



EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE LA CEPA DE HONGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR *Glomus hoi-like* EN LA RESPUESTA DE *Brachiaria* HÍBRIDO cv. MULATO II (CIAT 36087) A LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y NITROGENADA

Effect of inoculating the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) strain *Glomus hoi-like* on the response of *Brachiaria* hybrid cv. Mulato II (CIAT 36087) to organic and nitrogen fertilization

Pedro J. González[✉], Joan Arzola, Osvaldo Morgan,
Ramón Rivera Espinosa y Juan F. Ramírez

ABSTRACT. The objective of this work was to evaluate the effect of inoculating the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) strain *Glomus hoi-like* on the response of *Brachiaria* hybrid cv. Mulato II (CIAT 36087) to organic and nitrogen fertilization. The experiment was carried out in the Pastures and Forages Station of the Genetic Breeding Enterprise «Niña Bonita», located in Artemisa province, on a Lixiviated Red Ferralitic soil. Rates of 15 and 30 t of cattle dung.ha⁻¹, 30 t of cattle dung.ha⁻¹ combined with 150 kg N.ha⁻¹.year⁻¹, 15 and 30 t of cattle dung.ha⁻¹ combined with 0, 75 and 100 kg N.ha⁻¹.year⁻¹ plus the inoculation of AMF strain *Glomus hoi-like*, and the corresponding controls without cattle dung or N, to establish eleven treatments, were assessed. These were distributed in a random block design with four replications. Cattle dung improved the soil chemical properties when increasing its pH, organic matter and available P and K contents, and its effects was observed during the first two years after its application; the highest effects were observed with the application of 30 t.ha⁻¹. The inoculation of *G. hoi-like* combined with the application of 75 or 100 kg N.ha⁻¹.year⁻¹ produced the highest mycorrhizal colonization percentages, visual density and spore density, so as dry matter (DM) nutrient contents and DM yields similar to those obtained with 30 t of cattle dung.ha⁻¹ plus 150 kg N.ha⁻¹.year⁻¹ without inoculation. The effects of *G. hoi-like* inoculation on the mycorrhizal structures and on the reduction of both fertilizer dosages was observed during the first two years of the experiment.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi, organic fertilization, N fertilization, *Brachiaria*

M.Sc. Pedro J. González, Investigador Auxiliar y Dr.C. Ramón Rivera Espinosa, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, CP 32 700; Ing. Joan Arzola Batista, Especialista de la Microestación de Pastos y Forrajes de

RESUMEN. Se evaluó el efecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Glomus hoi-like* en la respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087) a la fertilización orgánica y nitrogenada. El experimento se realizó en la Microestación de Pastos y Forrajes de la Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita, en la provincia de Artemisa, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Se evaluaron once tratamientos conformados por las aplicaciones de 15 y 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹; 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹ combinada con 150 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹; 15 y 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹, ambas combinadas con 0, 75 y 100 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹ más la inoculación de *G. hoi-like*, así como los correspondientes testigos sin estiércol ni fertilizante nitrogenado, con y sin la inoculación de la cepa de HMA, los cuales se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Se presentan los resultados de los dos primeros años del establecimiento del pasto. El estiércol vacuno incrementó el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P asimilable y K intercambiable del suelo y su efecto permaneció durante los dos primeros años de su aplicación; los mayores valores de esas variables se obtuvieron con la dosis de 30 t.ha⁻¹. La inoculación de *G. hoi-like* combinada con las aplicaciones de 15 t de estiércol.ha⁻¹ más 75 o 100 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹, produjeron los mayores porcentajes de colonización micorrízica, densidad visual y densidad de esporas, así como contenidos de nutrientes en la biomasa y rendimientos de masa seca similares a los obtenidos con la aplicación de 30 t de estiércol.ha⁻¹ más 150 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹ sin inocular. El efecto de la inoculación de *G. hoi-like* en las estructuras micorrízicas y en la reducción de las dosis de ambos fertilizantes se mantuvo durante los dos años en que se condujo el experimento.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, fertilización orgánica, fertilización nitrogenada, *Brachiaria*

la Empresa Pecuaria Genética «Niña Bonita», carretera 43 km 1½, Cangrejeras, Bauta, Artemisa; M.Sc. Osvaldo Morgan y Juan F. Ramírez, Investigadores Agregados, Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, avenida Independencia, km 8½ Boyeros, La Habana.

✉ pgonzalez@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

En Cuba, los pastos y forrajes constituyen la base alimentaria del ganado vacuno (1) y ello demanda la obtención de adecuados volúmenes de biomasa con suficiente calidad para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales.

Muchos factores inciden en la producción de los pastos; sin embargo, la baja fertilidad de los suelos dedicados a la ganadería y la imposibilidad de disponer de cantidades suficientes de fertilizantes para garantizar una adecuada nutrición de estos cultivos debido a sus altos precios en el mercado internacional, limitan los rendimientos y la calidad de la biomasa que consume el ganado y en consecuencia, reducen su productividad (2, 3).

Estos aspectos, unido a la necesidad de disponer de tecnologías limpias que contribuyan a satisfacer la creciente demanda de alimentos procedentes del sector ganadero sin comprometer la calidad del entorno, sugieren la búsqueda de alternativas basadas en el máximo aprovechamiento de los recursos locales y en el manejo eficiente de los procesos biológicos que tienen lugar en el sistema suelo-planta-animal, para garantizar la explotación sostenible de los pastos (4).

