

Respuesta de la morera (*Morus alba*) a niveles crecientes de nitrógeno orgánico¹

Response of mulberry (*Morus alba*) to increasing rates of organic nitrogen¹

J. A. Elizondo-Salazar

Estación Experimental “Alfredo Volio Mata”

Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica

E-mail: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

Resumen

Se llevó a cabo un experimento en la Estación Experimental “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica, con el objetivo de evaluar la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno (proveniente de un fertilizante orgánico) en la producción de biomasa y en la proteína cruda de la morera. El período experimental fue de 12 meses. Se utilizó una plantación de morera de 12 años de establecida, sembrada con espaciamientos de 0,9 x 0,40 m (27 777 plantas/ha). El diseño fue de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: 0, 150, 300 y 450 kg de N/ha/año. Las plantas se podaron a 0,6 m sobre el nivel del suelo al principio del ensayo y después cada 90 días. El abono orgánico se aplicó en dos dosis iguales durante la época de lluvia. Las hojas y los tallos fueron separados y analizados para determinar el contenido de materia seca y de proteína cruda. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de MS ni en el rendimiento de MS entre tratamientos. Similar comportamiento se halló en el contenido de proteína bruta de la planta entera y el tallo; sin embargo, el contenido de PB fue mayor con la aplicación más alta de nitrógeno, que difirió significativamente ($p<0,05$). Se concluye que los niveles de nitrógeno orgánicos aplicados no mostraron respuestas notables en la producción de biomasa total, ni se evidenciaron alteraciones importantes en las proporciones estructurales de la planta que manifestaran un cambio en el rendimiento de las hojas y los tallos.

Palabras clave: Abonos orgánicos, *Morus alba*

Abstract

A trial was conducted at the Experimental Station “Alfredo Volio Mata” of the University of Costa Rica, in order to evaluate the application of increasing nitrogen rates (from an organic fertilizer) on the biomass production and crude protein of mulberry. The experimental period was 12 months. A mulberry plantation with 12 years of establishment, planted with spacing of 0,9 x 0,40 m (27 777 plants/ha), was used. The design consisted in completely randomized blocks with four treatments: 0, 150, 300 and 450 kg N/ha/year. The plants were pruned at 0,6 m above the soil level at the beginning of the trial and then every 90 days. The organic manure was applied in two equal dosages during the rainy season. The leaves and stems were separated and analyzed to determine the dry matter and crude protein content. No significant differences were found in the DM content or DM yield among treatments. Similar performance was found in the crude protein content of the whole plant and the stem; however, the CP content was higher with the highest nitrogen application, which significantly differed ($p<0,05$). It is concluded that the applied organic nitrogen rates neither showed remarkable responses in total biomass production, nor important alterations were observed in the structural proportions of the plants manifesting a change in the yield of leaves and stems.

Key words: *Morus alba*, organic fertilizers

¹Parte del proyecto inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, No. 737-A4-049. Presentado en la Reunión Anual de la American Dairy Science Association y la American Society of Animal Science. Indianapolis, Indiana, Estados Unidos. 7-11 de julio, 2008.

Introducción

En algunas áreas de Costa Rica y en otros países del mundo, la disponibilidad y la calidad del forraje para pastoreo, en ocasiones, no es suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales, por lo que los forrajes arbóreos son ampliamente utilizados como complemento a la dieta.

La morera (*Morus alba*) es una de estas especies forrajeras, la cual muestra excelentes características de palatabilidad y consumo tanto en ganado bovino (Boschini, 2000) como caprino (Elizondo, 2004), además de presentar una gran versatilidad agronómica y excelentes rendimientos de biomasa y calidad nutritiva (Boschini, 2006; Elizondo, 2007).

Diversas investigaciones realizadas con la morera destacan el alto contenido de proteína en las hojas, su producción por unidad de área (Sánchez, 2002), así como la necesidad de reponer al suelo el nitrógeno extraído por las plantas (Boschini *et al.*, 1999). Por lo tanto, para obtener buenos rendimientos de forraje con niveles adecuados de proteína, sin comprometer las reservas del suelo, se requiere de altas dosis de fertilizantes químicos, lo que incrementa los costos de producción y el riesgo de contaminación ambiental (Elizondo, 2006).

