100; y 3, más de 100 (Nemec, 1992).

La cuantificación de las esporas de HMAs se realizó tras la retirada de una cantidad de 50 g de suelo de cada muestreo recolectado. El aislamiento de las esporas se hizo por técnica del tamizado húmedo (Gerdemann & Nicolson, 1963), utilizándose tamices de malla 106 μm y 53 μm de diámetro, tras centrifugación a 2000 rpm por 3 minutos con agua destilada esterilizada y con sacarosis (50%), según Jenkins (1964). Las esporas se observaron en placa de Petry, donde se contaron las esporas viables, usando microscopio estereoscópico para la visualización. Se consideraron esporas inviables y, por lo tanto se desecharon, aquellas que se presentaban marchitas, con color negro en sus paredes externas, además de presentaren estructuras de microorganismos colonizando sus paredes.

En el verano (21/03/2016) se realizó la recolección de hojas para análisis foliar. Se recolectaron la segunda y tercera hoja a partir del fruto, de ramas de flujos primaverales con frutos terminales. Cada muestra tenía al menos 80 hojas por unidad experimental (mismas plantas de donde se recolectaron las muestras de suelo), recolectadas de una altura de aproximadamente 1,5 m del suelo, de los cuatro cuadrantes de cada copa, siguiendo las recomendaciones para la cultura (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