El manejo de las asociaciones micorrízicas puede ser una vía para mejorar la productividad de los pastizales y a la vez reducir su dependencia de los fertilizantes, pues se conoce que los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) son componentes integrales de la rizosfera de estos cultivos, cuyas plantas permanecen estrechamente asociadas mediante una red de hifas interconectadas que incrementan el volumen de suelo que exploran las raíces, mejoran su estructura y facilitan la absorción de los nutrientes y el agua, entre otras funciones no menos importantes (5, 6).

Con el reconocimiento de la importancia funcional y ecológica de los HMA en los agroecosistemas de pastizales, en los últimos años han aumentado los estudios sobre el papel de las micorrizas en el establecimiento, nutrición, valor nutritivo y productividad de los pastos (7, 8, 9). No obstante, se reconoce la necesidad de realizar investigaciones integrales para que el manejo de la simbiosis micorrízica se incluya dentro de las tecnologías dirigidas a garantizar la explotación racional de estos cultivos (10, 11).

Basado en lo antes expuesto se realizó el presente trabajo, con el objetivo de evaluar el afecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus hoi-like* en la respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087) a la fertilización orgánica y nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Microestación de Pastos y Forrajes de la Empresa Pecuaria Genética «Niña Bonita», provincia de Artemisa, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (12) cuyas principales características químicas se muestran en la Tabla I. Este presentó un pH ligeramente

ácido, un contenido medio de materia orgánica y bajos tenores de P_2O_5 asimilable y K intercambiable (13).

Tabla I. Características químicas del suelo (profundidad 0-20 cm)

pH	MO H ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (mg.100 g ⁻¹)	Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹)			
			Ca	Mg	Na	K
6.5	3.18	2.8	10.15	2.80	0.15	0.23

La distribución de las precipitaciones durante el período en que se condujo el experimento se presenta en la Figura 1.

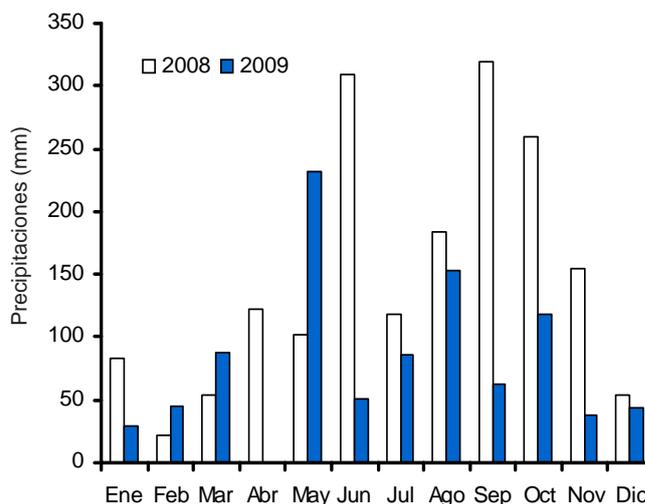


Figura 1. Distribución de las precipitaciones

Se observó un comportamiento diferenciado de la distribución de las lluvias durante el período en que se realizó el experimento, pues entre junio y octubre de 2008 el acumulado de precipitaciones superó en 603 mm al ocurrido durante ese mismo período del año 2009.

Se evaluaron once tratamientos conformados por las aplicaciones de 15 y 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹; 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹ combinada con 150 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹; 15 y 30 t de estiércol vacuno.ha⁻¹, ambas combinadas con 0, 75 y 100 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹ más la inoculación de *G. hoi-like*, así como los correspondientes testigos sin estiércol ni fertilizante nitrogenado, con y sin la inoculación de la cepa de HMA. Estos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Las parcelas tenían una superficie de 25.2 m² y un área de cálculo de 16.8 m².

El suelo se preparó de forma convencional, con una secuencia de labores de roturación (arado), grada, cruce (arado) y grada, a intervalos aproximados de 20 días entre cada una. La siembra del pasto se realizó el 30 de mayo de 2008, en surcos separados a 70 cm y a chorrillo, con una dosis de 8 kg de semilla total.ha⁻¹ (1 kg de semilla pura germinable.ha⁻¹) y a una profundidad de 1.5 cm. El estiércol vacuno, cuyas características químicas se presentan en la Tabla II, se aplicó sobre la superficie de la parcela y se incorporó al suelo con la última labor de aradura.

Tabla II. Características químicas del estiércol vacuno

MO (%)	N (%)	Relación C:N	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	pH	Humedad (%)
Base seca									
78.3	1.75	26.0	0.86	1.83	4.72	0.54	0.12	8.1	-
Base húmeda									
36.6	0.82	26.0	0.40	0.85	2.22	0.25	0.06	8.1	49.6

Este procedía de una de las vaquerías de la propia Microestación y tenía tiempo de deposición en el estercolero de cuatro meses. El fertilizante nitrogenado (urea) se aplicó de forma fraccionada, al momento de la siembra y después de cada corte. El experimento se condujo en condiciones de secano.

Se seleccionó la cepa de HMA *G. hoi-like* por su alto índice de eficiencia, según ensayos anteriores realizados en condiciones similares a las que se condujo este experimento (14). Para su aplicación se utilizó un inoculante sólido certificado que contenía 25 esporas.g⁻¹ de sustrato, producido en el departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA. Este se inoculó por el método del recubrimiento de la semilla (15), al momento de la siembra del pasto.