Con el fin de reducir los costos de producción y, a su vez, de utilizar tecnologías menos contaminantes, un gran número de productores han optado por el empleo de fertilizantes orgánicos. Entre los más utilizados se encuentra el compostaje, el cual se obtiene mediante un proceso biológico aeróbico, en que los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (Van Kessel y Reeves, 2002). La eficiencia con que los cultivos utilizan el nitrógeno presente en este tipo de abono depende de muchos factores relacionados con el suelo, la planta, el clima y el manejo (Ladha *et al.*, 2005); sin embargo, se conoce poco sobre su utilización en cultivos de alto rendimiento forrajero, como la morera. Por esta razón se realizó el presente trabajo, con el objetivo de evaluar la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno (proveniente de un fertilizante orgánico) en la producción de biomasa y en la proteína cruda de la morera.

Materiales y Métodos

Localización. El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica, ubicada en la provincia de Cartago a 1 542 msnm.

Clima y suelo. La precipitación media anual es de 2 050 mm, distribuida durante los meses de mayo a noviembre. La humedad relativa media es de 84% y la temperatura media de 19,5°C. El suelo es de origen volcánico, está clasificado como Typic Distrandepts (Vásquez, 1982) y se caracteriza por tener una profundidad media, con buen drenaje natural y fertilidad media (tabla 1). Ecológicamente la zona se tipifica como Bosque Húmedo Montano Bajo (Tosi, citado por Vásquez, 1982).

Tabla 1. Composición química del suelo al inicio del experimento.

Table 1. Chemical composition of the soil at the beginning of the trial.

pH	CICE	cmol (+)/L				mg/L					%	
		Ca	Mg	K	Acidez	P	Cu	Fe	Mn	Zn	N _{Total}	MO
6,0	9,38	6,4	1,6	1,2	0,1	8,3	15,0	82,0	2,8	2,5	0,27	5,8

Características del área. Se utilizó un área de 1 000 m², de una plantación de morera con 12 años de establecida y con una densidad de siembra de 27 777 plantas/ha (0,40 m entre plantas y 0,90 m entre hileras).

Diseño experimental y tratamientos. El área total se dividió en tres grandes bloques. Cada bloque fue subdividido en cuatro parcelas para los diferentes tratamientos y se empleó un diseño de bloques completos al azar (Kuehl, 2002). Se utilizaron tres niveles de fertilización orgánica (150, 300 y 450 kg de N/ha/año) y un control sin fertilización.

Procedimiento experimental. La aplicación del abono se fraccionó en dos partes iguales durante la época de lluvia. El abono orgánico tipo compostaje se elaboró a partir de residuos de jardín (hojas, zacate y arbustos). Una muestra representativa del abono fue enviada al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, para su análisis químico (tabla 2).

Tabla 2. Composición química del compostaje utilizado en el experimento.

Table 2. Chemical composition of the compost used in the trial.

	cmol (+)/L			%	
pH	Ca	Mg	K	N _{Total}	H ₂ O
7,05	1,72	0,45	0,63	1,10	37,14

Al inicio del experimento, las plantas de morera se podaron de manera uniforme a 60 cm de altura sobre el nivel del suelo. A partir de esta uniformización se programaron cuatro cortes consecutivos cada 90 días, para una duración total de 12 meses (inicio: julio del 2003; final: julio del 2004).

Al finalizar cada período experimental de rebrote, las parcelas fueron cosechadas totalmente a la misma altura del corte de uniformización. La producción de biomasa fresca se pesó en el campo, se extrajo una muestra aleatoria del 10% de plantas enteras de cada parcela y se separaron en tallos y hojas. Cada componente fue pesado en fresco y secado a 60°C, durante 48 horas. Las muestras se molieron en un molino Willey, con una malla de un milímetro. Posteriormente se determinó el contenido de materia seca y proteína cruda siguiendo los métodos aprobados por AOAC (2002). Se estimaron los rendimientos de biomasa verde, biomasa seca y proteína cruda por hectárea en la planta entera, en las hojas y en los tallos a partir de los muestreos realizados.