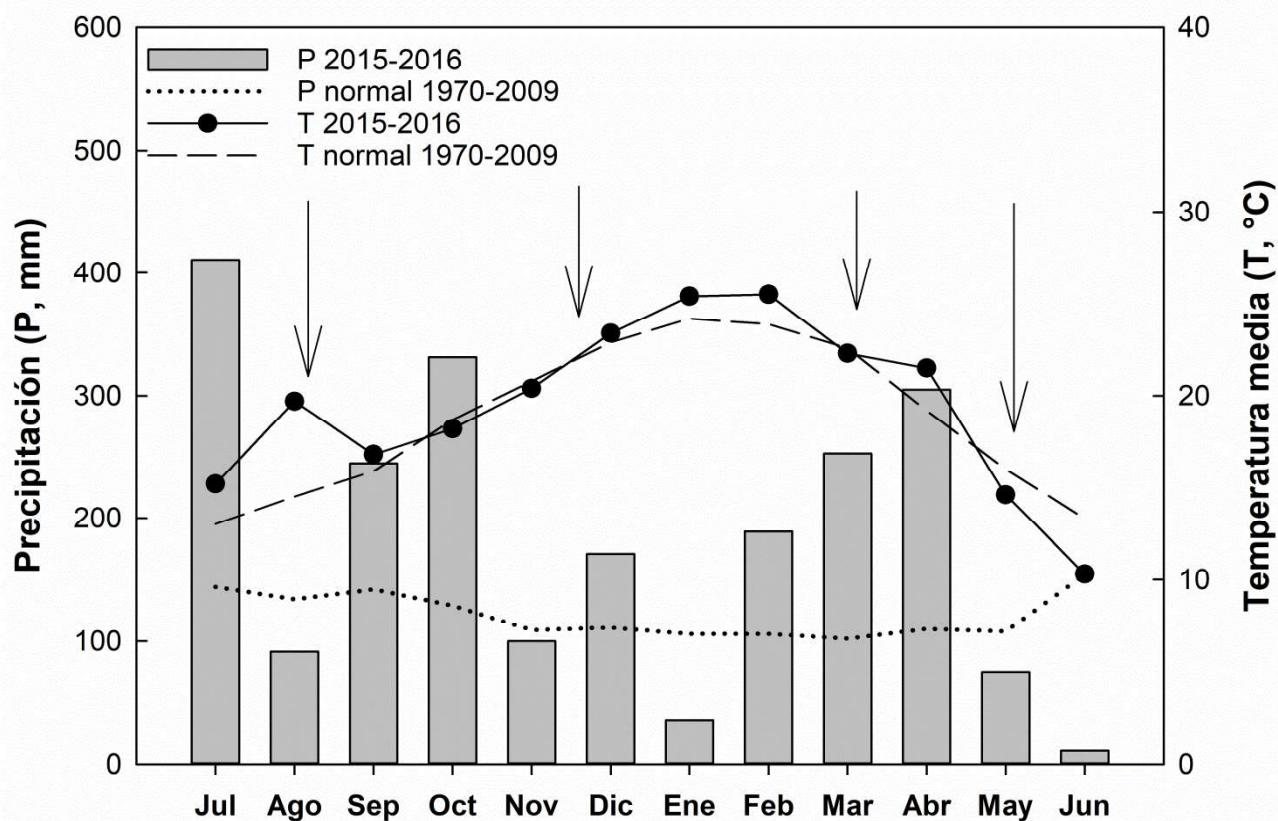


Tras su recolección, las muestras de hojas se llevaron al Laboratorio del Departamento de Horticultura e Silvicultura (DHS), donde se secaron en estufa a 60 °C hasta masa constante (15 días). Luego se trituraron en molino y se llevaron al Laboratorio de Análisis de Suelos y Tejidos da Facultad de Agronomía – UFRGS, para evaluación de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasa (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), e azufre (S) y los micronutrientes cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn) y Boro (B), según metodologías descritas en Tedesco et al. (1995).

El diseño experimental fue en bloques al azar, con 6 tratamientos (patrones) y cuatro repeticiones (bloques), donde cuatro plantas constituyeron la unidad experimental, se evaluando solamente las dos centrales. Los datos recolectados en la misma unidad experimental a lo largo de las diferentes estaciones del año (colonización por HMA; presencia de hifas, de vesículas y de arbusculos; densidad de esporas de HMA en el suelo) se analizaron como medidas repetidas, utilizándose el procedimiento PROC MIXED en el programa SAS, versión 9.4 (SAS INSTITUTE INC., CARY, NC, EUA). La estructura de covarianza que presentó mejor ajuste a los datos se seleccionó según el criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) (Silva et al., 2015). Las interacciones entre factores se consideraron cuando $p \leq 0.25$ (Perecin & Cargnelutti Filho, 2008). Para las otras variables, se empleó análisis de varianza, con bloques como efecto aleatorio, también usando el procedimiento PROC MIXED. Cuando necesario, se empleó el test de Tukey, al 5% de probabilidad. Además, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los residuos de los datos de composición química de los tejidos foliares y las características de la asociación micorrícica (colonización de las raíces por HMA; presencia de hifas, vesículas, y arbusculos; densidad de esporas de HMA en el suelo), solamente para los datos recolectados en verano.

Los datos promedios de la temperatura del aire y las precipitaciones de mayo del 2015 a mayo del 2016, adjuntamente a las normales climáticas de la región (Bergamaschi et al., 2013), se presentan en la Figura 1.

Figura 1. Precipitación acumulada y temperatura media mensual entre julio del 2015 y junio del 2016 y valores de la normal climatológica del período 1970 al 2009 (Bergamaschi et al., 2013). Datos de la Estación meteorológica de la EEA/UFRGS distante 17 km del área experimental. Las setas indican las datas aproximadas de las recolecciones de raíces.



3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primavera, verano y otoño se encontró la colonización micorrícica alta y estadísticamente semejante entre los patrones estudiados, superando los 76% (Cuadro 1). En invierno, los patrones ‘Flying Dragon’ y ‘Volkameriano’ presentaron una baja colonización (Cuadro 1). Los demás patrones mantuvieron tasas elevadas de colonización radicular, semejantes a las otras estaciones evaluadas. También, se encontró una presencia más pequeña de estructuras de HMAs en el sistema radicular en el patrón ‘Flying Dragon’ en invierno, debido a las temperaturas más bajas, que provocaron reducción de su actividad metabólica, perjudicando la simbiosis (Berbara et al., 2006; Smith & Smith, 2011).



CUADRO 1. Porcentaje de colonización natural de micorrizas arbusculares, densidad de estructuras de colonización (hifas, vesículas y arbusculos) y densidad de esporas (número/gramos) viables en mandarinos 'Oneco', bajo cuatro épocas del año, injertadas en seis patrones. Butiá, 2015-2016.

