

Evaluación de *Trichoderma* spp., desinfestación y cincelado del suelo en alfalfa

Dora Acela Rodríguez-Díaz¹

José Alfredo Samaniego-Gaxiola^{2,§}

Miguel Ángel Gallegos-Robles¹

Cirilo Vázquez-Vázquez¹

Aurelio Pedroza-Sandoval³

Yasmin Chew-Madinaveitia²

1 Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Agricultura y Zootecnia. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia, Durango, México. AP. 1-142. CP. 35111. (rodriguezdoraacela@gmail.com; garoma64@hotmail.com; cirvaz60@hotmail.com).

2 Jubilado del Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte, Col. Centro Matamoros, Coahuila, México. CP. 27440. (chew.yazmin@inifap.gob.mx).

3 Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40, Bermejillo, Durango, México. CP. 56230. (apedroza@chapingo.urruza.edu.mx).

Autor para correspondencia: jasg58@gmail.com.

Resumen

El cultivo de alfalfa *Medicago sativa* L. lo limita las pudriciones de la corona (*Rhizoctonia solani*) y texana (*Phymatotrichopsis omnivora*), la salinidad y la compactación del suelo. Para atenuar las pudriciones del cultivo, los objetivos fueron a nivel de laboratorio evaluar métodos de inoculación de *Trichoderma* spp., en semilla de alfalfa y en campo, evaluar parámetros agronómicos y pudriciones de la corona y texana, después de inocular la semilla con *T. harzianum* (T) cincelado profundo del suelo (C) y desinfestación reductiva del suelo (D), las combinaciones C+T, C+D, D+C+T y como testigo (Te) semilla sin inocular y suelo sin tratar. Placas (PDA) de *T. harzianum* de 1, 2, 4, 8 y 10 d de crecimiento se utilizaron para colocar semillas de alfalfa previamente germinadas (Sg) o sin germinar (Sng), después de 17 d, el tamaño y supervivencia de las plántulas de Sng fue mayor a sus correspondientes Sg (Tukey $p < 0.05$). En el campo, el peso y tamaño de plantas de D+C+T vs Te fueron entre (27-35) y (9-3)% mayor, respectivamente, pero sin significancia estadística. Únicamente en un primer muestreo, se detectó un 30% más rendimiento de D+C+T con respecto al Te (Tukey $p = 0.05$). La calidad, rendimiento y plantas por m² de la alfalfa fue similar a lo previamente reportado.

Palabras clave:

endófitos, enfermedades, forrajes, hongos.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

Durante el año 2019, en la región de La Laguna ubicada entre los estados de Coahuila y Durango, el cultivo de alfalfa ocupó 32 000 ha y tuvo un rendimiento en verde de 90.3 t ha⁻¹ (SIAP, 2020). Los factores que limita a este cultivo son la restringida disponibilidad de agua de riego, la elevada conductividad eléctrica del suelo, las enfermedades radiculares y la compactación (Chew-Madinaveitia y Santamaría-César, 2000; Lara-Macías y Jurado-Guerra, 2014).

Las pudriciones de la corona y texana son las enfermedades más habituales y dañinas para la alfalfa; la primera, es causada por los hongos *Fusarium* spp., y *Rhizoctonia solani* Kühn y la segunda, por *Phymatotrichopsis omnivora* Hennebert, 1973. Desde el establecimiento de la alfalfa, estos hongos infectan sus raíces; conforme transcurre el segundo y tercer año, la población y tamaño de las plantas disminuyen por lo que obliga al agricultor a quitar el cultivo (Chew-Madinaveitia y Santamaría-César, 2000).

Para atenuar las pudriciones de las raíces de la alfalfa, sus semillas se pueden inocular con *Trichoderma* spp. (Chew-Madinaveitia y Samaniego-Gaxiola, 2007; Redman *et al.*, 2021). Asimismo, el efecto biótico (plagas, maleza y enfermedades por hongos, bacterias, nematodos) y el abiótico (sequía, temperaturas extremas, pH, salinidad), son atenuados por microorganismos endófitos, donde destaca *Trichoderma* spp. (Lata *et al.*, 2018), estos hongos inducen respuestas sistémicas de defensa y promueven el crecimiento en las plantas, lo hacen a través de la interacción de iniciadores de la expresión génica, que incluye marcas epigenéticas (Morán-Diez *et al.*, 2021).

La desinfestación reductiva del suelo es un método de control de organismos dañinos de las plantas, donde se utiliza la descomposición anaerobia de materia orgánica rica en carbohidratos fácilmente degradables (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2019 b). Por lo cual, los objetivos de este trabajo fueron: i) en el laboratorio, evaluar métodos de inoculación de semilla de alfalfa con *Trichoderma* spp. y sus respuestas en plántulas y ii) en campo, evaluar el rendimiento, sanidad y calidad de la alfalfa en respuesta a tratamientos de semilla inoculada con *T. harzianum* (T), aplicación de cincelado profundo (C), desinfestación reductiva del suelo (D) y algunas de sus combinaciones.