Los datos obtenidos se analizaron con el PROC GLM del paquete estadístico SAS (2006), de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Producción en kg/ha/año

μ = Media general

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

γ_k = Efecto del k-ésimo muestreo

ε_{ijk} = Error experimental

Las fuentes que resultaron estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) se sometieron a la prueba de Duncan.

Resultados y Discusión

En la tabla 3 se muestra el rendimiento total de materia verde, materia seca y proteína cruda de la planta entera de la morera, de las hojas y de los tallos, obtenido de los cortes secuenciales efectuados a través del experimento para cada uno de los tratamientos. En general no se encontraron

diferencias significativas para las variables de producción evaluadas. El rendimiento total de materia verde fue de 106,9; 102,6; 120,1 y 123,0 t/ha/año para los niveles de 0, 150, 300 y 450 kg de N/ha/año, respectivamente. Estos valores superan parcialmente los reportados por Espinoza (1996) y Boschini *et al.* (1998) , quienes en explotaciones intensivas localizadas en zonas de alta luminosidad, en suelos bien drenados y con precipitaciones media o alta, obtuvieron 70-119 t/ha/año de biomasa fresca.

Tabla 3. Producción anual y composición química de las hojas, los tallos y la planta entera de morera fertilizada con niveles crecientes de nitrógeno orgánico.

Table 3. Annual production and chemical composition of leaves, stems and whole mulberry plant fertilized with increasing rates of organic nitrogen.

Variable	Tratamiento (kg de N/ha/año)				SEM
	0	150	300	450	
Materia verde, kg/ha/año					
Hojas	65 606,2	62 464,3	72 207,8	73 189,3	3 817,1
Tallos	41 378,5	40 174,8	48 699,2	49 822,7	3 214,3
Planta entera	106 984,6	102 639,1	120 907,1	123 012,0	6 938,5
Materia seca, %					
Hojas	22,28	22,16	21,12	21,51	0,44
Tallos	23,47	23,80	22,70	23,03	0,43
Planta entera	22,67	22,63	21,63	21,60	0,33
Proteína cruda, %					
Hojas	15,23 ^b	15,79 ^{ab}	16,35 ^a	16,43 ^a	0,31*
Tallos	5,36	5,48	5,52	5,82	0,16
Planta entera	11,50	11,78	12,05	12,21	0,20

a,b valores con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$

El rendimiento total de materia seca para cada uno de los tratamientos se puede observar en la figura 1. La aplicación de 0, 150, 300 y 450 kg de N/ha/año produjo 23,4; 23,6; 26,1 y 26,7 t/ha/año, respectivamente; estos valores son muy similares a los reportados en otros ensayos. En Guatemala, Rodríguez *et al.* (1992) obtuvieron de 0,4 a 6,8 t de MS/ha/corte con plantas enteras, cosechadas a 30 cm sobre el nivel del suelo, con intervalos de poda de seis a 12 semanas y fertilización de 0 a 80 kg de N/ha/año.

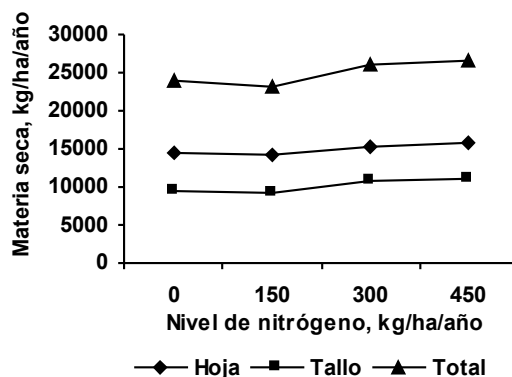


Fig. 1. Producción de materia seca de las hojas, los tallos y la planta entera de morera fertilizada con niveles crecientes de nitrógeno.

