



PRODUCCIÓN DE FORRAJE A BASE DE TRITICALE (*X. triticosecale* Wittmack) EN SUELO NITISOL FERRÁLICO LÍXICO, CON DOSIS VARIABLES DE NITRÓGENO E INOCULACIÓN CON HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Forage production based on triticale (*X. triticosecale* Wittmack) in Lixic Ferralic Nitisol soil with varying nitrogen doses and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation

Rodolfo R. Plana Llerena[✉], Pedro J. González Cañizares, Ramón Rivera Espinosa, Mario Varela Nualles y Marta A. Álvarez Gil

ABSTRACT. An experimental work was carried out at "Niña Bonita" Pasture and Forage Station of Bauta, in order to achieve high forage production based on triticale by using minimum nitrogen doses. It was made on a Lixic Ferralic Nitisol with arbuscular mycorrhizal fungal inoculations (AMF). Treatments consisted of AMF inoculation and non-inoculation as well as varying N doses (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg ha⁻¹), with a fixed bottom of 54 and 70 kg ha⁻¹ of phosphorus and potassium, respectively. Evaluations were performed to leaf rates (% N, % P and % K), fungal variables, N, P and K extraction (kg ha⁻¹), raw protein (%), mycorrhizal efficiency (%), dry forage mass (kg ha⁻¹), apparent recovery efficiency (kg kg⁻¹) and partial factor productivity, besides using ANOVA statistical analyses with one-way classification model to the original data. In every case, the best fitting models (dose-yield) were chosen to estimate optimal N doses with and without AMF, followed by the first derivative criteria to find the respective optimum ones. Results showed that AMF application allows reducing N doses to 50 and 100 kg ha⁻¹, achieving a dry mass production of 6185 kg ha⁻¹ with 11,75 % raw protein; leaf rates of 1,94 % N, 0,23 % P and 30 % K, indicating the adequate forage quality produced.

Key words: forage, vesicular arbuscular mycorrhizae, nutrition, cereals

RESUMEN. Con el objetivo de lograr producciones altas de forraje a base de triticale, empleando dosis mínimas de Nitrógeno, se desarrolló un trabajo experimental en la Estación de Pastos y Forrajes "Niña Bonita", Bauta, en suelo Nitisol Ferrálico Lixico, basado en inoculaciones con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Los tratamientos fueron con y sin inoculación de HMA y dosis variables de nitrógeno (0, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 kg ha⁻¹), con fondos fijos de 54 y 70 kg ha⁻¹ de fósforo y potasio, respectivamente. Se evaluaron los índices foliares (% N, % P y % K), variables fúngicas, extracción de N, P y K (kg ha⁻¹), proteína bruta (%), eficiencia micorrízica (%), masa seca forraje (MS) en kg ha⁻¹, Eficiencia Aparente de Recuperación (ER_N) (kg kg⁻¹) y el Factor Parcial de Productividad (FPP). Los análisis estadísticos se realizaron mediante ANOVA, con modelo de clasificación simple al dato original. Para la estimación de las dosis óptimas de nitrógeno con y sin HMA se escogieron los modelos de mejor ajuste (dosis-rendimiento) en cada caso y seguidamente, se utilizó el criterio de la primera derivada para encontrar los óptimos respectivos. Los resultados mostraron que la aplicación de HMA permite reducir las dosis de nitrógeno a 50 y 100 kg ha⁻¹, lográndose una producción de masa seca de 6185 kg ha⁻¹, con proteína bruta de 11,75 %; índices foliares de 1,94 % N, 0,23 % P y 30 % K, lo cual indica la adecuada calidad, del forraje producido.

Palabras clave: forraje, micorrizas arbusculares vesiculares, nutrición, cereales

INTRODUCCIÓN

La producción de alimento animal en Cuba, es una de las prioridades alimentarias que urgen a la ganadería, para lograr mayores producciones de leche y carne para el consumo humano. En este sentido, la

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

✉ plana@inca.edu.cu

producción de forraje tiene una alta prioridad, sobre todo, proveniente de cultivos herbáceos, pero esta necesidad se acrecienta durante el periodo seco, donde escasea el alimento para el ganado proveniente de los pastizales, dado las condiciones climáticas para este periodo.

En este sentido, el cultivo de cereales temporales que crecen y se desarrollan favorablemente en esta época, para las condiciones de Cuba, resulta una opción para el periodo poco lluvioso. Estos cultivos tienen capacidad de producir altos volúmenes de biomasa, que puede ser utilizada, tanto para forrajes (en masa verde y seca), como para granos en la producción de agregados (piensos, harinas y otros compuestos).

En Cuba, existen materiales genéticos de los diferentes géneros y especies de cereales que son importantes para la nutrición humana y animal (1). Entre las especies estudiadas se encuentran el trigo y el triticale, con los que es posible alcanzar altos rendimientos y calidad del grano y la biomasa (2). Se considera que el triticale representa una valiosa alternativa, debido a su elevada producción de biomasa y rendimiento de grano, para la producción de alimento animal (3, 4) y supera al trigo en producción de biomasa, mayor resistencia a las enfermedades foliares y a condiciones marginales de producción (5).

En la producción de estos cereales, como el trigo, la fertilización nitrogenada es una práctica habitual, ya que el nitrógeno (N) es uno de los macro-nutrientes más importantes que incrementan significativamente el crecimiento y rendimiento de estos (6). Cabe destacar el uso indiscriminado que se hace de este nutriente (N), a escala global, que se refleja en el ascenso del uso del nitrógeno sintético (7), lo cual ocasiona daños al ambiente y encarece la producción. Esto podrá evitarse adquiriendo información local, para definir la dosis mínima de este nutriente, que responda al máximo beneficio económico (8).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son asociaciones mutualistas altamente evolucionadas entre los hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares, que al colonizar las raíces de las plantas hospedadoras, promueven su crecimiento y una mejor absorción de los nutrientes, pudiendo mejorar el rendimiento de una amplia gama de cultivos agrícolas (9). Si bien los efectos por la absorción de fósforo por los HMA, en asociación con plantas son bien conocidos, la relevancia de estos para la absorción de otros nutrientes (N, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn) ha sido menos investigada (10). Otros estudios dan cuenta sobre el efecto positivo de los HMA, sobre el crecimiento, la productividad y la calidad del grano en el cultivo del trigo, en relación con los tratamientos no micorrizados (11). A su vez, en el cultivo del triticale en zonas del mediterráneo, hay informes de

la respuesta agronómica, económicamente viable en la producción de forraje y granos con bajas dosis de fertilizantes minerales al utilizar los HMA (3).

Lo expuesto indica que el empleo de los HMA podría ser un complemento al empleo de los fertilizantes minerales en la producción de forraje en zonas tropicales, durante el periodo seco, con la finalidad de reducir la dosis de los fertilizantes minerales, sin disminuir la producción y calidad de la biomasa para el alimento animal. Esto, además de reducir los costos de la producción, mejora la biota del suelo y la sostenibilidad del ecosistema agrícola (9).