Materiales y métodos

Inoculación de semilla y plántula de alfalfa con *T. harzianum* en laboratorio

Se utilizó semilla de alfalfa comercial Royal Ten[®] procedente de dos bultos de 20 kg c/u, la cual se mezcló, lavó a chorro de agua hasta quitar su recubrimiento, se secó en estufa con flujo de aire a 28 °C y se almacenó a 10 °C hasta su uso según se necesitará. Placas de PDA (preparado con jugo de 100 g de papa, 10 g de dextrosa y 7.5 g de agar por 0.5 L de agua destilada), fueron inoculadas por separado con *T. harzianum* para obtener colonias de 1, 2, 4, 8 y 10 d de crecidas en oscuridad a 28 °C. En cada una de esas placas se colocaron 25 semillas no germinadas (T1-Sng, T2-Sng, T4-Sng, T8-Sng y T10-Sng) o 25 semillas germinadas de tres días (T1-Sg, T2-Sg, T4-Sg, T8-Sg y T10-Sg). Los tratamientos, cada uno con ocho replicas, fueron la semilla germinada o no y colocada en las placas con *T. harzianum*.

El tratamiento control, fue semilla no germinada, desinfectada con NaOCl y colocada en placa con *T. harzianum* de un día de crecido (T1-Sng-NaOCl). Los tratamientos se incubaron a 28 °C, en un régimen de 16 h luz y 8 h oscuridad. Después de tres días de incubar los tratamientos, de cada uno de ellos fueron seleccionadas al azar 10 de las 25 plántulas, que se sembraron en charolas germinadoras de 200 cavidades de 7 cm de profundidad, rellenas con turba Peat moss premier[®]. Las charolas se incubaron a 28 °C con 16 horas luz y 8 oscuridad. Después de incubar las charolas por 3, 7, 10, 14 y 17 d las variables evaluadas fueron la altura y sobrevivencia de las plántulas.

Tratamientos en campo

El trabajo se estableció con un productor de la región en el área agrícola Beta Santa Mónica SPR de RL de CV, 25° 44' 12.6" latitud norte 103° 11' 10.3" longitud oeste, ubicado en el municipio de San

Pedro, Coahuila, México. La siembra se efectuó el día 14 de febrero 2020, con sembradora Brillion a una densidad de siembra de 35 kg ha^{-1} , el manejo del cultivo fue de acuerdo con el productor, excepto para los tratamientos. En una superficie de 0.5 ha se establecieron en bloques al azar siete tratamientos, cada uno con cuatro replicas, cada replica fue una parcela de 11.6 por 15 m.

El tratamiento 1 fue el testigo (Te) y consistió en establecer el cultivo en un suelo con cincelado sencillo, mediante un arado cincel de seis picos a una profundidad de 60 cm. El tratamiento 2 (C) suelo cincelado doble en sentido cruzado. El tratamiento 3 o desinfestación con melaza disuelta en agua (lámina de 7 cm), después la superficie de la parcela se cubrió con plástico durante los siguientes 14 d (Samaniego *et al.*, 2019 a), al tercer día después de aplicar la melaza se descubrió el plástico y se añadieron 2 L de ácido sulfúrico en 3 000 L de agua por parcela, después de los 14 d, se dejó airear el suelo por una semana y se sembró.

En el tratamiento 4 (T), la semilla se inoculó con una solución de 10^8 ufc de *T. harzianum* a razón de 3 ml por cada 20 g de semilla. Los tratamientos 5, 6 y 7 fueron las combinaciones de C+T; C+D y D+C+T, respectivamente. Para tratamientos combinados que incluyeron C o D, primero se cinceló, luego se aplicó la D y al último se sembró.

Las variables agronómicas fueron, la densidad de plantas por m^2 se contabilizó, mediante el recuento al azar de 1 m^2 dentro de cada parcela (repetición). En cada replica, se realizó el corte de la alfalfa, en una superficie de 2 m^2 seleccionada al azar. El peso fresco (t ha^{-1}) de cada corte se registró in situ, y ahí mismo se tomó una muestra de 500 g para determinar en el laboratorio su peso seco (t ha^{-1}) y calidad del forraje: fibra neutra detergente FDN, fibra ácido detergente FAD y proteína en (%) (Rohweder *et al.*, 1978).