Fig. 1. Dry matter production of the leaves, stems and whole mulberry plant fertilized with increasing nitrogen rates.

En otro estudio, al emplear niveles de fertilización nitrogenada de 0-480 kg/ha/año durante tres años, Benavides *et al.* (1994) lograron de 19-30 t de MS/ha/año. Por su parte, Elizondo (2007) evaluó la aplicación de 150 kg de N/ha/año proveniente de dos tipos de abonos orgánicos y obtuvo 21,6 y 21,5 t de MS/ha/año para compostaje y el lombriabono, respectivamente.

En la figura 2 se puede observar los rendimientos de proteína cruda. La aplicación de 0, 150, 300 y 450 kg de N/ha/año produjo 2,7; 2,6; 3,1 y 3,2 t/ha/año, respectivamente. Como promedio general para los cuatro tratamientos, la cantidad de proteína cruda producida equivale a 2 961,85 kg/ha/año, lo que representa 473,9 kg de N/ha removidos anualmente.

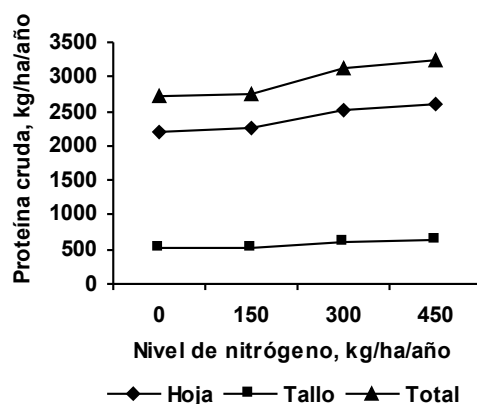


Fig. 2. Producción de proteína cruda de las hojas, los tallos y la planta entera de morera fertilizada con niveles crecientes de nitrógeno.

Fig. 2. Crude protein production of the leaves, stems and whole mulberry plant fertilized with increasing nitrogen rates.

Este valor es muy semejante al reportado por Elizondo (2007), que fue de 437 kg. Es importante señalar que la continua remoción de esta cantidad de nitrógeno agota las reservas de cualquier suelo, por lo que sería importante evaluar la producción de morera a lo largo de algunos años cuando no se aplique N.

En la tabla 3 se muestra el contenido de materia seca y proteína cruda de la planta entera de morera, las hojas y los tallos, obtenido de los cortes secuenciales efectuados a través del experimento para cada uno de los tratamientos.

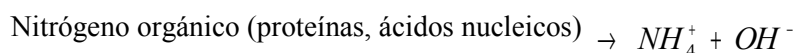
El contenido de materia seca de la planta entera fue de 22,13%, como promedio para los diferentes tratamientos; este valor es superior al encontrado por Boschini (2001), quien reportó un promedio de 17,3%.

Por su parte, el contenido de proteína cruda en las hojas fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los tratamientos donde se aplicó la dosis más alta de nitrógeno con respecto al control.

Rodríguez *et al.* (1992), al aplicar 0, 40 y 80 kg de N/ha/corte, reportaron rendimientos aceptables, pero observaron una baja respuesta en el incremento de proteína cruda en las hojas

(17,5-18,0%). Los valores hallados en la presente investigación son superiores a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (1992) y similares a los reportados por Elizondo (2007), que fueron de 10,9-16,1%. Sin embargo, Boschini (2001) informó un promedio de 16,5%.