Colonización	Patrón	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
$P_P = 0.0938$	'Caipira'	95.0 A	100.0	91.7	98.3	96.3
$P_T < 0.0001$	'Swingle'	88.3 A	96.7	95.0	96.7	94.2
$P_{P \times T} = 0.0459$	'Cravo'	78.3 AB	76.7	91.7	88.3	83.8
	'Flying Dragon'	40.0 Bb	100.0 a	100.0 a	100.0 a	85.0
	'Troyer'	80.0 AB	98.3	95.0	100.0	93.3
	'Volkameriano'	40.0 Bb	86.7 a	91.7 a	100.0 a	79.6
	<i>Media</i>	<i>70.3</i>	<i>93.1</i>	<i>94.2</i>	<i>97.2</i>	
Hifas	Patrón	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
$P_P = 0.2719$	'Caipira'	1.91 ab	2.31 ab	1.08 b	2.40 a	1.92
$P_T < 0.0001$	'Swingle'	1.60	1.48	1.93	1.75	1.69
$P_{P \times T} = 0.0040$	'Cravo'	1.26	1.20	1.13	1.80	1.35
	'Flying Dragon'	0.56 b	1.55 ab	1.20 ab	2.36 a	1.42
	'Troyer'	1.46 ab	1.35 b	1.00 b	2.66 a	1.62
	'Volkameriano'	0.86	1.68	1.33	2.05	1.48
	<i>Media</i>	<i>1.28</i>	<i>1.59</i>	<i>1.28</i>	<i>2.17</i>	
Vesículas	Patrón	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
$P_P = 0.0839$	'Caipira'	0.13ab	0.46 ab	0.00 b	0.63 Aa	0.30
$P_T < 0.0001$	'Swingle'	0.40	0.03	0.00	0.43 AB	0.21
$P_{P \times T} = 0.1130$	'Cravo'	0.28	0.00	0.08	0.00 B	0.09
	'Flying Dragon'	0.00	0.11	0.00	0.00 B	0.02
	'Troyer'	0.00	0.00	0.00	0.00 B	0.00
	'Volkameriano'	0.33	0.033	0.00	0.00 B	0.09
	<i>Media</i>	<i>0.19</i>	<i>0.10</i>	<i>0.01</i>	<i>0.17</i>	
Arbusculos	Patrón	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
$P_P = 0.2488$	'Caipira'	1.30 ab	1.46 ab	0.33 Bb	2.16 a	1.31
$P_T < 0.0001$	'Swingle'	1.28	0.68	0.53 B	1.58	1.02
$P_{P \times T} = 0.0028$	'Cravo'	0.88	0.28	0.55 B	1.26	0.74
	'Flying Dragon'	0.08 b	0.58 ab	0.71 ABab	1.50 a	0.72
	'Troyer'	0.93 b	0.21 b	0.08 Bb	2.40 a	0.90
	'Volkameriano'	0.50 b	0.73 b	2.01 Aa	1.65 ab	1.22
	<i>Media</i>	<i>0.83</i>	<i>0.66</i>	<i>0.70</i>	<i>1.76</i>	
Esporos	Patrón	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
$P_P < 0.0001$	'Caipira'	5.40 Bb	9.92 ab	16.86 a	5.27 Bb	9.36
$P_T < 0.0001$	'Swingle'	4.73 B	8.47	14.36	4.82 B	8.09
$P_{P \times T} = 0.0553$	'Cravo'	8.73 B	4.84	15.08	8.52 B	9.29
	'Flying Dragon'	21.58 Aa	10.35 b	20.93 ab	21.68 Aa	18.63
	'Troyer'	8.19 B	8.75	15.62	8.18 B	10.19
	'Volkameriano'	23.86 Aa	8.67 b	15.18 ab	22.85 Aa	17.64
	<i>Media</i>	<i>12.08</i>	<i>8.50</i>	<i>16.34</i>	<i>12.08</i>	

En general, la densidad de colonización, cuantificada por la presencia de estructuras de HMAs en las raíces, se consideró moderada, con índice promedio de 2 (de 50 a 100 estructuras por centímetro) para presencia de hifas; floja para la presencia de arbusculos (índice variando de cero a 1); y floja para vesículas, nunca alcanzando el índice 1 (hasta 50 estructuras por centímetro), para todos patrones (Cuadro 1).