El primer corte del pasto se realizó a los 90 días después de la siembra y posteriormente a intervalos de 45 días, solo durante el período lluvioso, para un total de tres cortes cada año realizados a una altura de 10 cm de la superficie del suelo y en cada uno se pesó la masa verde (MV) de la parte aérea de las parcelas, de la cual se tomaron muestras de 200 g para determinar el porcentaje de masa seca (MS) y los contenidos de proteína bruta (N x 6.25), P y K de la biomasa. El rendimiento de MS se estimó a partir del rendimiento de MV y el por ciento de MS.

En cortes alternos de cada parcela se tomaron 10 submuestras de raíces a una profundidad de 0-20 cm, mediante el empleo de un cilindro metálico de 5 cm de diámetro y 20 cm de altura. Los puntos de muestreo se distribuyeron equidistantes y separados a 10 cm de los surcos (5). Estas se homogenizaron para formar una muestra compuesta por parcela, de las cuales se extrajo 1 g de raicillas para su tinción y clarificación (16). Se evaluaron la colonización micorrízica (17), la densidad visual (18) y la densidad de esporas en la rizosfera (19).

Durante el último corte de ambos años se tomaron cinco submuestras de suelo a la profundidad de 0-20 cm en puntos equidistantes distribuidos en el área de cálculo, para formar una muestra compuesta de cada parcela. Para la caracterización química inicial y el resto de los análisis del suelo se utilizaron las siguientes técnicas analíticas:

- ❖ pH H₂O y KCl: potenciometría. Relación suelo-agua: 1:2.5.
- ❖ Materia orgánica: Walkley y Black
- ❖ P₂O₅ asimilable: Oniani
- ❖ Cationes intercambiables: extracción con NH₄Ac 1 mol.L⁻¹ a pH 7 y determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K).

Los métodos para los análisis del suelo, el abono orgánico y los contenidos de nutrientes de la biomasa del pasto se describen en el manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos del INCA (20).

El procesamiento estadístico de los datos se hizo mediante el análisis de varianza de clasificación doble y se utilizó la dócima de Duncan (21), cuando existieron diferencias entre las medias de los tratamientos. Los datos de porcentaje de colonización micorrízica y número de esporas 50 g⁻¹ de suelo fueron previamente transformados, en ese orden, mediante las funciones arcsen $\sqrt{x/100}$ y log (x). Se utilizó el programa estadístico SPSS 11.5 para Windows (22).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estiércol vacuno incrementó significativamente el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P asimilable y K intercambiable del suelo, y su efecto se observó en el primer y segundo año de su aplicación (Figura 2). Los mayores valores de estas variables se obtuvieron con la aplicación de 30 t.ha⁻¹, y ello se correspondió con las cantidades de MO y nutrientes que aportó este abono orgánico.

Estos resultados ratifican las potencialidades del estiércol como mejorador de las propiedades químicas del suelo y fuente de nutrientes para las plantas, así como su contribución al reciclaje de los nutrientes en los agroecosistemas ganaderos (23, 24, 25), aspecto de vital importancia para las áreas ganaderas de Cuba, teniendo en cuenta que la baja fertilidad de la mayoría de sus suelos limita severamente la productividad de los pastos y cultivos forrajeros (26).

Los incrementos del pH y de los contenidos de MO, P asimilable y K intercambiable estuvieron relacionados con las cantidades de estiércol vacuno que se incorporaron al suelo y como era de esperar, los mayores efectos se obtuvieron con la dosis más alta. En este sentido, se conoce que las potencialidades del estiércol como fertilizante orgánico radican en su capacidad para aportar cantidades importantes de MO, macro y micronutrientes al suelo (27, 28), y ello a la vez está relacionado con el hecho de que una parte importante de los nutrientes que ingieren los animales no son utilizados para sus procesos metabólicos y por tanto, pasan a formar parte de las heces (29).