Enfermedades en campo

Para cada tratamiento se realizaron dos muestreos de planta en campo, el primero a los 113 y el segundo a los 365 días después de la siembra (dds). En cada muestreo y para cada repetición se extrajeron al azar 20 plantas. En las raíces de cada planta se determinó como variables la incidencia y severidad para la pudrición de la corona, y solo la incidencia para la pudrición texana, ello al observar los cordones sobre la raíz. La severidad de la pudrición de la corona se evaluó con la escala modificada de Chew-Madinaveitia y Santamaría-César (2000), en donde el valor $1 \leq 10$, $2 \geq 10 < 25$ y $3 > 25\%$ de la corona podrida. También se midió la altura de cada planta muestreada y el peso seco de su parte aérea.

Análisis estadísticos

Los resultados del ensayo respuesta de semilla y plántula de alfalfa a *T. harzianum* se analizaron con una Anova (SAS Institute Inc., 2000), en un diseño completamente al azar. Los datos de los ensayos de campo se analizaron con una Anova en un diseño de bloques al azar; los resultados de las dos fechas de muestreo se analizaron por separado. Cuando el valor de F fue significativo ($p < 0.01$), las medias se compararon con Tukey $p < 0.05$.

Resultados y discusión

Inoculación de semilla y plántula de alfalfa con *T. harzianum* en laboratorio

Las placas con *T. harzianum* permitieron una germinación de la semilla de alfalfa de 96 al 100%, excepto el tratamiento T1-Sng-NaOCl con 93%. La supervivencia de las plántulas que se establecieron en Peat moss se indica en el Cuadro 1. Durante los 17 días de evaluación sólo las plántulas los tratamientos T1-Sng y T1-Sng-NaOCl, disminuyeron paulatinamente su sobrevivencia.

Cuadro 1. Supervivencia (%) de las plántulas de alfalfa de 3 a 17 d. Donde la semilla o plántula se expusieron a tratamientos y se combinaron germinación o no de la semilla y su contacto con *T. harzianum*.

Tratamientos	Días después de plantadas				
	3	7	10	14	17
T1-Sg	98.8 a	92.5 a	92.5 a	91.3 a	83.8 b
T2-Sg	98.8 a	92.5 a	92.5 a	91.3 a	82.5 b
T4-Sg	96.3 a	92.5 a	92.5 a	92.5 a	87.5 b
T8-Sg	98.8 a	98.8 a	98.8 a	98.8 a	98.8 a
T10-Sg	98.8 a	98.8 a	97.5 a	96.3 a	93.3 a
T1-Sng	100 a	86.3 b	86.3 b	86.3 b	66.3 c
T2-Sng	98.8 a	96.3 a	95 a	95 a	95 a
T4-Sng	98.8 a	96.3 a	96.3 a	96.3 a	93.3 a
T8-Sng	100.0 a	100 a	100 a	100 a	100 a
T10-Sng	98.8 a	96.3 a	92.5 a	91.3 a	91.3 a
T1-Sng-NaOCl	92.5 a	63 c	63 c	63 c	47.1 d

T1, T2, T4, T8 y T10= crecimiento de la colonia de *T. harzianum* por 1, 2, 4, 8 y 10 días, respectivamente, antes de colocar la semilla; Sg y Sng, semilla germinada o no, respectivamente, antes de colocarla sobre la colonia del hongo. T1-Sng-NaOCl = semillas no germinadas, que permanecieron 10 min en NaOCl antes de colocarlas sobre la colonia de *T. harzianum*. Números seguidos de la misma letra dentro de la columna, denotan que no hay diferencia significativa según la prueba de separación de medias (Tukey $p < 0.05$).

La altura de plántulas a los 17 d fue significativa mayor (Tukey $p < 0.05$) en los tratamientos de semilla no germinada (Sng) colocada en placas de 2, 4 y 8 días de crecimiento de *T. harzianum*, las alturas de las plántulas fueron en un intervalo de 73 a 77.4 mm, lo que contrastó con la altura de las plántulas con el tratamiento T1-Sg que fue de 28.1 mm (Cuadro 2). La sobrevivencia de la semilla del 100% coincidió con el mayor tamaño de plántula (77.4 mm a los 17 d) lo que ocurrió en el tratamiento T8-Sng, esta concordancia en germinación y tamaño de plántula se repitió en los tratamientos T2-Sng y T4-Sng (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 2. Alturas de las plántulas (mm) de alfalfa de 3 a 17 d. Donde semilla o plántula se expusieron a tratamientos y se combinaron germinación o no de la semilla y su contacto con *T. harzianum*.