El patrón 'Troyer' presentó densidad de hifas mayor en otoño, aunque estadísticamente igual al invierno y superior a las demás estaciones (Cuadro 1). 'Caipira' presentó densidad de hifas superior en otoño comparativamente al verano (Cuadro 1). La presencia de hifas en invierno y primavera mantuvo índices intermedios a las otras estaciones para este patrón. La presencia de hifas en las raíces de 'Flying Dragon' fue superior en otoño, inferior en el invierno e intermedia en primavera y verano (Cuadro 1). La cantidad de hifas en las raíces de 'Swingle', 'Cravo' y 'Volkameriano' no presentaron diferencias estadísticas entre las épocas evaluadas (Cuadro 1).

La presencia de vesículas también sufrió interacción significativa de los factores evaluados (Cuadro 1). Los patrones 'Swingle', 'Cravo', 'Flying Dragon', 'Troyer' e 'Volkameriano' no presentaron diferencias estadísticas entre las estaciones. Ya 'Caipira' presentó mayor presencia de vesículas en otoño, estadísticamente igual al invierno y primavera, y superiores a verano.

En el período evaluado no ocurrieron temperaturas extremas, ni período de sequía largo. Por eso, se supone que los HMAs no necesitaron formar gran número de vesículas, que son estructuras de reserva, buscando pasar períodos adversos. Normalmente, en el sur de Brasil esas estructuras se forman a partir de abril/mayo (meses de otoño), debido a la reducción de la temperatura y del fotoperiodo, para almacenar reservas a los HMAs durante el invierno (Back et al., 2016).

En los arbúsculos ocurren los cambios de nutrientes y fotoasimilados con las plantas (Smith & Smith, 2011). Se observó la presencia de arbúsculos en todas las raicillas de los patrones independientemente de la fecha, caracterizando una mayor actividad simbiótica entre el hongo y la planta. El patrón 'Volkameriano' presentó mayor densidad de esas estructuras en verano, no difiriendo estadísticamente del 'Flying Dragon', que fue semejante a los demás. 'Troyer' presentó mayor densidad de arbúsculos en otoño, mientras 'Swingle' y 'Cravo' no presentaron diferencias estadísticas independientemente de la fecha estudiada.

La densidad de esporas, en general, fue alta, variando de 4,8 a 23,9 esporas.g⁻¹ de suelo. El manejo del suelo puede tener favorecido a la esporulación de las endomicorizas. En el huerto se utilizaba cobertura vegetal en el suelo, uso controlado de insumos agrícolas, como abonos y agroquímicos, y uso de rozadera como método para control del crecimiento de la cobertura natural. Generalmente se acepta que la labranza del suelo reduce número de esporas de HMA y fuentes de propágulos y, por lo tanto, reduce la colonización de raíces de plantas al interrumpir



la red de hifas micorrízicas. Además, una la riqueza y diversidad de especies de plantas hospedantes en los sistemas de cultivo se relacionan directamente con una mayor cantidad de HMA en el suelo (Avio et al., 2013; Njeru et al., 2015).

‘Swingle’, ‘Cravo’ y ‘Troyer’ no presentaron diferencia estadística entre las fechas. ‘Caipira’ presentó mayor densidad de esporas en verano, no difiriendo estadísticamente de primavera. Ya, los patrones ‘Flying Dragon’ y ‘Volkameriano’ presentaron gran densidad de esporas en otoño e invierno. En otoño e invierno, ‘Flying Dragon’ y ‘Volkameriano’ presentaron mayor densidad de esporas, en relación a los demás patrones. Eso ocurrió en los períodos que estos patrones presentaron los porcentuales más reducidos de colonización en sus raíces (Cuadro 1).

El patrón 'Flying Dragon', junto con el patrón 'Volkameriano', indujo los crecimientos más pequeños al árbol del mandarino 'Oneco', en un estudio previo (Gonzatto et al., 2011). Principalmente, en el caso del patrón 'Flying Dragon', la reducción del volumen del dosel fue del 75% en relación a los patrones vigorosos, como el naranjo 'Caipira' (Gonzatto et al., 2011). El efecto de enanismo de este patrón es resultado de una conductancia hidráulica vascular reducida, con restricción en el flujo de carbohidratos a las raíces (Martínez-Alcántara et al., 2013). Este hecho, asociado con la alta demanda de carbohidratos de las frutas que crecen en invierno, probablemente desfavoreció la asociación de micorrizas, reduciendo la colonización de raíces por HMA. Además, las copas injertadas en 'Flying Dragon' tienen un contenido de fósforo foliar extremadamente alto (Cuadro 2).