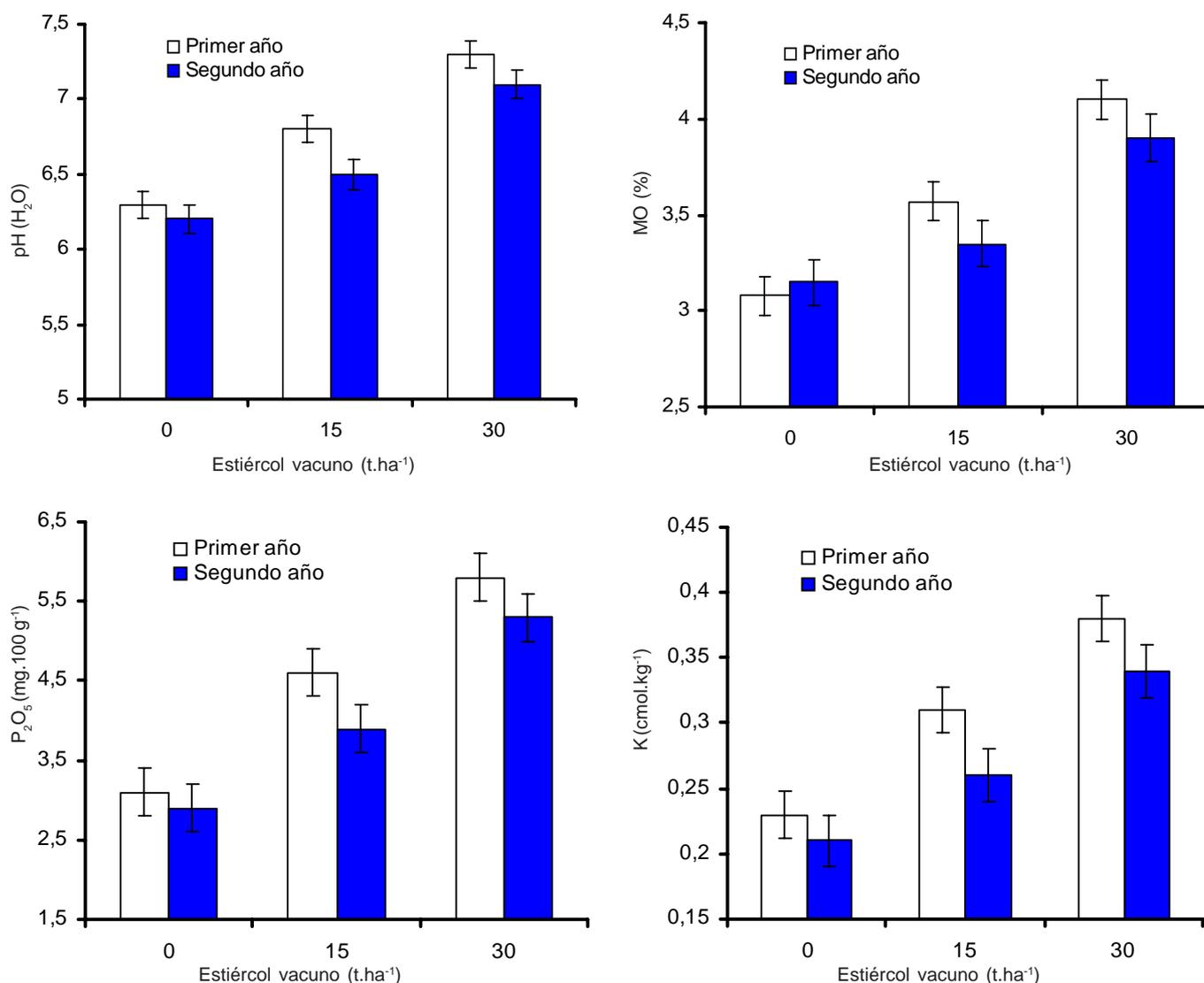


Figura 2. Efecto del estiércol vacuno en las características químicas del suelo

Como puede observarse en la Tabla III, los tratamientos que fueron inoculados con la cepa de HMA *G. hoi-like* exhibieron mayores porcentajes de colonización micorrízica, densidad visual y densidad de esporas en la rizosfera que aquellos no inoculados, los cuales reflejaron el nivel de ocupación de los HMA nativos.

Este efecto se observó muy claramente durante el primer año y demostró la capacidad de *G. hoi-like* para competir con las poblaciones nativas de HMA y alcanzar mayores niveles de ocupación fúngica durante ese período. No obstante, los valores más altos de estas variables se obtuvieron con la aplicación de 15 t de estiércol.ha⁻¹, con o sin la fertilización nitrogenada. Las adición de 30 t de estiércol.ha⁻¹ más la inoculación de *G. hoi-like*, sola o combinada con cualesquiera de las dosis de N, produjo un efecto depresivo en las estructuras micorrízicas del pasto.

El efecto de la inoculación de *G. hoi-like* en las estructuras micorrízicas del pasto se extendió hasta el segundo año, pero solo en aquellos tratamientos donde

se aplicó 15 t de estiércol.ha⁻¹ solo o acompañado del fertilizante nitrogenado; durante este periodo los niveles de colonización, densidad visual y densidad de esporas que se obtuvieron con 15 t de estiércol.ha⁻¹ más la adición de 75 o 100 kg de N.ha⁻¹ fueron significativamente mayores que los alcanzados con la aplicación de esa dosis de estiércol sin N.

En los agroecosistemas de pastizales, las estructuras intra y extrarradicales de las plantas están estrechamente relacionadas con la disponibilidad de nutrientes del suelo debido a que la simbiosis micorrízica está controlada por el suministro de carbono del hospedero (11, 30, 31, 32). Entonces, estas estructuras se pueden incrementar con un suministro adecuado de nutrientes o por el contrario, pueden reducirse cuando se aplican cantidades de fertilizantes que exceden los requerimientos de los pastos, ya que la entrega de los recursos del suelo a la planta hospedera a través de los HMA pierde importancia y en consecuencia, se distribuyen menos carbono y otros fotosintatos hacia las raíces en función de garantizar la simbiosis (30, 33, 34, 35).