Tratamientos	Días después de plantadas				
	3	7	10	14	17
T1-Sg	6.3 c	12.4 c	18.4 c	24.6 d	28.1 d
T2-Sg	7.3 c	14.4 c	21.6 c	28.6 c	34 c
T4-Sg	8.8 c	17.3 ab	25.9 bc	34.4 bc	42.3 b
T8-Sg	6.8 c	13.5 c	20.1 c	26.8 c	33.9 b
T10-Sg	9.3 c	18.3 ab	27.4 bc	36.4 bc	48.6 b
T1-Sng	12.5 b	11.4 c	23.1 c	30.4 c	41.5 b
T2-Sng	20.7 a	23 a	46.2 a	61.4 a	73 a
T4-Sng	22.6 a	21.8 a	43.8 a	58.4 a	74.6 a
T8-Sng	27.5 a	16.9 ab	33.8 b	45 b	77.4 a
T10-Sng	10 c	18.1 ab	35.9 a	47.5 b	45.3 b
T1-Sng-NaOCl	7.5 c	11.5 c	22.8 c	30.5 c	41 b

T1, T2, T4, T8 y T10= crecimiento de la colonia de *T. harzianum* por 1, 2, 4, 8 y 10 días, respectivamente, antes de colocar la semilla; Sg y Sng, semilla germinada o no, respectivamente, antes de colocarla sobre la colonia del hongo. T1-Sng-NaOCl = semillas no germinadas, que permanecieron 20 min en NaOCl antes de colocarlas sobre la colonia de *T. harzianum*. Números seguidos de la misma letra dentro de la columna, denotan que no hay diferencia significativa según la prueba de separación de medias (Tukey $p < 0.05$).

Por lo general, *Trichoderma* spp., estimula a la vez, la germinación y crecimiento de plantas cultivadas (Stewart y Hill, 2014). Sin embargo, los tratamientos de semilla germinada (Sg) y T1-Sng-NaOCl tuvieron los menores tamaños de plántula a los 17 d en comparación a la semilla no germinada (Sng), lo que sugiere que el desarrollo de las plántulas se ve desfavorecido por la germinación de la semilla y su posterior contacto con *T. harzianum*, así como la desinfección con NaOCl.

Aunque, el tamaño de plántula se incrementó en tratamientos Sng con *T. harzianum*, no ocurrió en T1-Sng y T10-Sng donde la semilla de alfalfa podría ser afectada negativamente por compuestos generados por este hongo, de manera temprana (1 d) o tardía (10 d) (Cuadro 2); esta idea es apoyada por los resultados de Schweiger *et al.*, (2021) quienes determinaron que las semillas de maíz inoculadas con *Trichoderma virens* endófito, generaron plántulas y raíces de menor tamaño que las no inoculadas, ello se atribuyó a competencia por nutrimentos y producción de metabolitos tóxicos del hongo hacia la plántula.

En suma, las respuestas de las plántulas *T. harzianum*, están dadas por la edad del inóculo en la placa, la germinación o no de la semilla y la desinfección de la semilla con NaOCl. Semillas de pimiento y tomate no desinfectadas e inoculadas con endófitos de *Trichoderma* spp., se encontró que incrementaron su tamaño de raíz y plántula en comparación con semillas no inoculadas (Moin *et al.*, 2021; Rokni *et al.*, 2021), en contraste, semillas de maíz y soya (*Glycine max*) desinfectada con NaOCl disminuyeron su tamaño de raíz y plántula en comparación a semillas no desinfectadas (Bilal *et al.*, 2020; Schweiger *et al.*, 2021).

Para Figueiredo dos Santos *et al.* (2021) el NaOCl utilizado para desinfectar la semilla de maíz reduce la población de bacterias necesarias para germinar e incrementar el crecimiento de sus raíces. Acorde a Schweiger *et al.* (2021), plántulas más pequeñas de maíz se deben a cambios metabólicos provocados por *T. virens* endófito, lo que se traducirá en plantas más pequeñas. Los resultados de esta investigación también mostraron que la dinámica de plántulas pequeñas los 3 d permanece hasta los 17 d, (Cuadro 2).

Evaluación en campo

Para la pudrición de la corona, únicamente hubo diferencia entre tratamientos de incidencia y severidad del segundo muestreo (Tukey $p < 0.05$), el tratamiento testigo tuvo la menor incidencia con 61.3%, lo cual fue similar a lo previamente reportado (62%) en alfalfares de un año (Chew-Madinaveitia y Santamaría-Cesar, 2000); sin embargo, el resto de los tratamientos superaron el 80% de incidencia (Cuadro 3). Mientras, el menor valor de severidad de la pudrición de la corona fue en el tratamiento C+D con 1.4, que contrastó con los tratamientos testigo, S y T cuyos valores fueron ≥ 2 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Incidencia, severidad, peso y altura de plantas de alfalfa después de aplicar tratamientos contra las pudriciones de la corona y texana.