En el análisis de tejido foliar (Cuadro 2), no se observaron diferencias estadísticas para los contenidos en N, P, K, Ca, Cu, Z, S, Fe, Mn y B en las plantas de ‘Oneco’ independientemente del patrón en estudio. Todas las plantas presentaron niveles de N, Ca, Zn y Mn considerados insuficientes (Mattos Junior et al., 2020). Presentaron niveles de S, Fe y B en el rango de la normalidad; y niveles excesivos de Cu. El nivel de P se quedó en el rango de la normalidad en las plantas que se injertaron en ‘Cravo’, ‘Troyer’ y ‘Volkameriano’. Fue excesivo en aquellas injertadas en ‘Caipira’, ‘Swingle’ y ‘Flying Dragon’. El nivel foliar de K se consideró insuficiente para las plantas injertadas en ‘Troyer’ y normal en aquellas injertadas en los otros patrones. El valor excesivo de Cu se explica por los tratamientos fitosanitarios empleados (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016). Y los demás, por los abonados realizados tras los años de cultivo en el huerto.

CUADRO 2. Contenido de nutrientes en los tejidos foliares en verano de un huerto de mandarina 'Oneco' injertado en diferentes patrones. Butiá, 2015-2016.

Patrones	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	------(mg kg ⁻¹)-----					------(mg kg ⁻¹)-----					
'Caipira'	22.7	2.0	16.7	24.0	2.4 b	4.1	57.7	16.0	107.0	29.3	93.3
'Swingle'	21.7	2.0	15.0	24.3	2.4 b	3.6	50.7	16.3	143.7	26.7	99.3
'Cravo'	22.7	1.8	16.5	22.0	3.2 b	3.9	44.3	17.0	158.0	23.0	79.7
'Flying Dragon'	22.7	2.8	12.3	27.3	3.3 b	2.7	50.3	15.0	123.0	25.7	78.3
'Troyer'	20.7	1.8	8.2	32.3	4.7 a	3.6	39.0	18.0	126.3	19.0	87.0
'Volkameriano'	22.3	1.5	16.3	25.7	2.8 b	3.9	49.3	21.7	140.3	28.7	110.0
IOCF ⁽¹⁾	25-30	1.2-1.6	12-16	35-50	3.5-5.0	2-3	10-20	50-75	50-150	35-70	75-150
<i>P</i>	0.3929	0.3096	0.2753	0.2085	0.0004	0.1080	0.8564	0.5206	0.2135	0.4156	0.2581

En las plantas injertadas en 'Troyer' los niveles foliares de Mg se consideraron excesivos ($> 0.4\%$), difiriendo estadísticamente de los demás, que se quedaban en el rango de la normalidad ($0.25 - 0.40\%$). Las plantas injertadas en 'Cravo', 'Flying Dragon' y 'Troyer' se destacaron de las restantes (Cuadro 2).

La correlación entre la colonización micorrícica y la densidad de esporas no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$), cuando relacionada a los parámetros nutricionales de las hojas (Cuadro 3). Muchas de las especies de HMAs suelen presentar niveles más bajos de colonización en un determinado cultivo, lo que, en último análisis, conllevaría a la disminución de la actuación de los HMAs en las plantas cultivadas. Eso porque, según Focchi et al. (2004), las especies suelen estar presentes en los ambientes, pero no responder a la presencia de raíces de determinadas plantas.

Sin embargo, se observaron correlaciones entre algunos micronutrientes en el tejido foliar y la densidad de presencia de algunas estructuras de los HMAs en las raíces de los patrones (Cuadro 3). Están asociados positivamente los contenidos en B y la densidad de ocurrencia de hifas; contenido en Cu con presencia de vesículas; y presencia de Cu, Zn y Mn con arbuscúlos. Eso indica que cuanto más grande la densidad de estructuras de colonización micorrícica (hifas, vesículas y arbuscúlos) más grande es la absorción de estos nutrientes. Esta asociación indica un efecto de mayor absorción de estos micronutrientes con un aumento en la densidad de estas estructuras, independientemente del patrón utilizado. Estos datos parecen estar de acuerdo con estudios previos en los que la inoculación de HMA aumentó los niveles de Zn en las hojas de citrange 'Carrizo' (Souza, 2000), naranjo agrio (Ortas & Ustuner, 2014). El mismo efecto también se observó en las plantas del mandarino 'Ponkan' con dos años y en los naranjos 'New Hall', injertados en *Poncirus trifoliata*, en condiciones de bajos niveles de Zn en el suelo (Chen et al. 2014).