Por lo anterior, se decidió ejecutar la presente investigación con el objetivo de determinar la dosis de fertilizantes mínima con inoculación de HMA que posibiliten obtener producciones altas de forraje, con calidad nutricional, mediante el empleo de un cultivar de triticale adaptado a la producción en condiciones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrollaron dos experimentos, con fechas de siembra en diciembre de 2008 y 2009 y cosechas en marzo de 2009 y 2010, respectivamente. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el cultivar cubano de triticale (*X. triticosecale* Wittmack) INCA TT-7 (12).

El lugar de ejecución de los experimentos fue la Empresa Pecuaria Genética (EPG) "Niña Bonita", del municipio Bauta, provincia Artemisa. El sitio experimental fue la micro estación de pastos y forrajes de la EPG, ubicada sobre suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (13), correspondiente a un Nitisol Ferralítico Lítico (NFL), Eutricto, Ródico, según el World Reference Base (14).

Las principales características químicas del suelo en el horizonte cultivable (0-20 cm), previo a la siembra, se exponen en la Tabla I. Se determinó la cantidad de esporas de hongos micorrízicos arbusculares residentes en el área experimental (15), la cual fue de 80,75 esporas de HMA 50 g⁻¹ de suelo. Para la caracterización química del suelo pH, materia orgánica (MO), P₂O₅, cationes intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) y capacidad de cambio de bases (CCB) se siguieron las técnicas analíticas establecidas por el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (16).

La pluviometría de la EPG "Niña Bonita" fue 1261 mm, donde el 83,1 % fue durante el periodo lluvioso y el 16,9 % (de noviembre a abril) en el periodo poco lluvioso, meses donde se desarrollaron los dos experimentos. Se observó una temperatura media de 21,77 °C y la humedad relativa promedio de 73,91 % (17).

Tabla I. Características químicas y contenido de esporas residentes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) del suelo

pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹)				CCB (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	No. esporas HMA 50 g ⁻¹ de suelo
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
6,7	3,16	13	10,6	3,3	0,16	0,22	14,28	80,75

La preparación del suelo del área experimental se realizó mediante una secuencia de labores que consistieron en roturación (arado), grada, cruce (arado) y grada, a intervalos aproximados de 20 días entre cada una. El experimento recibió riegos por aspersión, con una norma de 350 m³ ha⁻¹, que se aplicaron inmediatamente después de la siembra y cada 15 días durante el desarrollo del cultivo.

La especie de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) utilizada en los experimentos fue *Glomus cubense* sp., recientemente reclasificada (18), cuya efectividad en la agricultura ha sido probada en numerosas ocasiones, sobre todo, en suelos Ferralíticos (19). La especie utilizada se inoculó mediante el inoculante sólido EcoMic[®] por la técnica de recubrimiento de las semillas a la dosis de 20 esporas g de sustrato⁻¹ (20).

Las semillas recubiertas se sembraron a chorrillo, con una norma de siembra de 150 kg ha⁻¹ de semilla, en parcelas experimentales de 3 m de largo x 4,2 m de ancho (seis surcos a 0,70 m entre surcos), para una superficie de 12,6 m² por parcela y un área de cálculo de 11,2 m². Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 14 tratamientos y cuatro repeticiones. Los catorce tratamientos se describen en la Tabla II.

Tabla II. Descripción de los tratamientos empleados en el experimento, combinando la aplicación de HMA y diferentes dosis de nitrógeno en el fertilizante mineral con fondo fijo de 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 70 kg ha⁻¹ de K₂O

Tratamiento	HMA	Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)
1	sí	0
2	sí	50
3	sí	100
4	sí	150
5	sí	200
6	sí	250
7	sí	300
8	-	0
9	-	50
10	-	100
11	-	150
12	-	200
13	-	250
14	-	300

Para todos los tratamientos, el fertilizante de fórmula completa se aplicó en el fondo del surco al momento de la siembra y la urea a los 41 días después de germinada la semilla en el estadio Z. 2.4 (brote principal y cuatro macollos), de la escala de Zádoks (21). En el experimento se consideró el testigo de producción (T.11) la dosis recomendada para el cultivo de 150 kg ha⁻¹ de N, 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 70 kg ha⁻¹ de K₂O (22). Las dosis se entregaron mediante la aplicación del fertilizante fórmula completa NPK (9-13-17), a razón de 412 kg ha⁻¹, más urea (46-0-0) a razón de 137 kg ha⁻¹. El resto de los tratamientos recibió un fondo fijo de P₂O₅ y K₂O, similar al utilizado en el tratamiento 11, pero con la adición de una o varias dosis de 50 kg ha⁻¹ de N, que se alcanzó con una aplicación de urea, a razón de 109 kg ha⁻¹, para lograr los tratamientos desde 50 hasta 300 kg ha⁻¹ de N.

Los muestreos para evaluar los índices foliares se realizaron en la fase Z. 3.9 de la escala de Zádoks (21), con la hoja bandera totalmente emergida, a los 71 días después de la siembra (dds). La toma de muestras de raíces de ocho plantas para evaluar las variables fúngicas se distribuyeron equidistantes con respecto al tallo de la planta y separados a 10 cm de los surcos, siguiendo la metodología utilizada para la determinación de las estructuras micorrízicas en especies pratenses (23). Al mismo tiempo, se realizó el corte del triticale para forraje, a los 89 dds, en la fase Z. 7.3 de Zádoks (estado lechoso temprano) (21).

Las variables analizadas se describen a continuación:

- ♦ **Índices foliares de las plantas:** se determinaron los contenidos porcentuales de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) foliar, según la metodología descrita en el Manual de Laboratorio del INCA (16).
- ♦ **Variables fúngicas:** la frecuencia e intensidad de la colonización se determinó en las muestras de raíces secadas a 70 °C, hasta obtener pesos constantes y teñidos, utilizándose la metodología descrita para estas variables (24). También, se evaluó el número de esporas de HMA 50 g de suelo⁻¹ (15).
- ♦ **Rendimiento de masa seca (MS) de forraje (kg ha⁻¹):** se estimó a partir del porcentaje de MS y el rendimiento de masa verde (MV) de cada parcela. Se cortó y pesó la MV de la parte aérea de las plantas que se encontraban en el área de cálculo de cada parcela con una balanza de 0,25 kg de precisión y se tomó una muestra de 200 g, que se llevó a una estufa de circulación de aire a 70 °C, hasta alcanzar una masa constante para determinar el porcentaje de MS, de acuerdo con la fórmula:

MS (%) = [MS de la muestra (g)/MV de la muestra (g)] x 100

El rendimiento de MS se estimó a partir de la formula:

$$MS \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = [MV \text{ (kg parcela}^{-1}\text{)} \times MS \text{ (\%)} / 100] \times f$$

donde:

f = factor para convertir el rendimiento de MS de kg parcela⁻¹ a kg ha⁻¹ (0,43 para el área de cálculo de las parcelas, 11,2 m²).