No se encontraron diferencias notables al utilizar niveles crecientes de nitrógeno. Sin embargo, es importante señalar que el nitrógeno contenido en los abonos orgánicos y el que está en el suelo se encuentra en más de 95% en forma orgánica (White, 2006). El nitrógeno inorgánico se obtiene durante la descomposición microbiana de la materia orgánica en el proceso de amonificación, de acuerdo con la siguiente reacción:



El NH_4^+ es oxidado a NO_3^- en el proceso de nitrificación (influido por la temperatura, la humedad y la aireación del suelo) y está representado por la siguiente reacción:



Las dos reacciones anteriores describen el proceso conocido como mineralización (White, 2006), el cual se acelera con un incremento en la temperatura, una adecuada humedad y una buena disponibilidad de oxígeno (Jarvis *et al.*, 1995). Una vez que el N orgánico ha sido mineralizado, las plantas lo pueden utilizar. La mineralización del N es un proceso microbiano lento, el cual es afectado por factores como el tipo de suelo, la temperatura, el pH, la aireación y la humedad, entre otros (Van Kessel y Reeves, 2002). La cantidad de N orgánico que se puede mineralizar es el N orgánico multiplicado por un factor de mineralización que varía entre 0,25 y 0,35 (Van Kessel y Reeves, 2000). Por ejemplo, la disponibilidad de N orgánico se ha estimado en 35; 12; 5 y 2% del nitrógeno orgánico inicial para el primero, segundo, tercero y cuarto año después de la aplicación de estiércol bovino (Van Kessel y Reeves, 2002).

Por otra parte, algunos autores indican que la mineralización de N orgánico en el primer año de aplicación puede variar entre 0 y 50% (Chae y Tabatabai, 1986; Lupway y Haque, 1998). Debido a lo explicado anteriormente, la falta de respuesta de la morera a la fertilización orgánica en este experimento puede atribuirse parcialmente a un bajo nivel de mineralización del nitrógeno orgánico contenido en el abono, lo que limita la cantidad de nitrógeno inorgánico para las plantas al que está disponible en el suelo.

La falta de respuesta de la morera a la fertilización nitrogenada fue reportada por Boschini *et al.* (1999), al utilizar cinco dosis de nitrógeno (0, 150, 300, 450 y 600 kg/ha) proveniente de fertilizante inorgánico (nitrato de amonio); estos autores no observaron un efecto apreciable en la producción de materia seca en la planta entera, los tallos y las hojas, lo cual se atribuyó a los altos contenidos de nitrógeno total (0,29%) en el suelo, al inicio del experimento.

Contrariamente a lo reportado en el presente experimento y en el de Boschini *et al.* (1999), Espinoza (1996) encontró respuestas significativas en la producción de biomasa seca total y obtuvo rendimientos promedio de 16,1; 21,6 y 24,1 t/ha/año para la aplicación de 180, 360 y 540 kg/ha/año, respectivamente; esta investigación se realizó en Costa Rica, en tres zonas diferentes, con tres variedades de morera y tres niveles de fertilización nitrogenada.

Rodríguez *et al.* (1992), al evaluar frecuencias de poda y niveles de fertilización nitrogenada, también reportaron una respuesta positiva. Tanto Rodríguez *et al.* (1992) como Espinoza (1996) no hicieron referencia a la relación entre el contenido de nitrógeno en el suelo y la producción obtenida, lo que sugiere que trabajaron en suelos con niveles bajos de nitrógeno.

En el presente experimento, la morera estaba sembrada en un suelo con un contenido de N relativamente alto (tabla 1) y un valor medio de N total (0,27%). Bertsch (1995) señaló que el rango normal del nitrógeno total en el suelo puede oscilar entre 0,02 y 0,40%, y que los niveles superiores sólo se presentan cuando los contenidos de materia orgánica son elevados. Por lo tanto, la falta de

respuesta de la morera a la fertilización nitrogenada se puede explicar también por los altos niveles de nitrógeno presentes en el suelo, considerando que el contenido de otros minerales se encontraba en cantidades suficientes para no limitar el crecimiento de las plantas.

Conclusiones

Los niveles de nitrógeno aplicados al suelo no mostraron respuestas notables en la producción de biomasa total, ni se evidenció ninguna alteración importante en las proporciones estructurales de la planta que indicaran un cambio en el rendimiento de las hojas y los tallos. La falta de respuesta se explica por los altos contenidos de nitrógeno en el suelo al inicio del experimento y la baja mineralización del N en el abono orgánico.