Tabla III. Efecto de los tratamientos en las estructuras micorrízicas del pasto

Estiércol (t.ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	HMA	Primer año			Segundo año		
			Colonización (%)	Densidad visual (%)	Esporas/50 g	Colonización (%)	Densidad visual (%)	Esporas/ 50 g
0	0	No	(37.3) 0.66 d	1.35 c	(284) 2.45 c	(28.7) 0.57 c	1.17 c	(187) 2.27 c
15	0	No	(39.7) 0.68 d	1.48 c	(310) 2.49 c	(30.3) 0.58 c	1.23 c	(212) 2.33 c
30	0	No	(35.9) 0.64 d	1.38 c	(327) 2.51 c	(27.8) 0.56 c	1.19 c	(193) 2.29 c
30	150	No	(38.2) 0.67 d	1.42 c	(290) 2.46 c	(28.7) 0.57 c	1.24 c	(203) 2.21 c
0	0	Sí	(52.7) 0.81 b	2.21 b	(439) 2.64 b	(30.1) 0.58 c	1.19 c	(196) 2.29 c
15	0	Sí	(63.8) 0.93 a	2.88 a	(587) 2.77 a	(45.5) 0.74 b	1.83 b	(322) 2.51 b
15	75	Sí	(65.5) 0.94 a	2.93 a	(591) 2.77 a	(57.2) 0.86 a	2.48 a	(473) 2.67 a
15	100	Sí	(64.9) 0.94 a	3.01 a	(615) 2.79 a	(58.8) 0.87 a	2.53 a	(462) 2.66 a
30	0	Sí	(44.0) 0.73 c	1.40 c	(288) 2.46 c	(30.4) 0.58 c	1.21 c	(213) 2.33 c
30	75	Sí	(46.3) 0.75 c	1.35 c	(307) 2.49 c	(28.3) 0.56 c	1.18 c	(191) 2.28 c
30	100	Sí	(43.5) 0.72 c	1.32 c	(291) 2.46 c	(29.9) 0.58 c	1.23 c	(208) 2.32 c
ES ±			0.01**	0.20**	0.03**	0.01**	1.16**	0.02**

Promedios con letras no comunes en cada columna difieren significativamente para P<0.05

() Datos originales

Tales razones pudieran explicar los mayores niveles de colonización, densidad visual y densidad de esporas que se observaron en el espacio y el tiempo con la aplicación de 15 t de estiércol.ha⁻¹ más la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. hoi-like*, así como la reducción de estas estructuras cuando la inoculación de esta cepa se combinó con la adición de la dosis más alta del abono orgánico.

Se encontró un efecto significativo de los tratamientos en los contenidos de nutrientes de la biomasa del pasto (Tabla IV). Tanto los fertilizantes como la cepa de HMA, solos o combinados, incrementaron los tenores de proteína bruta (PB), P y K en relación con el testigo absoluto, lo que indicó que las plantas dispusieron de un mayor suministro de nutrientes; ya sea por su aporte directo a través de la fertilización o por el aumento del aprovechamiento de los nutrientes de los fertilizantes e incluso del suelo, a partir del incremento de las estructuras micorrízicas del pasto. Este efecto se observó durante el primer y el segundo año en los contenidos de PB y K, y solo durante el primero en el contenido de P de la biomasa.

Los valores absolutos de PB, P y K que exhibió el pasto durante el primer año fueron menores que los alcanzados en el segundo.

En ambos períodos, los tenores de PB y K que se obtuvieron con la aplicación de 15 t de estiércol.ha⁻¹ y 75 o 100 kg.ha⁻¹ de N más la inoculación de *G. hoi-like*, no difirieron de los alcanzados con la dosis de 30 t de estiércol.ha⁻¹ y 150 kg de N.ha⁻¹ en ausencia de inoculación. Con la adición de 15 t de estiércol.ha⁻¹ combinado solamente con la inoculación de la cepa, estas variables exhibieron valores similares a los observados con la aplicación de 30 t de estiércol.ha⁻¹ sin fertilizante nitrogenado, pero significativamente menores que en los tratamientos anteriores.

Si se tiene en cuenta que con la inoculación de *G. hoi-like* y la aplicación de 15 t de estiércol.ha⁻¹ combinada con la fertilización nitrogenada también se obtuvieron los mayores efectos en las estructuras micorrízicas, se deduce que la inoculación de una cepa eficiente acompañada de la aplicación de dosis adecuadas de fertilizantes para los pastos inoculados, las que suelen

Tabla IV. Contenidos de nutrientes en la biomasa aérea del pasto (% MS)

Estiércol (t.ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹)	HMA	Primer año			Segundo año		
			PB	P	K	PB	P	K
0	0	No	7.02 e	0.16 b	1.26 c	8.36 e	0.22	1.45 c
15	0	No	7.98 d	0.20 a	1.34 b	9.49 d	0.23	1.59 b
30	0	No	8.87 b	0.21 a	1.47 a	10.56 bc	0.24	1.72 a
30	150	No	9.94 a	0.20 a	1.49 a	11.93 a	0.22	1.69 a
0	0	Sí	8.05 d	0.19 a	1.35 b	8.40 e	0.24	1.58 b
15	0	Sí	8.91 b	0.20 a	1.48 a	10.17 c	0.23	1.71 a
15	75	Sí	10.11 a	0.19 a	1.49 a	11.88 a	0.22	1.68 a
15	100	Sí	9.97 a	0.21 a	1.51 a	12.01 a	0.22	1.70 a
30	0	Sí	9.08 b	0.20 a	1.50 a	10.63 bc	0.24	1.73 a
30	75	Sí	9.93 a	0.19 a	1.47 a	10.89 b	0.23	1.67 a
30	100	Sí	10.15 a	0.21 a	1.49 a	11.07 b	0.22	1.72 a
ES ±			0.20**	0.01**	0.02**	0.23**	0.01**	0.03**

Promedios con letras no comunes en cada columna difieren significativamente para P<0.05

ser menores que las que necesitan los pastos no inoculados (36, 37), puede contribuir decisivamente a mejorar el valor nutritivo de la biomasa, a partir de un mejor aprovechamiento de los nutrientes de los fertilizantes y del propio suelo. Esta hipótesis también ha sido planteada por otros autores al observar el efecto de la inoculación de cepas de HMA eficientes en los contenidos de nutrientes de especies forrajeras (37, 38, 39).