- ♦ Extracción de N, P o K (kg ha⁻¹): [Masa Seca (MS) parte aérea (kg ha⁻¹) x % del elemento en la MS parte aérea]/100.
- ♦ Contenido de proteína bruta (%): % Proteína = % Nitrógeno X 5,27 (factor de conversión para el trigo) (25).
- ♦ Índice de Eficiencia Micorrízica (IE) (%): IE (%) = [(rendimiento MS (t ha⁻¹) del tratamiento inoculado – rendimiento MS (t ha⁻¹) del testigo) / rendimiento de MS (t ha⁻¹) del control] x 100 (26).
- ♦ Índices Agronómicos de Eficiencia de Uso de Nitrógeno (IAEUN): la Eficiencia Aparente de Recuperación (ER_N), expresado por kg de incremento en absorción por kg⁻¹ de nutriente aplicado y el Factor Parcial de Productividad (FPP), expresado en kg de rendimiento por kg⁻¹ de nutriente aplicado (27).

La estadística se realizó mediante un análisis de varianza, según el modelo de clasificación simple al dato original. Para la comparación de medias se utilizó el procedimiento de Duncan con una significación de 5 %, en los casos en que el ANOVA resultó significativo. Para la estimación de las dosis óptimas de nitrógeno con y sin HMA se identificaron los modelos de mejor ajuste (dosis-rendimiento) en cada caso y, seguidamente, se utilizó el criterio de la primera derivada para encontrar los respectivos óptimos. El programa estadístico utilizado fue el IBM SPSS para Windows Versión 21 (28).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla III se muestran los valores de las variables micorrízicas estudiadas durante el desarrollo experimental en el cultivo del triticale. Los

porcentajes de frecuencia de colonización micorrízica e intensidad de la colonización y el número de esporas de HMA g⁻¹ de suelo mostró sus máximos valores con las aplicaciones de fertilización nitrogenada entre los 50 y 150 kg ha⁻¹ de N, manifestando su máximo valor en la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N. La respuesta de estas variables a dosis mayores de nitrógeno (200 a 300 kg ha⁻¹ de N) se reflejó en un descenso significativo de las mismas comparadas con las dosis de menores (100 y 150 kg ha⁻¹ de N).

Los resultados encontrados en las variables micorrízicas a las dosis de nitrógeno más efectivas (50 a 150 kg ha⁻¹ de N) pudieran atribuirse a que los HMA inoculados germinaron en el suelo, superando a las HMA residentes, originando las hifas de los hongos, las que, a su vez, interactuaron con el sistema radical del triticale, desarrollando interacciones benéficas que favorecieron las respuestas en las variables analizadas, lo que se logra debido a un ascenso significativo en el nivel de interacción huésped-hospedero, en los tratamientos aplicados.

En este sentido, se han encontrado resultados de la buena habilidad mostrada por los HMA en la colonización del trigo cuando existe un suministro adecuado de nutrimentos (29). Mientras que, otros estudios demuestran que la simbiosis micorrízica necesita un suministro de nutrientes inicial, específicamente de nitrógeno, para expresar una respuesta promisoriosa en el cultivo del trigo.

En tanto, cuando este elemento (N) se incrementa, la simbiosis disminuye notablemente, considerándose deprimido el mutualismo entre el huésped y el hongo al aplicarse dosis, al parecer excesivas, de este elemento (>200 kg ha⁻¹ de N), lo cual demuestra que la simbiosis micorrízica entre el hospedero y el simbionte declina notablemente, debido al incremento del abastecimiento de este nutriente por encima de las necesidades requeridas para un mutualismo efectivo entre planta y hongo, ocasionando, en consecuencia, la disminución progresiva de la interacción huésped-hospedero. Al respecto, algunos autores han expresado que altas dosis de fertilizantes ocasionan una menor micorrización de las raíces (7, 29).

Tabla III. Comportamiento de la frecuencia e intensidad de colonización, así como el número de esporas g⁻¹ de suelo en el cultivo del triticale

Micorrizas arbusculares	Dosis de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Frecuencia de colonización (%)	Intensidad de colonización (%)	Número de esporas HMA g ⁻¹ de suelo
Con micorrizas	0	40,05 c	1,6075 e	129,50 c
Con micorrizas	50	54,00 ab	2,2725 b	180,50 b
Con micorrizas	100	60,78 a	2,6425 a	227,00 a
Con micorrizas	150	56,95 a	2,61 a	224,00 a
Con micorrizas	200	48,33 b	2,175c	121,50 c
Con micorrizas	250	38,28 cd	2,0725 d	104,00 d
Con micorrizas	300	32,70 d	1,3525 f	88,75 e
Sin micorrizas	0	31,28 d	1,27 g	81,30 e
Es x		0,8125**	0,0079**	1,43**

Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan (p≤0,05)

Debe destacarse que los valores registrados en los porcentajes de frecuencia de colonización (60 %), e intensidad de colonización micorrízica (2,64 %) y un alto contenido de esporas (200 esporas g de suelo⁻¹), demuestra que el cultivo del triticale responde favorablemente a la simbiosis micorrízica, luego de la aplicación de HMA.

La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en otros dos cultivares de trigo manifestó, también, una alta incidencia en la colonización de las raíces de las plantas y en la producción de esporas donde fue aplicada, lo que tuvo una relación directa con la productividad de los cultivares (11).

Por otra parte, la aplicación mediante inoculantes, en medio sólido o líquido, favorecen la colonización micorrízica de las raíces en el trigo duro (*Triticum durum* L.), con respecto a aquellas a las que no se les aplicó y solamente fueron colonizadas por los HMA residentes en el suelo^A.

La variable número de esporas g⁻¹ de suelo se manifestó igual que la frecuencia y la intensidad de la colonización micorrízica en los diferentes tratamientos, con un ascenso en la medida que aumentaron las dosis de nitrógeno hasta las cantidades de 100 y 150 kg ha⁻¹, descendiendo significativamente para las dosis superiores de este elemento, aplicadas hasta los 300 kg ha⁻¹, cuyo valor no difirió significativamente del testigo absoluto. Este resultado evidenció una fase de esporulación de HMA coincidente con una alta frecuencia e intensidad de la colonización micorrízica, aunque muchas veces estas no tienen comportamiento semejante; sin embargo, en el presente trabajo se comportó igual para las tres variables fúngicas evaluadas.