Referencias bibliográficas

- AOAC. 2002. Official methods of analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemistry. Washington D.C. USA
- Benavides, J. *et al.* 1994. Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de Morera (*Morus* sp.). En: Árboles y arbustos forrajeros en América Central. (Ed. J.E. Benavides). CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236. Vol. II, p. 495
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Boschini, C. 2000. Consumo de morera (*Morus alba*) y sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) en ganado Jersey. *Agronomía Mesoamericana*. 11 (2):73
- Boschini, C. 2001. Producción y calidad de la morera (*Morus alba*) cosechada en diferentes modalidades de poda. *Agronomía Mesoamericana*. 12 (2):175
- Boschini, C. 2006. Nutrientes digeribles, energía neta y fracciones proteicas de la morera (*Morus alba*) aprovechables en vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*. 17 (2):141
- Boschini, C. *et al.* 1998. Producción de biomasa de la morera (*Morus alba*) en la Meseta Central de Costa Rica, establecida y cosechada a diferentes distancias de siembra, alturas y frecuencias de poda. *Agronomía Mesoamericana*. 9 (2):28
- Boschini, C. *et al.* 1999. Respuesta de la morera (*Morus alba*) a la fertilización nitrogenada, densidades de siembra y a la defoliación. *Agronomía Mesoamericana*. 10 (2):7
- Chae, Y.M. & Tabatabai, M.A. 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. *J. Environ. Qual.* 15:193
- Elizondo, J. 2004. Calidad nutricional y consumo de morera (*Morus alba*), ramio (*Bohemeria nivea* (L) GAUD) y sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) en cabras. *Agronomía Mesoamericana*. 15 (2):209
- Elizondo, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana*. 17 (1):69
- Elizondo, J. 2007. Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana*. 18 (2):255
- Espinoza, E. 1996. Efecto del sitio y del nivel de fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad de tres variedades de morera en Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 84 p.
- Jarvis, S. *et al.* 1995. Nitrogen cycling in grazing systems. In: Nitrogen fertilization in the environment. (Ed. P. Bacon). Marcel Dekker, Inc. N.Y., USA. p. 381
- Kuehl, R.O. 2002. Design of experiments: statistical principles of research design and analysis. 2da. edición. Duxbury Press. California, USA
- Ladha, J.K. *et al.* 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*. 87:85

- Lupway, N.Z. & Haque, I. 1998. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from sesbania and leucaena leaves varying in chemical composition. *Soil Biol. Biochem.* 30:337
- Rodríguez, C. *et al.* 1992. Frecuencias de corte y niveles de fertilización nitrogenada en rendimiento y calidad del forraje de morera (*Morus* sp.), en Cuyuta, Guatemala. *Agronomía Mesoamericana*. 3:48
- Sánchez, M. 2002. World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding. In: Proceedings of an electronic conference. (Ed. M. Sánchez). FAO. Roma. p. 1. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRM/MULBERRY/Papers/HTML/Intro.htm>
- SAS. 2006. Statistical analysis system. SAS User's Guide; Statistics (Versión 9.3.1). SAS Institute Inc. Cary, NC
- Van Kessel, J. & Reeves, J. 2000. On farm quick tests for estimating nitrogen in dairy manure. *Journal of Dairy Science*. 83:1837
- Van Kessel, J. & Reeves, J. 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biol. Fertil. Soils*. 36:118
- Vásquez, A. 1982. Estudio detallado de los suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 36 p.
- White, R.E. 2006. Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource. 4ta. ed. Blackwell Publishing, Great Britain. 363 p.