Tratamientos	Pudrición de la corona incidencia (%) severidad ^ε muestreos ^{††}				Pudrición texana incidencia (%)				Peso (g)		Altura (cm)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Te	81.3 ns	61.3 a	1.1 ns	2.1 a	0 ns	12.5 ns	14.5 ns	34.2 ns	38.5 ns	61.9 ns		
C	78.8 ns	80 ab	1.1 ns	2.2 a	0 b	8.8 ns	12.5 ns	33.9 ns	34.7 ns	58.3 ns		
D	77.5 ns	83.8 ab	1 ns	1.6 a	3.7ab	12.5 ns	15.7 ns	47.3 ns	47.3 ns	64.5 ns		
T	75 ns	88.8 b	1.1 ns	2.0 a	0 b	11.3 ns	12.7 ns	44.9 ns	39 ns	64.2 ns		
C+T	80 ns	87.5 b	1.1 ns	1.9 a	0 b	5 ns	12.9 ns	38.9 ns	36.9 ns	63.5 ns		
C+D	80 ns	91.3 b	1.1 ns	1.4 b	0 b	0 ns	13.2 ns	49.5 ns	37 ns	63.3 ns		
D+C+T	82.5 ns	88.8 b	1.1 ns	1.6 b	7.5 a	12.5 ns	19.9 ns	52.9 ns	42.1 ns	63.9 ns		
Promedio	79.3	83	1.1	1.5	1.6	8.9	14.5	43.1	39.3	62.8		

Te= testigo; C= cincelado; D= desinfección anaerobia del suelo; T= *T. harzianum* en semilla; C+T, C+D y C+T+D= combinaciones de los tres anteriores; ^{††}= muestreos 1 y 2, 113 y 365 dds, respectivamente; ^ε= escala 1 y 2 $\leq 10\%$ y $>10 < 25$ de raíz podrida, respectivamente; ns= estadísticamente no significativo. Números con distintas letras indican medias estadísticamente distintas (Tukey $p < 0.05$).

Los tratamientos (C, T y D) favorecen la degradación de los residuos de cosecha después de cada corte de alfalfa, aunado a la fertilización inicial de 185 kg ha^{-1} de nitrógeno que el agricultor aplicó; ambos, residuos de cosecha y nitrógeno aplicado, son factores que favorecen la incidencia de enfermedades provocadas por *R. solani* (Papavizas *et al.*, 1975; Mayer, 2002; Bonanomi *et al.*, 2007). Si bien, algunos residuos orgánicos pueden inhibir a *R. solani* y las enfermedades que causa (Kasuya *et al.*, 2006).

La incidencia de pudrición texana fue significativa (Tukey $p < 0.05$) solo durante el primer muestreo, en donde D y D+C+T fueron los únicos tratamientos donde se detectaron plantas con esta enfermedad. En el segundo muestreo, la incidencia de pudrición texana fue marginal, aunque el tratamiento C+D no manifestó plantas con síntomas. Para ambos muestreos, los pesos de las plantas entre tratamientos no fueron estadísticamente diferentes, los pesos del primero y segundo muestreo oscilaron de 12.5 a 19.9 y de 33.9 a 52.9 g, respectivamente.

La altura de las plantas tampoco fue significativa en ambos muestreos, su fluctuación para el primero y segundo muestreo fue de 34.7 a 47.3 y de 58.3 a 64.5 cm, respectivamente (Cuadro 3). Aunque no hubo significancia estadística del peso y altura entre tratamientos, se observaron las siguientes tendencias: i) el tratamiento D+C+T tuvo el mayor peso de plantas, 27 y 35% más que el testigo para el primer y segundo muestreo, respectivamente y ii) lo mismo ocurrió para la altura de las plantas, pero solo 9 y 3% para el primer y segundo muestreo, respectivamente.

En campo, los resultados de Chew-Madinaveitia y Samaniego-Gaxiola (2007), revelaron mayor densidad de plantas por m^2 de semilla de alfalfa inoculada con *Trichoderma* spp. que, en semilla no inoculada, pero tal efecto se perdió después de seis meses de establecido el cultivo, en este trabajo no se detectó diferencia en plantas por m^2 a los cuatro meses (Cuadro 3).

En el primer muestreo, el rendimiento de la alfalfa en todos los tratamientos superó al testigo (2.34 t ha^{-1}), pero el tratamiento D+C+T (3.36 t ha^{-1}) fue significativo (Tukey $p < 0.05$), esa diferencia representó un incremento en rendimiento del ~30%. Redman *et al.* (2021), detectaron un incremento de 5% en rendimiento de la alfalfa, evaluado durante cuatro años, en 75 ensayos, con semilla inoculada con *T. harzianum* y cultivo establecido en condiciones de estrés moderado, pero un incremento promedio del 50% en rendimiento en trigo y maíz establecida bajo condiciones de estrés severo.