La Tabla IV refleja los contenidos (porcentajes) de N, P y K foliares, señalando el estado nutricional del triticale respecto a los diferentes tratamientos aplicados en el

estudio. Como se puede apreciar, con las aplicaciones de HMA se logró reducir las dosis de nitrógeno (100 y 150 kg ha⁻¹), en relación con las dosis mayores (200 y 250 kg ha⁻¹) sin la aplicación de HMA, para alcanzar altos contenidos significativos de nitrógeno foliar, manifestándose un ahorro del fertilizante químico aplicado, respecto a las dosis que no recibieron el suministro de HMA.

Lo expuesto, pudiera justificarse debido al desempeño de los hongos micorrízicos arbusculares en las plantas, mediante el mecanismo de la simbiosis micorrízica, al permitir un suministro superior de este nutriente al hospedero, pues la absorción del nitrógeno también se favorece con la micorrización (29). Lo cual queda explícito en los contenidos foliares de nitrógeno registrados por el cultivo en las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas.

Estos contenidos se encuentran en los índices adecuados reportados para el cultivo del trigo (11) en la producción de forraje. No siendo así con las dosis más elevadas de N, dado por los bajos valores registrados de este elemento, lo cual pudiera ser evidente, debido a la disminución de la simbiosis micorrízica en estas dosis con HMA, pues dosis altas de N disminuyen significativamente la simbiosis micorrízica con efectos perjudiciales, para la producción de los cultivos y el ambiente (30).

Así mismo, los valores registrados del porcentaje de nitrógeno foliar por los mejores tratamientos con y sin aplicación de HMA, se corresponden con los reportados para producciones de 4000 kg ha⁻¹ de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (29), que resultaron adecuados para las condiciones del trópico cálido y húmedo (ME5A) (31), donde se desarrolló el trabajo experimental.

Los resultados del porcentaje de fósforo foliar mostraron que la dosis fija aplicada de 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no tuvo diferencias significativas para ninguno de los tratamientos con y sin aplicación de HMA. Esta respuesta solo pudiera explicarse que es debido a que el contenido de este elemento en el suelo más la dosis aplicada en el mismo, fue suficiente para suplir las necesidades de este cultivo; es decir, se logran índices foliares de fósforo satisfactorios en el triticale.

^A Domínguez, H. N. *Efectividad de dos inoculantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y su relación con la nutrición mineral en el cultivo del trigo duro (Triticum durum L.)*. Tesis de Grado, Universidad Agraria de La Habana «Fructuoso Rodríguez Pérez», Mayabeque, 2012.

Tabla IV. Contenidos de los Índices foliares (%) de N, P y K del triticale a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno con y sin adición de hongos micorrízicos arbusculares

Dosis de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Índices foliares de las plantas					
	% N foliar		% P foliar		% K foliar	
	con HMA	sin HMA	con HMA	sin HMA	con HMA	sin HMA
0	1,78 c	1,62 d	0,23	0,22	2,26	2,23
50	1,84bc	1,67 d	0,23	0,22	2,25	2,26
100	1,94 a	1,76 c	0,23	0,23	2,24	2,25
150	1,92 a	1,83 c	0,23	0,23	2,21	2,23
200	1,91 ab	1,91 ab	0,23	0,23	2,25	2,20
250	1,82 c	1,95 a	0,23	0,23	2,25	2,24
300	1,81 c	1,82 c	0,23	0,23	2,27	2,26
Es x	0,0073**		0,001ns		0,0073 ns	

Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan (p≤0,05)

Esto se corresponden con los resultados reportados para el cultivo del trigo harinero (29), en experimentos de trigo, inoculados con especies de micorrizas del género *Glomus*, individuales o combinadas (*Glomus* sp. G1 + *Glomus* sp. + G2) donde se aplicaron dosis de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno y no mostraron diferencias foliares para los contenidos de fósforo y nitrógeno en trigo, debido a que los HMA incrementaron la eficiencia de asimilación de ambos nutrientes (29).

Para el porcentaje de potasio foliar se registraron diferencias significativas para este nutriente, entre los tratamientos testigo absoluto con HMA (0 N, 0 P₂O₅, 0 K₂O) y sin HMA (0N, 0 P₂O₅, 0 K₂O); sin embargo, para las dosis de nitrógeno con y sin HMA, no se observaron diferencias significativas para este nutriente, lo que puede demostrar que la dosis de este elemento con las dosis creciente de nitrógeno fueron suficientes para una buena nutrición del triticale. La interacción entre el nitrógeno y el potasio es probablemente la más importante, pues dosis elevadas de nitrógeno en ausencia de una nutrición potásica suficiente, hace a los cereales sensibles a las enfermedades y accidentes, en especial, al encamado y limita los rendimientos, disminuyendo su calidad y peso específico. Gracias al potasio, la productividad del nitrógeno puede aumentar en más de un 50 % (32).

Obsérvese como en los tratamientos testigos con y sin HMA (T1 y T8), el valor registrado para este nutriente fue superior con HMA, lo cual significa el aporte que hacen las micorrizas en la nutrición de los cultivos, a partir de los nutrientes que encuentra en el suelo y lleva al cultivo a través de la interfase micelio-sistema radical.

Los resultados de la extracción de los nutrientes N, P y K en kg ha⁻¹ por la biomasa foliar del triticale se muestran en la Tabla V. Con respecto a los contenidos de nitrógeno en la biomasa del cultivo, se obtuvieron los mayores valores, estadísticamente significativos, del resto de los tratamientos; en los tratamientos de

100 y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno con la aplicación de HMA y las dosis de 150 y 200 kg ha⁻¹ sin la aplicación de HMA. Los resultados indican que con menor cantidad de fertilizante (N) aplicado (100 kg ha⁻¹ de nitrógeno) con HMA se puede lograr una biomasa de forraje con calidad en el triticale y se confirma una respuesta agronómica viable en la producción de forraje, a base de triticale, con bajas dosis de fertilizantes minerales y una mejor absorción en la toma de nutrientes con el uso de los HMA (3, 33).

En la extracción de P (kg ha⁻¹) por la biomasa del cultivo, se observaron las mayores extracciones entre los tratamientos 100 y 200 kg ha⁻¹ de N con HMA y entre 150 y 250 kg ha⁻¹ de N sin la aplicación de los HMA, siendo significativamente superiores al resto de los tratamientos en estudio. Es de notar que con la aplicación de los hongos micorrízicos arbusculares la mayor absorción de este elemento comienza a partir de la dosis 100 de kg ha⁻¹ de N.

El presente estudio se aplicó con un fondo fijo de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y se lograron valores relativamente altos de fósforo, en la extracción de este nutriente por la biomasa de triticale. En este sentido, resultados en el crecimiento y rendimiento del trigo reportan, que el uso de los hongos micorrízicos arbusculares, mejoró significativamente el rendimiento de la biomasa al aplicar dosis de nitrógeno (no mayores de 100 kg ha⁻¹ de N) y de fósforo (50 kg ha⁻¹) que resultaron efectivas para los contenidos de estos nutrientes en la producción de forraje, sin la necesidad de aplicaciones mayores (34).