CUADRO 3. Coeficiente de correlación de Pearson(1) entre la concentración de nutrientes en la hoja, estructuras (hifas, vesículas y arbusculos), porcentaje de colonización radicular por HMAs y densidad de esporas en verano en huerto de mandarina 'Oneco' injertado en diferentes patrones. Butiá, 2015-2016.

Nutrientes	Hifas	Vesículas	Arbusculos	Colonización	Esporas
N	0.22ns	0.25ns	0.27ns	0.05ns	0.11ns
P	0.38ns	0.10ns	0.56ns	0.02ns	-0.11ns
K	-0.06ns	0.23ns	0.44ns	0.17ns	0.04ns
Ca	0.21ns	-0.05ns	-0.29ns	-0.02ns	-0.05ns
Mg	-0.12ns	-0.51ns	-0.19ns	0.34ns	0.23ns
S	0.29ns	0.56ns	0.30ns	-0.01ns	-0.17ns
Cu	0.30ns	0.68 *	0.63 *	-0.19ns	-0.26ns
Zn	0.35ns	0.16ns	0.60 *	-0.36ns	-0.40ns
Fe	0.10ns	-0.04ns	0.04ns	0.31ns	0.28ns
Mn	0.15ns	0.54ns	0.69 *	-0.34ns	-0.42ns
B	0.62 *	-0.00ns	0.11ns	-0.07ns	-0.16ns

(1) ns, no significativo ($p>0.05$); *, $p\leq 0.05$.

4 CONCLUSIONES

- La colonización micorrícica ocurre naturalmente en mandarina 'Oneco' y es variable según el patrón y las fechas del año, aunque generalmente alta, mismo bajo condiciones de niveles adecuados de fósforo en el suelo y altas concentraciones foliares.
- En los períodos más fríos del año, ocurre una reducción de la colonización por HMAs en las raíces de los patrones menos vigorosos como 'Flying Dragon' y 'Volkameriano', asociada a una mayor presencia de esporas en el suelo.
- La densidad de arbusculos de HMAs en las raíces de los patrones se asocia positivamente con el aumento de la concentración foliar de micronutrientes Cu, Zn e Mn.

AGRADECIMIENTOS

Al CNPq, CAPES y FAPERGS, por el apoyo financiero. Á la Bibliotecária de la Facultad de Agronomía de la UFRGS por la revisión en las referencias bibliográficas.

REFERENCIAS

- Antunes, P. M., Franken, P., Schwarz, D., Rillig, M. C., Cosme, M., Scott, M. & Hart, M. M. (2012). Linking soil biodiversity and human health: Do arbuscular mycorrhizal fungi contribute to food Nutrition? In *Soil Ecology and Ecosystem Services* (pp.153-172). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199575923.001.0001>
- Avio, L., Castaldini, M., Fabiani, A., Bedini, S., Sbrana, C., Turrini, A., & Giovannetti, M. (2013). Impact of nitrogen fertilization and soil tillage on arbuscular mycorrhizal fungal communities in a Mediterranean agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.005>
- Back, M. M., Altmann, T., & Souza, P. V. D. (2016). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the vegetative development of citrus rootstocks. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(4), 407-412. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4642180>
- Back, M. M., Fedrizzi, G. & Souza, P. V. D. (2018). Growth and physiology of the citrange ‘Fepagro C37 Reck’ rootstock inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Revista Ceres*, 65(4), 356-363. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865040008>
- Berbara, R. L. L., Souza, F. A., & Fonseca, H. M. A. C. (2006). Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In M. S. Fernandes (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas* (pp. 53-88). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Bergamaschi, H., Melo, R. W., Guadagnin, M. R., Cardoso, L. S., Silva, M. I. G., Comiran, F., Dalsin, F., Tessari, M. L., & Brauner, P. C. (2013). *Boletins agrometeorológicos da Estação Experimental Agronômica da UFRGS: Série histórica 1970 - 2012*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cabello, M. N. (1999). Effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) isolated from hydrocarbon polluted soils. *Journal of Basic Microbiology*, 39(2), 89-95. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4028\(199905\)39:2%3C89::AID-JOBM89%3E3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4028(199905)39:2%3C89::AID-JOBM89%3E3.0.CO;2-D)
- Campo, S., Martín-Cardoso, H., Olivé, M., Pla, E., Catala-Forner, M., Martínez-Eixarch, M., & Segundo, B. S. (2020). Effect of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on growth, productivity and blast resistance in rice. *Rice*, 13, Article 42. <https://doi.org/10.1186/s12284-020-00402-7>
- Chen, Y. Y., Hu C. Y., & Xiao, J. X. (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth, zinc distribution and photosynthesis of two citrus cultivars grown in low-zinc soil. *Trees*, 28, 427–436. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1046-6>
- Fitter, A. H., Helgason, T., & Hodge, A. (2011). Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. *Fungal Biology Reviews*, 25(1), 68-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2011.01.002>