El agua de riego utilizada para la alfalfa en este trabajo osciló de 7.2 a 4.3 dS m^{-1} , la CE del suelo de 7 dS m^{-1} , aunado nueve cortes en el primer año, se pueden considerar factores de estrés para el cultivo, lo que explicaría en parte hasta el 30% de incremento en rendimiento mencionado en el primer muestreo. Sin embargo, para el segundo muestreo, se detectó ~9% más rendimiento entre el tratamiento T vs Te, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa (Cuadro 4).



Cuadro 4. Características del cultivo y de calidad de la alfalfa después de aplicar tratamientos para el control de las pudriciones de la corona y texana.

Tratamientos	Plantas m ⁻² en muestreos 1, 2			Rendimiento (t ha ⁻¹) muestreos 1, 2			Proteína, FAD, FND muestreo 1			Proteína, FAD, FND muestreo 2	
Te	391 ns	Nd	2.3 b	4.3 ns	15.8 ns	23.7 ns	34.6 ab	14 c	21.9 ns	31.4 ab	
C	263 ns	Nd	2.6 ab	4.1 ns	16.2 ns	21.5 ns	33.8 ab	18.4 ab	22.4 ns	33.5 ab	
D	366 ns	Nd	2.3 b	4.6 ns	14.42ns	21.4 ns	31.7 b	13.5 c	26.2 ns	35.4 a	
T	320 ns	Nd	2.8 ab	4.6 ns	15.9 ns	21.4 ns	35.5 ab	21.1 a	21.1 ns	28.5 b	
C+T	285 ns	Nd	2.8 ab	4.1 ns	14.4 ns	23.6 ns	36.2 ab	18.1 ab	21.9 ns	30.5 ab	
C+D	353 ns	Nd	2.4 b	4.3 ns	16.4 ns	23.7 ns	34.2 ab	16 bc	24.7 ns	30.6 ab	
D+C+T	363 ns	Nd	3.4 a	3.8 ns	13.9 ns	26.6 ns	36.9 a	15.3 bc	21.7 ns	34.1 a	
Promedio	334	Nd	2.7	4.3	15.3	23.1	34.7	16.6	22.8	32	

Te= testigo; S= cincelado; D= desinfestación anaerobia del suelo; T= *T. harzianum* en semilla; C+T, C+D y C+T+D= combinaciones de los tres anteriores; muestreos 1 y 2, 113 y 365 dds, respectivamente; escala 1 y 2 $\leq 10\%$ y $>10 < 25$ de raíz podrida, respectivamente; ns= estadísticamente no significativo; Nd= no determinado. ϵ = proteína cruda (%); ϵ = fibra ácido detergente (%); ϵ = fibra neutro detergente (%). Números con distintas letras indican medias estadísticamente distintas (Tukey $p < 0.05$).

La calidad de la alfalfa entre tratamientos únicamente fue significativa (Tukey $p < 0.05$) para FND en el primer muestreo y proteína en el segundo muestreo. En general, la calidad de la alfalfa fue excelente para FAD y FND y aceptable para la proteína de acuerdo con Nuñez (2000).

Resultados de Rush y Lyda (1984), indican que después del cincelado profundo, la incidencia de pudrición texana fue ~50% menor y ~90% mayor el rendimiento de algodón, en comparación al no cincelado.

La alfalfa se considera un excelente cultivo para ranurar el suelo (biocincelado) Zhang y Peng (2021), lo que aunado a un manejo óptimo de la raíz-rizosfera podría optimizar el manejo de este cultivo, incluyendo tratamientos para las pudriciones de la corona y texana. Optimizar el manejo de la raíz-rizosfera, ha conducido a disminuir casi dos tercios el nitrógeno aplicado para producir la misma cantidad de maíz, incrementar el tamaño y volumen de raíces, en comparación al método tradicional (Shen *et al.* 2013).

En añadidura, al ser el rendimiento de la alfalfa la suma de factores como las pudriciones, compactación, fertilización y calidad del agua y suelo, al mejorar los tres últimos, se esperaría una respuesta más favorable de los tratamientos evaluados en nuestro trabajo.

La cepa evaluada en este trabajo, mostró ser endófito del cultivo de melón (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2021), pero ello no se evaluó en este trabajo. Futuros trabajos podrían evaluar cepas o aislados de endófitos de *Trichoderma* spp. u otros hongos.

Conforme a Harman *et al.* (2021), indican que *Trichoderma* spp., endófitos, con especificidad a la planta y región, confieren tolerancia a estrés abiótico y biótico en cultivos agrícolas. La desinfestación reductiva del suelo (D) implementada en este trabajo, se realizó durante el invierno, donde la temperatura del suelo a 20 cm fue alrededor de 20 °C, es probable que con mayor temperatura del suelo se tenga mejor control de las pudriciones de la alfalfa. La (D) se ha implementado para una gama amplia de cultivos, utilizando distintos sustratos y a temperaturas del suelo entre 17 a >30 °C (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2019b).