En cuanto a la extracción del potasio por la biomasa foliar (Tabla V), se registraron valores significativamente altos para este nutriente, en las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas, destacándose la dosis de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno con aplicación de HMA, con la cual el cultivo tuvo el valor más alto de extracción para este elemento, reiterándose entonces, que la dosificación de nitrógeno antes señalada con HMA fue la mejor para la producción de forraje a base de triticale.

Tabla V. Extracción de N, P y K (kg ha⁻¹) por la biomasa foliar del triticale, en respuesta a los diferentes tratamientos aplicados en el estudio

Dosis de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Extracción de N, P y K (kg ha ⁻¹) por la biomasa foliar					
	Extracción N kg ha ⁻¹		Extracción P kg ha ⁻¹		Extracción K kg ha ⁻¹	
	Con HMA	Sin HMA	Con HMA	Sin HMA	Con HMA	Sin HMA
0	62,42 f	44,57 g	10,62 e	8,12 f	103,56 f	81,38 g
50	98,0225 d	76,61 e	12,43 bcd	10,32 e	119,98 de	103,75 f
100	120,107 a	94,86 d	14,08 ab	10,89 de	138,63 a	121,29 de
150	118,28 ab	112,17 abc	14,05 ab	14,42 a	135,67 abc	137,16 ab
200	108,44 c	116,67 abc	12,85 abc	14,12 ab	126,81 bcd	136,25 ab
250	93,95 d	110,46 bc	11,87 cde	12,995 abc	116,30 de	125,57 cde
300	93,24 d	92,08 d	11,73 cde	11,67 cde	117,08 de	114,76 e
Es x		0,725**		0,15**		0,8998**

Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan (p≤0,05)

Debe señalarse que este elemento tiene una importancia singular para este cultivo como forraje, pues influye directamente en la calidad del mismo, considerando pues, su papel en la formación de carbohidratos en los cultivos, así como en la formación de proteínas. Además, el potasio tiene especial importancia en los cereales de grano pequeño sobre las funciones que aseguran el crecimiento de la planta, la resistencia a las heladas, al encamado y a las enfermedades es mayor si disponen de una alimentación mineral rica en potasio (32).

En la Tabla VI, se observan los resultados del rendimiento de masa seca (MS) de forraje (kg ha^{-1}) y el porcentaje de proteína bruta. Para la primera variable, las dosis de 100 y 150 kg ha^{-1} de nitrógeno con HMA y las dosis de 150 y 200 kg ha^{-1} de nitrógeno sin la aplicación de HMA, alcanzaron los mayores rendimientos en forraje producido a base de triticale.

De acuerdo a estos resultados, con la aplicación de HMA y dosis de nitrógeno de 100 kg ha^{-1} , se obtienen altos rendimientos con ahorro de recursos, debido al alto costo de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua, asociada al uso inadecuado de nutrientes, así como la factibilidad económica en la producción de forraje para alimento animal. En este sentido, estudios en los cultivos de maíz y trigo señalan que el uso de los HMA permitió reducir la aplicación de la fertilización mineral del cultivo, incrementar los rendimientos y el contenido de nutrientes en la biomasa y la calidad del forraje, así como, aumentó la colonización micorrízica en las raíces de las plantas (35, 36).

Además, se corrobora la posibilidad de la transportación del nitrógeno mediante la simbiosis micorrízica, con incremento en el rendimiento de los cultivos con menor cantidad de fertilizante (29). Los resultados encontrados, respaldan la aseveración de que los HMA pueden ayudar a la captación del N por la planta (6).

Por lo expuesto anteriormente, se hace necesario continuar profundizando con las investigaciones sobre las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y su relación con el papel que desempeñan los hongos micorrízicos arbusculares en la toma de este nutriente, relacionada con la simbiosis con las plantas y su

entorno, así como su influencia en la productividad de los cultivos y la disminución de las dosis de este elemento para evitar contaminaciones en los ecosistemas.

El contenido de proteína bruta (Tabla VI) en el forraje, fue superior en las dosis de 100, 150 y 200 kg ha^{-1} de nitrógeno, cuando se aplicaron los HMA; sin embargo, valores semejantes se obtuvieron sólo con las dosis de nitrógeno de 200 y 250 kg ha^{-1} , cuando no se aplicaron los HMA. Así, se demuestra que con la aplicación de HMA pueden ahorrarse no menos de 50 kg ha^{-1} de N, para alcanzar iguales resultados de rendimiento y calidad de forraje (contenido porcentual de proteína bruta), lo cual resulta importante pues se logra disminuir el impacto ambiental negativo que provoca la aplicación de cantidades innecesarias de nitrógeno al suelo, al lograrse un uso eficiente de este nutriente por la planta (11).

La Figura 1 muestra el análisis de regresión entre la producción de kg ha^{-1} de masa seca y las dosis de nitrógeno aplicadas con el uso y no uso de HMA. Se evidenciaron significativos índices de regresión, $R^2 = 0,987$, $R^2 = 0,982$, así como las ecuaciones de regresión que mostraron un efecto cúbico positivo en función de las dosis de nitrógeno aplicadas, con y sin la aplicación de HMA, destacándose que a partir de dosis de 71,44 kg ha^{-1} de N, con la aplicación de los HMA, se comienzan a obtener rendimientos de 5662 kg ha^{-1} de masa seca de forraje, con rendimientos máximos de 5751,25 kg ha^{-1} con dosis de 120,4 kg ha^{-1} de N, lo que fue un aumento significativo en la producción, con respecto a los tratamientos donde no se aplicaron los HMA.

En ambas curvas (con y sin aplicación de HMA) se observa cómo la conversión de aplicación de nitrógeno, en kg ha^{-1} de masa seca de forraje, resultó menor en la medida en que se aumentaron las dosis de nitrógeno, después de alcanzar su mayor rendimiento, aspecto importante a destacar. En este sentido, trabajos con agricultura de precisión en trigo, resaltan que el aumento de producto que se logra por agregar más insumos, se hace cada vez menor y que pasado el punto de máximo rendimiento, cantidades adicionales de insumos, pueden tener un efecto negativo sobre el rendimiento (37).