Focchi, S. S., Dal Soglio, F. K., Carrenho, R., Souza, P. V. D., & Lovato, P. E. (2004). Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(5), 469-476. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500009>

Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)

Gonzatto, M. P., Kovaleski, A. P., Brugnara, E. C., Weiler, R. L., Sartori, I. A., Lima, J. G., Bender, R. J., & Schwarz S. F. (2011). Performance of 'Oneco' mandarin on six rootstocks in South Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(4), 406-411. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400010>

Hippler, F. W. R., & Moreira, M. (2013). Dependência micorrízica do amendoinzeiro sob doses de fósforo. *Bragantia*, 72(2), 184-191. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000023>

Jayme, B., & Quigley, M. (2014). Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 24(2), 109-119. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0515-x>

Jenkins, W. R. (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48(9), 692.

Honrubia, M., Torres, P., Diaz, G., & Morte, A. (1993). Biotecnología forestal: micorrización y micropropagación. Universidad de Murcia.

Koch, M., Antunes, P. M., & Klironomos, J. N. (2012). Diversity effects on productivity are stronger within than between trophic groups in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *PLOS ONE*, 7(5), Article e36950. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036950>

Koller, O. C. (2009). Instalação de Pomares. In O. C. Koller (Org.). *Citricultura: Cultura de tangerineiras: Tecnologia de produção, pós-colheita, industrialização* (pp. 353-385). Rígel.

Martínez-Alcántara, B., Rodríguez-Gamir, J., Martínez-Cuenca, M. R., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., & Forner-Giner, M. A. (2013). Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, 27(3), 629-638. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0817-1>

Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier/Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>

Mattos Junior, D., Kadyampakeni, D. M., Oliver, A. Q., Boaretto, R. M., Morgan, K. T., & Quaggio, J. E. (2020). Soil And Nutrition Interactions In M. Talón, M. Caruso, & F. G. Gmitter Jr. (Eds.). *The Genus Citrus* (pp. 311-331). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00015-2>

Melloni, R., & Cardoso, E. J. B. N. (1999). Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e



endófitos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(1), 59-67. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100007>

Menge, J. A., Johnson, E. L. V., & Platt, R. G. (1978). Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytologist*, 81(3), 553–559. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb01628.x>

Moreira, B. C., Prates Junior, P., Jordão, T. C., Silva, M. C. S., Stürmer, S. L., Salomão, L. C., Otoni, W. C., Kasuya, M. C. M. (2016). Effect of inoculation of symbiotic fungi on the growth and antioxidant enzymes activities in the presence of *Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas* in pineapple plantlets. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(10), Article 235. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2247-y>

Moreira, F. M. S., & Siqueira, J. O. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo*. Editora UFLA.