En la Tabla V se presenta el efecto de los tratamientos en el rendimiento de MS del pasto. Tanto en el primero como en el segundo año, la dosis de 15 t de estiércol.ha⁻¹ combinada con las aplicaciones de 75 o 100 kg de N.ha⁻¹ y la inoculación de *G. hoi-like*, produjeron rendimientos similares a los alcanzados con la aplicación de 30 t de estiércol.ha⁻¹ y 150 kg de N.ha⁻¹ sin inocular. La inoculación de la cepa de HMA conjuntamente con la aplicación de 30 t de estiércol.ha⁻¹, solo o con 75 o 100 kg de N.ha⁻¹, incrementó significativamente los rendimientos en relación con el testigo sin estiércol ni HMA, pero estos fueron menores que los alcanzados con esa misma dosis de estiércol más la aplicación 150 kg de N.ha⁻¹ sin inocular.

Tabla V. Rendimiento de MS (t.ha⁻¹) del pasto

Estiércol (t.ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	HMA	Primer año	Segundo año
0	0	No	11.40 d	7.71 e
15	0	No	14.53 c	9.31 d
30	0	No	17.48 b	10.76 c
30	150	No	19.75 a	13.03 a
0	0	Sí	14.61 c	9.43 d
15	0	Sí	17.92 b	10.72 c
15	75	Sí	20.20 a	13.17 a
15	100	Sí	19.93 a	13.21 a
30	0	Sí	17.24 b	10.61 c
30	75	Sí	17.63 b	11.04 bc
30	100	Sí	18.20 b	11.85 b
ES ±			0.45**	0.34**

Promedios con letras no comunes en cada columna difieren significativamente para $P < 0.05$

La sola inoculación de *G. hoi-like* también incrementó significativamente el rendimiento del pasto en relación con el testigo sin estiércol ni HMA, pero solo durante el primer año, y sus valores fueron menores que los alcanzados cuando esta se combinó con el estiércol y el fertilizante nitrogenado.

Estos resultados confirman, por una parte, las ventajas del uso del estiércol vacuno, acompañado de aplicaciones complementarias de N, para reducir el período de establecimiento e incrementar la productividad de los pastos (24, 39), pues con la aplicación de 30 t.ha⁻¹ y 150 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹, prácticamente se logró duplicar el rendimiento.

Si se tiene en cuenta la influencia que tuvo el estiércol en las características químicas del suelo y el estado nutricional de las plantas, no hay dudas de que su efecto en el rendimiento estuvo relacionado con el aporte de MO

y nutrientes; aunque no se debe descartar el hecho de que su efecto en la productividad del pasto haya sido también el resultado de la mejora del estado físico del suelo, ya que la fertilización orgánica juega un papel importante en este sentido (40).

En relación con la inclusión de los HMA en un sistema de fertilización órgano-mineral basado en la aplicación de estiércol vacuno y fertilizante nitrogenado, se hizo evidente que para alcanzar un adecuado rendimiento de biomasa, además de la inoculación de una cepa eficiente fue necesario un suministro de nutrientes, en este caso procedentes de ambas fuentes, para garantizar un adecuado funcionamiento micorrízico y en consecuencia, un incremento en la productividad del pasto (33, 37).

No obstante, el hecho de que con la inoculación de *G. hoi-like* más la aplicación de 15 t de estiércol.ha⁻¹ y 75 o 100 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹, se hayan obtenido rendimientos similares a los alcanzados con 30 t de estiércol.ha⁻¹ y 150 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹ confirma la tesis de que cuando se inocula una cepa de HMA eficiente, las cantidades de fertilizantes a aplicar para alcanzar un determinado nivel de rendimiento, suelen ser menores que las necesarias para lograr ese rendimiento en ausencia de inoculación, aspecto que también ha quedado demostrado en otros cultivos (41).

El papel de los HMA en la reducción de las dosis de estiércol y fertilizante nitrogenado no solo pudiera estar ligado al aumento del coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes procedentes de los fertilizantes y del suelo, sino también puede estar relacionado con la contribución de estos microorganismos a la mineralización de la MO. Estudios recientes han revelado que el micelio extrarradical de los HMA excreta enzimas hidrolíticas que pueden estar involucradas en la descomposición de la MO (42). Además, se han encontrado correlaciones positivas y altamente significativas entre el crecimiento de las hifas y la producción de metabolitos secundarios por los microorganismos involucrados en la descomposición de la MO del suelo (43, 44) e incluso, incrementos de la diversidad de HMA en suelos tratados por mucho tiempo con dosis moderadas de residuos orgánicos (45).

Los altos niveles de precipitaciones que ocurrieron entre junio y octubre de 2008, periodo que transcurrió entre la siembra y el último corte realizado durante el primer año del establecimiento del pasto, pudieron haber influido en los rendimientos de MS que se obtuvieron durante el primer año, los cuales fueron hasta un 40 % mayores que los obtenidos durante similar etapa del año posterior. Debe señalarse que entre junio y octubre de 2008 se alcanzó un acumulado de precipitaciones de 1187.8 mm, superando en 602.6 mm a la lluvia acumulada durante ese período del año 2009.

De este modo, las mayores cantidades de estructuras fúngicas y menores concentraciones de PB, P y K en la biomasa que se observaron durante el primer año en relación con el segundo, también pudieron estar influenciadas por el desigual crecimiento del pasto

durante ambos períodos. En el primer caso, el mayor crecimiento pudo haber aumentado la demanda de nutrientes y de hecho, las estructuras micorrízicas; además, las plantas podrían haber garantizado mayores recursos para el mantenimiento de la simbiosis (30, 31). En el segundo, el mayor crecimiento del pasto pudo provocar una disminución de las concentraciones de nutrientes en la biomasa, por un efecto de dilución (3).