Tabla VI. Rendimiento de masa seca (MS) kg ha^{-1} y porcentaje de proteína bruta en la producción de forraje a base de triticale

Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1})	Masa seca de forraje (kg ha^{-1})		% de proteína bruta	
	Con HMA	Sin HMA	Con HMA	Sin HMA
0	3703 e	2808 f	10,13 de	9,16 f
50	5335 bc	4580 d	10,48 bcd	9,50 f
100	6185 a	5375 bc	11,08 a	10,02 e
150	6158 a	6138 a	10,72 abc	10,42 cde
200	5645 e	6200 a	10,88 ab	10,89 a
250	5163 c	5595 b	10,30 cde	11,09 a
300	5160 c	5073 c	10,38 cde	10,35 cde
Es $\bar{x} \pm$	30,33		0,036	

Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

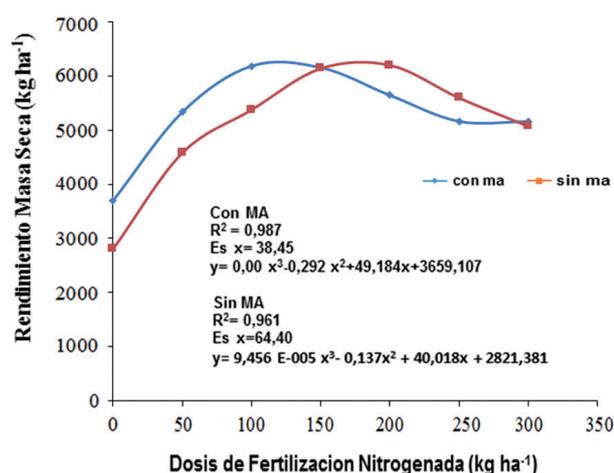
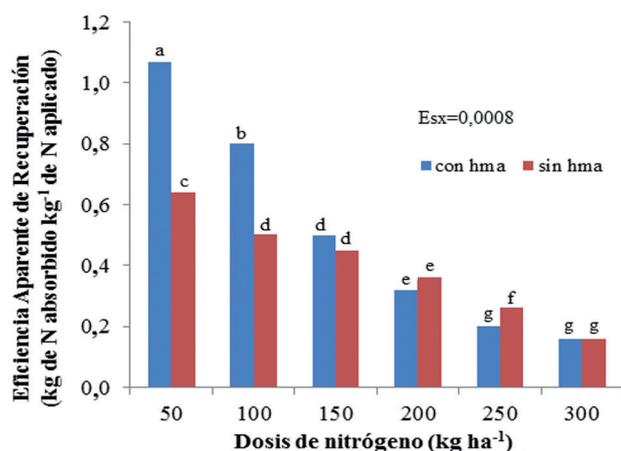


Figura 1. Variación de la masa seca a diferentes dosis de nitrógeno con y sin aplicación de micorrizas arbusculares

También otros estudios en trigo, mostraron resultados semejantes al lograr una alta regresión en la producción de biomasa (kg ha^{-1}), con diferentes dosis de nitrógeno (37). Estos resultados coinciden con lo reportado, sobre la positiva correlación entre la acumulación de biomasa aérea y la absorción de nitrógeno, cuando se aplican bajas cantidades de este nutriente (38).

Por otra parte, el uso de los HMA tuvo una relación directa y significativa con la absorción de nutrientes y la toma de agua, por lo que se logra la disminución de las cantidades de fertilizantes y agua a aplicar a los cultivos (33).



Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan a $p \leq 0,05$

Figura 2. Eficiencia Aparente de Recuperación (EAR_N) de forraje a base de triticale, a diferentes dosis de nitrógeno (50, 100, 150, 200, 250 y 300 kg ha^{-1}) con y sin aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

Este resultado evidenció que se ahorra fertilizante nitrogenado al emplearse los hongos micorrízicos arbusculares en la producción de forraje a base de triticale, así como, se observó una relación directa y positiva con la absorción de nutrientes al emplear los HMA, permitiendo de este modo, el uso de menores cantidades de fertilizantes minerales.

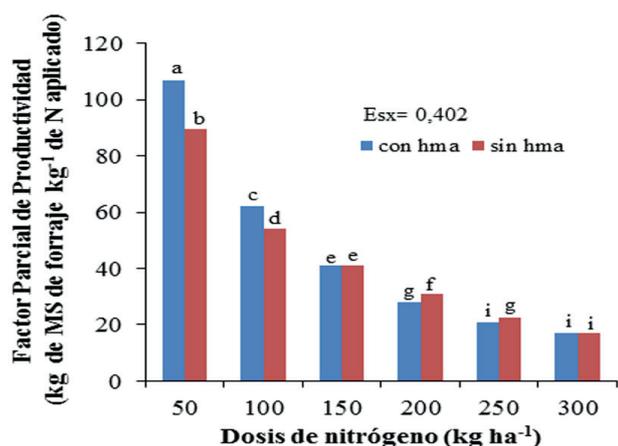
La Figura 2 refleja que la eficiencia aparente de recuperación (EAR_N); es decir, los kilogramos de incremento en absorción de N por kg^{-1} de N aplicado al cultivo del triticale, disminuyen con el incremento de las dosis de nitrógeno (al cultivo), con y sin aplicación de los HMA, siendo significativas estas diferencias hasta la dosis de 100 kg ha^{-1} de N. Este resultado concuerda con lo reportado para el cultivo del maíz al estudiar la eficiencia del uso del nitrógeno en este cereal y su respuesta a la fertilización nitrogenada, al disminuir la EAR_N con el aumento de las dosis de nitrógeno (39).

Se destaca que las dosis de 50 y 100 kg ha^{-1} de nitrógeno con la aplicación de HMA, fue significativamente superior, en comparación a cuando no se aplicaron los HMA, insertándose pues, en sistemas bien manejados a bajo nivel de uso de nitrógeno (35), que tiene un rango entre los 0,5 y 0,8 kg de nitrógeno absorbido por kg^{-1} de nitrógeno aplicado en cereales, en sistemas bien manejados (33).

Por otra parte, entre las dosis de 150 y 200 kg ha^{-1} de nitrógeno, no se registraron diferencias con y sin la aplicación de HMA en la EAR_N , pero sus valores estuvieron entre los mínimos, reflejando un bajo nivel de uso del nitrógeno para los cereales (33).

Es decir, que la cantidad de nutriente que se recupera en la biomasa de la MS de forraje cuando se aplican las HMA, es superior a cuando estas no se aplican, lo que puede entenderse; además, como que los HMA influyen positivamente en el aprovechamiento del nitrógeno por las plantas, manifestándose una declinación del contenido de este nutriente, a partir de la dosis 150 kg ha^{-1} de N aplicada (Tabla V).

En la Figura 3 se analiza el factor parcial de productividad (FPP) a diferentes dosis de nitrógeno, aplicadas con y sin HMA. Se evidencia que la aplicación de los HMA posibilita una mayor respuesta productiva con dosis menores de nitrógeno (50 y 100 kg ha^{-1}); además, se logran valores superiores a los 60 kg de masa seca por kg^{-1} de nutriente aplicado, lo cual se considera como un sistema bien manejado, a bajo nivel de uso de nitrógeno (33). El resultado con la dosis de 50 kg ha^{-1} de nitrógeno, corrobora lo planteado de que es la dosis económica óptima, donde se alcanza el máximo beneficio para el cultivo del trigo (40).