Muller, L. M., & Harrison, M. J. (2019). Phytohormones, miRNAs, and peptide signals integrate plant phosphorus status with arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 50, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.05.004>

Nemec, S. (1992). *Glomus intraradix* effects on citrus rootstock seedling growth in various potting media. *Journal of Agricultural Science*, 118(3), 315-323. <https://doi.org/10.1017/S0021859600070684>

Njeru, E. M., Avio, L., Bocci, G., Sbrana, C., Turrini, A., Barberi, P., Giovanetti, M., & Ohel, F. (2015). Contrasting effects of cover crops on ‘hot spot’ arbuscular mycorrhizal fungal

Ortas, I. (2012). Mycorrhiza in citrus: Growth and nutrition. In A. K. Srivastava (Ed.). *Advances in Citrus Nutrition* (pp. 333-351). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3_23

Ortas, I., & Ustuner, O. (2014). Determination of different growth media and various mycorrhizae species on citrus growth and nutrient uptake. *Scientia Horticulturae*, 166, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.014>

Peng, S., Eissenstat, D. M., Graham, J. H., Williams, K., & Hodge, N. C. (1993). Growth depression in citrus at high-phosphorus supply: analysis of carbon costs. *Plant Physiology*, 101(3), 1063- 1071. <https://doi.org/10.1104/pp.101.3.1063>

Perecin, D., & Cargnelutti Filho, A. (2008). Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(1), 68-72. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000100010>

Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

Porcel, R., Aroca, R., & Ruiz-Lozano, J. M. (2012). Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 181-200. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x>

Riveiro, J., Álvares, D., Flors, V., Azcón-Aguilar, C., & Pozo, M. J. (2018). Root metabolic plasticity underlies functional diversity in mycorrhiza-enhanced stress tolerance in tomato. *New Phytologist*, 220(4), 1322–1336. <https://doi.org/10.1111/nph.15295>

Rouphael, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2015). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviating the adverse effects of acidity and aluminium toxicity in zucchini squash. *Scientia Horticulturae*, 188, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.031>

Rozpádek, P., Węzowicz, K., Stojakowska, A., Malarz, J., Surówka, E., Sobczyk, Ł., Anielska, T., Ważny, R., Miszalski, Z., Turnau, K. (2014). Mycorrhizal fungi modulate phytochemical production and antioxidant activity of *Cichorium intybus* L.(Asteraceae) under metal toxicity. *Chemosphere*, 112, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.023>

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbrreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (5. ed.). Embrapa.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (2016). Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-NRS.

Sbrana, C., Avio, L., & Giovannetti, M. (2014). Beneficial mycorrhizal symbionts affecting the production of health-promoting phytochemicals. *Electrophoresis*, 35(11), 1535-1546. <https://doi.org/10.1002/elps.201300568>

Senna, J. O. A., Stefanutti, R., Donha, R. M. A., & Cardoso, E. J. B. N. (2014). Cinética de absorção com doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares em *Nicotiana tabacum*. *Científica*, 42(3), 294-298. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n3p294-298>

Silva, E. N., Duarte, J. B., & Reis, A. J. S. (2015). Seleção da matriz de variância-covariância residual na análise de ensaios varietais com medidas repetidas em cana-de- açúcar. *Ciência Rural*, 45(6), 993-999. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141531>

Siqueira, J. O., & Franco, A. A. (1988). Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. MEC/ABEAS; ESAL/Faepe. 125-178.

Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846>

Souza, P. V. D. (2000). Interação entre micorrizas arbusculares e ácido giberélico no desenvolvimento vegetativo de plantas de Citrange Carrizo. *Ciência Rural*, 30(5), 783-787. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000500007>

Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). Análise de solo, plantas e outros materiais (2. ed.). Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo (3. ed.). Embrapa.

Torrecillas, E., Alguacil, M. M., & Roldán, A. (2012). Host preferences of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing annual herbaceous plant species in semiarid Mediterranean prairies. *Applied and environmental microbiology*, 78(17), 6180-6186. <https://doi.org/10.1128/aem.01287-12>

Vivas, A., Voros, B., Biró, T., Campos, E., Barea, J. M., & Azcón, R. (2003). Symbiotic efficiency of autochthonous arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*) and *Brevibacillus* sp. isolated from cadmium polluted soil under increasing cadmium levels. *Environmental Pollution*, 126(2), 179-189. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00195-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00195-7)

Watts-Williams, S. J., & Cavagnaro, T. R. (2014). Nutrient interactions and arbuscular mycorrhizas: A meta-analysis of a mycorrhiza-defective mutant and wild-type tomato genotype pair. *Plant and Soil*, 384(1), 79-92. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2140-7>