Los resultados expuestos en este trabajo permiten concluir que la inclusión de *G. hoi*-like en un sistema de fertilización órgano-mineral basado en la aplicación de estiércol vacuno y fertilizante nitrogenado, incrementó las estructuras micorrízicas y permitió reducir en 15 t.ha⁻¹ y 75 kg.ha⁻¹, respectivamente, las dosis de estiércol vacuno y fertilizante nitrogenado a aplicar al pasto *Brachiaria* híbrido cv. CIAT 36087 (Mulato II) sin afectar sus contenidos de nutrientes en la biomasa ni su rendimiento, al menos durante los dos primeros años de su establecimiento.

REFERENCIAS

- Herrera, R. S. Evaluación de gramíneas. Contribución del Instituto de Ciencia Animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 2005, tomo 39, no. 3, p. 253-259.
- Cavallini, M. C. Correlação entre a produtividade e teor de proteína bruta do capim-Marandu com atributos físicos e químicos de um Latossolo do Cerrado Brasileiro. Tesis para la obtención del título de Maestro en Agronomía. Universidade Estadual Paulista. Facultad de Ingeniería de Ilha Solteira, São Paulo, 2009, 124 p.
- Costa, K. A. P.; Faquin, V.; Oliveira, I. P.; Severiano, E. C.; Simon, G. A. y Carrijo, M. S. Extração de nutrientes do capim-marandu sob doses e fontes de nitrogênio. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.*, 2009, vol. 10, no. 4, p. 801-812.
- Li, G. D.; Riley, I. T. y McKay, A. C. Pasture management clearly affects soil microbial community structure and N-cycling bacteria. *Pedobiologia*, 2009, vol. 52, p. 237-251.
- Johnson, N. C.; Rowland, D. L.; Corkidi, L.; Egerton, L. M. y Allen, E.B. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semi-arid grasslands. *Ecology*, 2003, vol. 84, no. 7, p. 1895-1908.
- Posada, R. H.; Franco, L. A.; Ramos, C.; Plazas, L. S., Suárez, J. C. y Álvarez, F. Effect of physical, chemical and environmental characteristics on arbuscular mycorrhizal fungi in *Brachiaria decumbens* (Stapf) pastures. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, vol. 104, no. 1, p. 132-140.
- Moreira, F. M. S. y Siqueira, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Moreira, F.M.S. e Siqueira, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. UFLA. Lavras, MG, 2006, 626 p.
- Miranda de, E. M.; Júnior, O. J. y da Silva, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para o amendoim forrageiro consorciado com braquiária. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2008, vol. 43, no. 9, p. 1185-1191.
- Fassio, P. O.; Duarte, N. F.; de Melo, P. F.; Pinto, D. M. y Oliviera, J. R. Recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* cv Marandu sob diferentes adubações associadas à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí, Bambuí/MG, 2008.
- Carneiro, R. F. V.; Martins, M. A.; Freitas, M. S. M.; Detmann, E. y Vasquez, H. M. Efeito de residuo agroindustrial e micorriza sobre o crescimento do estilosantes. *Arch. Zootec.*, 2008, vol. 57, no. 218, p. 259-269.
- Delbem, F. C.; Scabora, M. H.; Filho, C. V. S.; Heinrichs, R.; Ferrari, T. A.; Cassiolato, A. M. R. Colonização micorrízica e fertilidade do solo submetido a fontes e doses de adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2010, vol. 32, no. 3, p. 455-461.
- Cuba, Minagri, Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Agrinfor, 1999. 64 p.
- Paneque, V. M. /et al./ Manual de técnicas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. INCA. La Habana, 2002, 96 p.
- González, P. J.; Plana, R.; Fernández, F. e Igarza, E. Respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato (CIAT 36061) a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. *Pasturas Tropicales*, 2007, vol. 29, no. 1, p. 19-24.
- Fernández, F.; Gómez, R.; Martínez, M. A. y de la Noval, B. M. Producto inoculante micorrizógeno. Patente no. 22 641. 2001. Cuba.
- Phillips, D. M. y Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, p. 158-161.
- Giovanetti, M. y Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 1980, vol. 84, p. 489-500.
- Trouvelot, A.; Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. En: Proc. 1st European Symposium on Mycorrhizae: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, (1986, jul. 1-5: Dijón), 1986. p. 217-222.
- Herrera R. A.; Ferrer, R. L.; Furrázola E. y Orozco M. O. Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, Evolución y Procesos Sociales. (Eds. Maximina Monasterio) programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida. 1995.
- Paneque, V. M. y Calaña, J. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. INCA. La Habana, 2001, 29 p.
- Duncan, D. B. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 1955, vol. 11, no. 1.
- SPSS. Statistical software, version 11.5.1. SPSS Institute. Chicago, Illinois. 2002
- Obour, A. K.; Silveira, M. B.; Adjei, J. M. Vendramini y Rechcigl, J. E. Cattle manure application strategies effects on bahiagrass yield, nutritive value, and phosphorus recovery. *Agronomy Journal*, 2009, vol. 101, no. 5, p. 1099-1107.
- Crespo, G.; Arteaga, O., Valdés, G. y Vega, J. Utilización de residuales de las instalaciones pecuarias para la producción de pastos y forrajes tropicales. En VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo (julio 7- 9, Ciudad de La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto de Suelos. 2010.