Letras iguales por columnas no difieren significativamente, según prueba de Duncan a $p \leq 0,05$

Figura 3. Factor Parcial de Productividad (FPP) del triticale como respuesta a diferentes dosis de nitrógeno: 50, 100, 150, 200, 250 y 300 kg ha⁻¹ con y sin aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

Se puede considerar que el funcionamiento de la simbiosis micorrízica está relacionada directamente con los mayores incrementos de producción de materia seca, pues permite alcanzar mayores cantidades de producto por unidad de nutriente aplicado, significativamente comparada con la no aplicación de HMA.

Por último, debe señalarse que los valores del factor parcial de productividad (FPP), a partir de la dosis de 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno, manifestaron un descenso significativo con y sin HMA; es decir, con el incremento de las dosis de nitrógeno, comienzan a descender los valores de las variables micorrízicas (Tabla III), lo que indica la disminución sucesiva de la interacción huésped hospedero, por el posible efecto de las altas dosis de nitrógeno aplicadas (11).

CONCLUSIONES

- ♦ La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) permitió la reducción de la dosis de fertilización nitrogenada en el cultivo del triticale entre 50 y 100 kg ha⁻¹, sin disminución en la producción de forraje. Además, se lograron índices adecuados de calidad en el forraje con la introducción de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la aplicación de dosis menores de fertilizante nitrogenado.
- ♦ Las estructuras micorrízicas variaron en función de la fertilización nitrogenada, obteniéndose los valores más altos con dosis de 50, 100 y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

- ♦ Con la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se registró un mayor porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio en la biomasa de forraje, con la dosis de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno.
- ♦ Se evidenciaron significativos índices de regresión, $R^2 = 0,987$, $R^2 = 0,982$, así como las ecuaciones de regresión que mostraron un efecto cúbico positivo, en función de las dosis de nitrógeno aplicadas, con y sin la aplicación de HMA, destacándose que a partir de la dosis de 71,44 kg ha⁻¹ de N, con la aplicación de los HMA, se comienzan a obtener altos rendimientos (5662 kg ha⁻¹) de masa seca de forraje.
- ♦ En la Eficiencia Aparente de Recuperación (EAR_N) se hace más evidente que las dosis de 50 y 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno con la aplicación de HMA, permitieron sistemas bien manejados a bajo nivel de uso de nitrógeno, por los valores registrados en este índice (0,5 a 0,8 kg de nitrógeno absorbido por kg⁻¹ de nitrógeno aplicado).
- ♦ El Factor Parcial de Productividad (FPP), reflejó que la aplicación de los HMA posibilita una mayor respuesta productiva con dosis menores de nitrógeno (50 y 100 kg ha⁻¹); además, se logran valores superiores a los 60 kg de masa seca por kg⁻¹ de nutriente aplicado, lo cual es condición de un sistema bien manejado con bajo uso del nitrógeno.
- ♦ La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) mejoró e hizo más eficiente la producción de forraje a base de triticale, pues se redujo las dosis de nitrógeno en este cultivo, sin la disminución de los indicadores de calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez, S. "100 años de Trabajos en la Reintroducción del Trigo en Cuba (1904-2003)". En: *V Taller Internacional sobre Recursos Filogenéticos «Fitogen 2003»*, edit. Instituto de Pastos Y Forrajes, Sancti Spíritus, Cuba, 2 de diciembre de 2003, ISBN 959-246-089-2.
2. Plana, L. R.; González, C. P. J.; Marrero, C. Y.; Fundora, S. L. R.; Arzola, B. J. y Ramírez, P. J. F. "INCA TT-7. Primer cultivar cubano de triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 3, septiembre de 2013, pp. 64-64, ISSN 0258-5936.
3. Estrada-Campuzano, G.; Slafer, G. A. y Miralles, D. J. "Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments". *Field Crops Research*, vol. 128, 14 de marzo de 2012, pp. 167-179, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2012.01.003.
4. Bassu, S.; Asseng, S.; Giunta, F. y Motzo, R. "Optimizing triticale sowing densities across the Mediterranean Basin". *Field Crops Research*, vol. 144, 20 de marzo de 2013, pp. 167-178, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2013.01.014.

5. Ammar, K. "Promoción y mejoramiento genético del triticale". *Revista EnIAce - CIMMYT. Agricultura de Conservación*, vol. 5, no. 16, 2013, pp. 27-29, ISSN en trámite.
6. Miransari, M. "Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake". *Archives of Microbiology*, vol. 193, no. 2, 7 de diciembre de 2010, pp. 77-81, ISSN 0302-8933, 1432-072X, DOI 10.1007/s00203-010-0657-6.
7. Hirel, B.; Tétu, T.; Lea, P. J. y Dubois, F. "Improving Nitrogen Use Efficiency in Crops for Sustainable Agriculture". *Sustainability*, vol. 3, no. 9, 7 de septiembre de 2011, pp. 1452-1485, ISSN 2071-1050, DOI 10.3390/su3091452.
8. Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E. y Sainz, R. H. R. "Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el Sudeste Bonaerense". *Ciencia del Suelo*, vol. 27, no. 1, 2009, ISSN 1850-2067.
9. Verbruggen, E.; Heijden, M. G. A.; Rillig, M. C. y Kiers, E. T. "Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success". *New Phytologist*, vol. 197, no. 4, 1 de marzo de 2013, pp. 1104-1109, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.2012.04348.x.
10. Farzaneh, M.; Vierheilig, H.; Lössl, A. y Kaul, H. P. "Arbuscular mycorrhiza enhances nutrient uptake in chickpea". *Plant, Soil and Environment*, vol. 57, no. 10, 2011, pp. 465-470, ISSN 1214-1178, 1805-9368.
11. Talaat, N. B. y Shawky, B. T. "Influence of arbuscular mycorrhizae on root colonization, growth and productivity of two wheat cultivars under salt stress". *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 58, no. 1, 1 de enero de 2012, pp. 85-100, ISSN 0365-0340, DOI 10.1080/03650340.2010.506481.
12. Plana, R.; Alvarez, M.; Ramírez, A. y Moreno, I. "Triticale (*X triticum secale* Wittmack), a new crop in Cuba. A varietal collection from CIMMYT evaluated under the western conditions of the country". *Cultivos Tropicales*, vol. 24, no. 2, 2003, pp. 51-54, ISSN 1819-4087.
13. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
14. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (ser. World Soil Reports, no. ser. 106), edit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2014, 191 p., ISBN 978-92-5-108370-3.
15. Gerdemann, J. W. y Nicolson, T. H. "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting". *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 46, no. 2, junio de 1963, pp. 235-244, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.
16. Paneque, P. V. M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos* [en línea]. edit. Ediciones INCA, La Habana, 2010, 157 p., ISBN 978-959-7023-51-7, [Consultado: 27 de enero de 2016], Disponible en: <<http://mst.ama.cu/578/>>.
17. Instituto de Meteorología. "Sistema de vigilancia agrometeorológica y alerta temprana especializados para el desarrollo de la producción ganadera en Cuba". *Boletín Agrometeorológico Nacional*, vol. 28, no. 10, 2009, ISSN 1029-2055.
18. Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R. A. "*Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba". *Mycotaxon*, vol. 118, no. 1, 5 de enero de 2012, pp. 337-347, ISSN 0093-4666, 2154-8889, DOI 10.5248/118.337.
19. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. "Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems" [en línea]. En: eds. Hamel C. y Plenchette C., *Mycorrhizae in Crop Production*, edit. Haworth Press, Binghamton, N. Y., 2007, pp. 151-196, ISBN 978-1-56022-306-1, [Consultado: 15 de julio de 2015], Disponible en: <10.13140/RG.2.1.1771.2162>.
20. Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; de la Noval, B. M. y Martínez, M. A. *Producto inoculante micorrizógeno*. no. 22641, Inst. Oficina Nacional de Propiedad Industrial, Cuba, 2001.
21. Zadoks, J. C.; Chang, T. T. y Konzak, C. F. "A decimal code for the growth stages of cereals". *Weed Research*, vol. 14, no. 6, 1 de diciembre de 1974, pp. 415-421, ISSN 1365-3180, DOI 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.
22. Iglesias, L. A. y Pérez, N. "El cultivo del trigo en condiciones tropicales y posibilidades para su siembra en Cuba". *Cultivos Tropicales*, vol. 16, no. 1, 1995, pp. 52-63, ISSN 1819-4087.
23. Johnson, N. C.; Rowland, D. L.; Corkidi, L.; Egerton-Warburton, L. M. y Allen, E. B. "Nitrogen Enrichment Alters Mycorrhizal Allocation at Five Mesic to Semiarid Grasslands". *Ecology*, vol. 84, no. 7, 1 de julio de 2003, pp. 1895-1908, ISSN 1939-9170, DOI .10.1890/0012-9658(2003)084[1895:NEAMAA]2.0.CO;2.
24. Phillips, J. M. y Hayman, D. S. "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection". *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55, no. 1, agosto de 1970, pp. 158-168, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
25. Kalra, Y. P. *Handbook of Methods for Plant Analysis*. edit. CRC Press, Taylor & Francis Group, Washington, D.C., 1998, ISBN 978-1-57444-124-6.
26. Rivera, R. y Fernández, K. "Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente". En: Rivera R. y Fernández K., *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*, edit. Ediciones INCA, La Habana, Cuba, 2003, p. 166, ISBN 959-7023-24-5.