Conclusiones

Dependiendo de la edad de la colonia de *T. harzianum*, antes de entrar en contacto con la semilla germinada o sin germinar, afectó positiva o negativamente la sobrevivencia y tamaño de las plántulas a los 17 d (Tukey $p < 0.05$).

En campo, solo durante el primer muestreo los rendimientos de los tratamientos fueron superiores al testigo, destacó D+C+T que fue ~30% más que el testigo. El tratamiento testigo de la alfalfa de un año, tuvo una incidencia menor de pudrición de la corona (61%) (Tukey $p < 0.05$), que el resto de los tratamientos (~80%). La altura y peso de las plantas de alfalfa no mostraron diferencia estadística.

El número de plantas por m² y la calidad de la alfalfa (proteína, FAD y FND) estuvieron dentro de los parámetros considerados de una alfalfa de calidad. Las condiciones del manejo comercial del alfalar donde se efectuó el trabajo, como lo fueron cortes frecuentes el primer año, la CE del suelo de 7 dS m⁻¹ y la fertilización inicial de 185 unidades de nitrógeno, se puede considerar favorables para las pudriciones de la corona y texana.

Agradecimientos

Los autores(as) agradecen a los Ing. Antonio Muñoz Vázquez y Edgar Ramírez Horta, por el apoyo logístico, insumos, personal y parcela que se nos proporcionó, sin lo cual este trabajo no podría haberse realizado.

Bibliografía

- 1 Bilal, S.; Shahzad, R.; Imran, M.; Jan, R.; Kim, K. M. and Lee, I. J. 2020. Synergistic association of endophytic fungi enhances *Glycine max* L. resilience to combined abiotic stresses: Heavy metals, high temperature and drought stress. *Industrial Crops and Products*. 143:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111931>.
- 2 Bonanomi, G.; Antignani, V.; Pane, C. and Scala, F. 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*. 89(3):311-324. <https://www.jstor.org/stable/41998409>.
- 3 Chew-Madinaveitia, Y. y Samaniego-Gaxiola, J. A. 2007. Tratamiento a la semilla de alfalfa *Medicago sativa* L. con *Trichoderma* sp. para el manejo de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp. *Agrofaz*. 7(1):51-56. <http://agrofaz.net/index.php/agrofaz>.
- 4 Chew-Madinaveitia, Y. and Santamaría-César, J. 2000. Estimation of losses caused by crown rot of alfalfa *Medicago sativa* L. in the Comarca Lagunera North of Mexico. *ITEA. Información Técnica Económica Agraria*. 96(3):165-172. <https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2000/96V-3/96V-3-02.pdf>.
- 5 Figueiredo dos Santo, L.; Fernandes-Souta, J.; Paula-Soares, C.; Oliveira-Rocha, L.; Luiza, Carvalho-Santos, M.; Grativol-Gaspar, C.; Fernando-Wurdig, R. L. and Lopes-Olivares, F. 2021. Insights into the structure and role of seed-borne bacteriome during maize germination. *FEMS Microbiology Ecology*. 97(4):1-13. <http://orcid.org/0000-0001-6541-0324>.
- 6 Harman, G. E.; Doni, F.; Khadka, R. B. and Uphoff, N. 2021. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. *Journal of applied microbiology*. 130(2):529-546. <https://doi.org/10.1111/jam.14368>.
- 7 Kasuya, M.; Olivier, A. R.; Ota, Y.; Tojo, M.; Honjo, H. and Fukui, R. 2006. Induction of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* by incorporation of dried plant residues into soil. *Phytopathology*. 96(12):1372-1379. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-1372>.
- 8 Lara-Macías, C. R. y Jurado-Guerra, P. 2014. Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua. Centro de Investigación Regional Norte Centro- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Chihuahua, México. Folleto técnico núm. 52 . 48 p. <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0010Alfalfa.pdf>.
- 9 Lata, R.; Chowdhury, S.; Gond, S. K. and White, J. F. 2018. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. *Letters in applied microbiology*. 66(4):268-276. <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/lam.12855>.