25. Sousa, R. F. de; Faquin, V.; Sobrinho, R. R. L. y Oliveira, E. A. B. Influencia de esterco bovino e calcário sobre o efeito residual da adubação fosfatada para a *Brachiaria brizantha* cultivada após o feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 2010, vol. 34, p. 143-150.
26. Crespo, G. La problemática de la degradación de los suelos en las áreas ganaderas de América Tropical. Vías sostenibles de recuperación. En: I Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal (octubre 17-19, San José de las Lajas, La Habana), 2001, Memorias CD-ROM. Instituto de Ciencia Animal.
27. Lima de, J. J.; da Mata, J. D. V.; J. D.; Neto, R. P. y Scapim, C. A. Influência da adubação orgânica nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico e na produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Acta Sci. Agron.*, 2007, vol. 29, p. 715-719.
28. Ofosu-Anim, J. y Leitch, M. Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. *Australian J. of Crop Science*, 2009, vol. 3, no. 1, p. 13-19.
29. Crespo, G.; Rodríguez, I.; Ortiz, J.; Torres, V. y Cabrera, C. El reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-pasto-animal. Una contribución al conocimiento científico en Cuba. Eds. Gustavo Crespo López e Idalmis Rodríguez García. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, 2005, 86 p.
30. Collins, N.; Rowland, D. L.; Corkidi, L. y Allen, E. B. Plant winners and losers during grassland N-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas. *Ecology*, 2008, vol. 89, no. 10, p. 2868-2878.
31. Carneiro, R. F. V.; Martins, M. A.; Freitas, Marta, S. M.; Detmann, E. y Vasquez, H. M. Inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo na produção do capim-andropogon, em substrato não estéril. *Rev. Bras. Cienc. Agr.*, 2007, vol. 2, no. 3, p. 212-218.
32. Atul-Nayyar, A.; Hamel, C.; Hanson, K. y Germida, J. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. *Mycorrhiza*, 2009, vol. 19, no. 4, p. 239-246.
33. Porras-Alfaro, A.; Herrera, J.; Natvig, D. O. y Sinsabaugh, R. L. Effect of long-term nitrogen fertilization on mycorrhizal fungi associated with a dominant grass in a semiarid grassland. *Plant and Soil*, 2007, vol. 296, no. 1-2, p. 65-75.
34. Eguerton-Warburton, L. M.; Johnson, N. C. y Allen, E. B. Mycorrhizal community dynamics following nitrogen fertilization: a cross-site test in five grasslands. *Ecological Monographs*, 2007, vol. 77, no. 4, p. 527-544.
35. González, P. J.; Arzola, J.; Ramírez, J. F.; Rivera, R. y Morgan, O. Permanencia de la efectividad de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en agroecosistemas de pastizales. En Congreso Científico del INCA (17:2010, nov. 22-26, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 2010.
36. Carneiro, R. F. V.; Martins, M. A.; Vásquez, H. M. y Detmann, E. Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. *Arch. Zootec.*, 2010, vol. 59, no. 227, p. 415-426.
37. Calderón, M. y González, P. J. Respuesta el pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Likoni) cultivado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 3, p. 33-37.
38. Ahmad, I.; Mizra, S. N.; Nizami, S. N y Hayet, R. Yield and nutrient uptake of *Cenchrus ciliaris* as affected by VA mycorrhizal inoculation. *Sarhad J. Agric.*, 2008, vol. 24, no. 2, p. 289-292.
39. Helton, T. J.; Butler, T. J.; McFarland, M. L.; Hons, F.M.; Mukhtar, S. y Muir, J. P. Effects of dairy manure compost and supplemental inorganic fertilizer on coastal bermudagrass. *Agronomy Journal*, 2008, vol. 100, no. 4, p. 924-930.
40. Butler, T. J. y Muir, J. P. Dairy manure compost improves soil and increases tall wheatgrass yield. *Agronomy Journal*, 2006, vol. 98, p. 1090-1096.
41. Rivera, R. y Fernández, K. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados. En: Rivera, R. /et al./ El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana, 2003. p. 49-94.
42. Leigh, J.; Hodge, A. y Fitter, A. H. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytologist*, 2009, vol. 181, p. 199-207.
43. Gryndler, M.; Hršelová, H.; Cajthaml, T.; Havránková, M.; Øezáèová, V.; Gryndlerová, H. y Larsen, J. Influence of soil organic matter decomposition on arbuscular mycorrhizal fungi in terms of aymbiotic hyphal growth and root colonization. *Mycorrhiza*, 2009, vol. 19, p. 255-266.
44. Schädler, M.; Brandl, R. y Kempel, A. «Afterlife» effects of mycorrhization on the decomposition of plant residues. *Antonie van Leeuwenhoek*, vol. 42, 2010, 521-523.
45. Alguacil, M. M.; Diaz-Pereira, E.; Caravaca, F.; Fernández, D. A. y Roldán, A. Increased diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment via application of organic amendments to a semiarid degraded soil. *Applied and Environ. Microb.*, 2009, vol. 74, no. 13, p. 4254-4263.

Recibido: 21 de julio de 2010

Aceptado: 13 de junio de 2011

¿Cómo citar?

González, Pedro J.; Arzola, Joan; Morgan, Osvaldo; Rivera Espinosa, Ramón y Ramírez, Juan F. Contribución de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares a la reducción de la fertilización orgánica y nitrogenada en *Brachiaria* híbrido cv. CIAT 36087 (Mulato II). *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 4, p. 5-12. ISSN 0258-5936