27. Dobermann, A.; Krauss, A.; Isherwood, K. y Heffer, P. "Nutrient use efficiency-measurement and management" [en línea]. En: *Fertilizer best management practices: general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations. Papers presented at the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices*, edit. International Fertilizer Industry Association, Brussels, Belgium, 2007, pp. 1-28, ISBN 978-2-9523139-2-6, [Consultado: 27 de enero de 2016], Disponible en: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/20083154896.html;jsessionid=FDDB76ECCE587EA330911A0637D26371>>.
28. IBM Corporation. *IBM SPSS Statistics* [en línea]. versión 21, [Windows], U.S, 2012, Disponible en: <<http://www.ibm.com>>.
29. Asghari, H. R. y Cavagnaro, T. R. "Arbuscular mycorrhizas enhance plant interception of leached nutrients". *Functional Plant Biology*, vol. 38, no. 3, 2011, pp. 219-226, ISSN 1445-4408, DOI <http://dx.doi.org/10.1071/FP10180>.
30. Garg, N. y Chandel, S. "Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review". *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 30, no. 3, septiembre de 2010, pp. 581-599, ISSN 1774-0746, 1773-0155, DOI 10.1051/agro/2009054.
31. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. *Diversity to heal the Earth and feed its people* [en línea]. Annual Report 2001-2002, Inst. CIMMYT, México, D.F., 2002, p. 64, [Consultado: 27 de enero de 2016], Disponible en: <<http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/610/448358.pdf>>.
32. López, B. L. "Abonado de los cereales de invierno: trigo y cebada" [en línea]. En: *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*, edit. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España, 2010, pp. 123-133, ISBN 978-84-491-0997-3, [Consultado: 27 de enero de 2016], Disponible en: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3311006>>.
33. Razouk, R. y Kajji, A. "Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Water Relations and Growth of Young Plum Trees under Severe Water Stress Conditions". *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 5, no. 5, 10 de enero de 2015, pp. 300-312, ISSN 23207035, DOI 10.9734/IJPSS/2015/15408.
34. Minaxi; Saxena, J.; Chandra, S. y Nain, L. "Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants". *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 13, no. 2, junio de 2013, pp. 511-525, ISSN 0718-9516, DOI 10.4067/S0718-95162013005000040.
35. Ortas, I. "The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions". *Field Crops Research*, vol. 125, 18 de enero de 2012, pp.35-48, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2011.08.005.
36. Sharma, R. C. y Banik, P. "Arbuscular Mycorrhiza, *Azospirillum* and Chemical Fertilizers Application to Baby Corn (*Zea mays* L.): Effects on Productivity, Nutrients Use Efficiency, Economic Feasibility and Soil Fertility". *Journal of Plant Nutrition*, vol. 37, no. 2, 28 de enero de 2014, pp. 209-223, ISSN 0190-4167, DOI 10.1080/01904167.2013.859692.
37. Landriscini, M. R.; Galantini, J. A. y Martínez, J. M. "Estrategias de fertilización con nitrógeno en trigo en la región pampeana". *Revista AAPRESID*, no. esp, 2013, pp. 50-57, ISSN 1850-0633.
38. Kamiji, Y.; Pang, J.; Milroy, S. P. y Palta, J. A. "Shoot biomass in wheat is the driver for nitrogen uptake under low nitrogen supply, but not under high nitrogen supply". *Field Crops Research*, vol. 165, 15 de agosto de 2014, (ser. Crop root system behaviour and yield), pp. 92-98, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2014.04.009.
39. Silvana, A. M.; Degioanni, A. J. y Bonadeo, E. "Recuperación del nitrógeno residual de la producción de leche". *European Scientific Journal*, vol. 10, no. 27, 2014, pp. 50-68, ISSN 1857-7881, 1857-7431.
40. Sáez, C. Á.; Cantón, F. R.; Forde, B. G.; Kirma, M.; Araújo, W. L.; Fernie, A. R.; Galili, G.; Moschou, P. N.; Wu, J. y Cona, A. "Nitrogen use efficiency in plants". *Journal of Experimental Botany*, vol. 63, no. 14, 2012, p. 4993, ISSN 1460-2431, 0022-0957.

Recibido: 7 de agosto de 2014

Aceptado: 29 de octubre de 2015