- 10 Mayer, K. M. 2002. Impact of nitrogen management strategies on yield, N-use efficiency, and *Rhizoctonia* diseases of Irish potato. A thesis North Carolina State University Master of Science. 90 p. <https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.16/113/etd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- 11 Moin, S.; Rahman, A.; Parveen, G.; Korejo, F.; Shafique, H. A.; Zehra, R. and Ehteshamul-Haque, S. 2021. Amelioration of systemic resistance in tomato against root rotting fungi by the endophytic *Trichoderma* species. Pakistan Journal of Botany. 53(1):321-327. <http://www.pakbs.org/pjbot/papers/1610615318.pdf>.
- 12 Morán-Díez, M. E.; Martínez-Alba, Á. E.; Rubio, M. B.; Hermosa, R. and Monte, E. 2021. *Trichoderma* and the plant heritable priming responses. Journal of Fungi. 7(4):318-341. <https://www.mdpi.com/2309-608X/7/4/318/pdf>.
- 13 Núñez, H. G. 2000. Valor nutritivo de la alfalfa. In: producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. INIFAP. Matamoros, Coahuila, México. Libro técnico núm. 2. 93-102 pp. <http://www.inifap-nortecentro.gob.mx/include/container-usuario.php>.
- 14 Papavizas, G. C.; Adams, P. B.; Lumsden, R. D.; Lewis, J. A.; Dow, R. L.; Ayers, W. A. and Kantzes, J. G. 1975. Ecology and epidemiology of *Rhizoctonia solani* in field soil. Phytopathology. 65(8):871-877. <https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1975Articles/Phyto65n08-871.pdf>.
- 15 Redman, R. S.; Kim, Y. O.; Cho, S.; Mercer, M.; Rienstra, M.; Manglona, R. and Rodriguez, R. J. 2021. A Symbiotic approach to generating stress tolerant crops. Microorganisms. 9(5):920-947. <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/5/920/pdf>.
- 16 Rohweder, D.; Barnes, R. F. and Jorgensen, N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal of Animal Science. 47(3):747-759. <https://doi.org/10.2527/jas1978.473747x>.
- 17 Rokni, N.; Alizadeh, H. S.; Bazgir, E.; Darvishnia, M. and Mirzaei-Najafgholi, H. 2021. The tripartite consortium of *Serendipita indica*, *Trichoderma simmonsii*, and bell pepper (*Capsicum annum*). Biological Control. 158(7):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104608>.
- 18 Rush, C. M. and Lyda, S. D. 1984. Evaluation of deep-chiseled anhydrous ammonia as a control root for *Phymatotrichum* root rot of cotton. Plant Disease. 68(4):291-293. <https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/documents/1984articles/plantdisease68n04291.pdf>.
- 19 Samaniego-Gaxiola J. A.; Pedroza-Sandoval, A.; Chew-Madinaveitia, Y. y Gaytán-Mascorro, A. 2019a. Reductive disinfestation, soil desiccation and *Trichoderma harzianum* to control *Phymatotrichopsis omnivora* in pecan tree nursery. Revista Mexicana de Fitopatología. 37(2):287-303. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1808-7>.
- 20 Samaniego-Gaxiola, J. A.; Chew-Madinaveitia, Y.; Gaytán-Mascorro, A. y Pedroza-Sandoval, A. 2019b. Biological, anaerobic and reductive soil disinfestation to the soil for control of harmful organisms to plants. Revista Mexicana de Fitopatología. 37(1):115-134. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1810-1>.
- 21 Samaniego-Gaxiola, J. A.; Chew-Madinaveitia, Y. y Gaytán-Mascorro, A. 2021. Comportamiento del melón inoculado con *Trichoderma harzianum*. In: memorias XXXIII Semana Internacional de Agronomía. Vencia, Durango, México. 25-29 pp. <https://scipatform.org/siaxxxiii/>.
- 22 SAS Institute Inc. 2000. The SAS system for windows version 9.0. North Carolina. SAS Institute Inc. Cary.
- 23 Shen, J.; Li, C.; Mi, G.; Li, L.; Yuan, L.; Jiang, R. and Zhang, F. 2013. Maximizing root/rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. Journal of Experimental Botany. 64(5):1181-1192. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers342>.

- 24 SIAP. 2020. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/ProduccionAgricola/Cierre-agricola-mun-2019.csv>.
- 25 Schweiger, R.; Padilla-Arizmendi, F.; Nogueira-Lopez, G.; Rostás, M.; Lawry, R.; Brown, C. and Mendoza-Mendoza, A. 2021. Insights into metabolic changes caused by the *Trichoderma virens*-maize root interaction. Molecular Plant-Microbe Interactions. 34(5):524-537. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/MPMI-04-20-0081-R>.
- 26 Stewart, A. and Hill, R. 2014. Chapter 31. Applications of *Trichoderma* in plant growth promotion. Biotechnology and biology of *Trichoderma*. Elsevier. 415-428 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00031-X>.
- 27 Zhang, Z. and Peng, X. 2021. Bio-tillage: a new perspective for sustainable agriculture. Soil and Tillage Research. 206(2):1-9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720306267>.



Evaluación de *Trichoderma* spp., desinfestación y cincelado del suelo en alfalfa

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 July 2025
Publication date: 25 July 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3082
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3082

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

endófitos
enfermedades
forrajes
hongos.

Counts

Figures: 0
Tables: 4
Equations: 0
References: 27
Pages: 0