Recibido el 24 de abril del 2008

Aceptado el 20 de diciembre del 2009

Response of mulberry (*Morus alba*) to increasing rates of organic nitrogen¹

Abstract

A trial was conducted at the Experimental Station “Alfredo Volio Mata” of the University of Costa Rica, in order to evaluate the application of increasing nitrogen rates (from an organic fertilizer) on the biomass production and crude protein of mulberry. The experimental period was 12 months. A mulberry plantation with 12 years of establishment, planted with spacing of 0,9 x 0,40 m (27 777 plants/ha), was used. The design consisted in completely randomized blocks with four treatments: 0, 150, 300 and 450 kg N/ha/year. The plants were pruned at 0,6 m above the soil level at the beginning of the trial and then every 90 days. The organic manure was applied in two equal dosages during the rainy season. The leaves and stems were separated and analyzed to determine the dry matter and crude protein content. No significant differences were found in the DM content or DM yield among treatments. Similar performance was found in the crude protein content of the whole plant and the stem; however, the CP content was higher with the highest nitrogen application, which significantly differed ($p<0,05$). It is concluded that the applied organic nitrogen rates neither showed remarkable responses in total biomass production, nor important alterations were observed in the structural proportions of the plants manifesting a change in the yield of leaves and stems.

Key words: *Morus alba*, organic fertilizers

Introduction

In some areas of Costa Rica and other parts of the world, forage availability and quality for grazing, sometimes, are not enough to satisfy the nutritional requirements of the animals, for which tree forages are widely used as complement for the diet.

Mulberry (*Morus alba*) is one of these forage species, which shows excellent palatability and intake characteristics in cattle (Boschini, 2000) as well as goats (Elizondo, 2004), besides showing high agronomic versatility and excellent biomass yields and nutritional quality (Boschini, 2006; Elizondo, 2007).

Diverse studies conducted with mulberry highlight the high protein content of the leaves, its production per area unit (Sánchez, 2002), as well as the need to restore to the soil the nitrogen extracted by the plants (Boschini *et al.*, 1999). Thus, in order to obtain good forage yields with adequate protein levels, without compromising the soil reserves, high dosages of chemical fertilizers are required, which increases production costs and the risk of environmental contamination (Elizondo, 2006).

To reduce production costs and, in turn, use less contaminating technologies, a large number of farmers have chosen the use of organic fertilizers. Among the most used ones is compost, which is obtained by means of an aerobic biological process, in which microorganisms act on the rapidly-biodegradable matter (Van Kessel and Reeves, 2002). The efficiency with which crops utilize the nitrogen present in this type of manure depends on many factors related to the soil, plant, climate and management (Ladha *et al.*, 2005); however, little is known about its use in crops of high forage yield, such as mulberry. For such reason, this work was conducted, in order to evaluate the application of increasing nitrogen rates (from an organic fertilizer) on the biomass production and crude protein of mulberry.

Materials and Methods

Location. The field work was conducted at the Experimental Station “Alfredo Volio Mata” of the University of Costa Rica, located in the Cartago province at 1 542 masl.

Climate and soil. Mean annual rainfall is 2 050 mm, distributed from May to November. Mean relative humidity is 84% and mean temperature 19,5°C. The soil, of volcanic origin, is classified as Typic Distrandepts (Vázquez, 1982) and has moderate depth, with good natural drainage and moderate fertility (table 1). Ecologically, the zone is typified as Low Humid Mountain Forest (Tosi, cited by Vázquez, 1982).

Characteristics of the area. An area of 1 000 m² was used, of a mulberry plantation with 12 years of establishment and a planting density of 27 777 plants/ha (0,40 m between plants and 0,90 m between rows).

Experimental design and treatments. The total area was divided into three large blocks. Each block was subdivided into four plots for the different treatments and a completely randomized block design was used (Kuehl, 2002). Three organic fertilization rates (150, 300 and 450 kg N/ha/year) and a control without fertilization were used.

Experimental procedure. The application of manure was fractioned in two equal parts during the rainy season. The compost-type organic manure was elaborated from garden residues (leaves, grass and shrubs). A representative sample of the manure was sent to the Agronomic Research Center of the University of Costa Rica for its chemical analysis (table 2).

At the beginning of the experiment, the mulberry plants were pruned in a uniform way at 60 cm above the soil level. After this homogenization, four consecutive cuttings every 90 days were programmed, for a total duration of 12 months (beginning: July, 2003; end: July, 2004).

At the end of each experimental regrowth period, the plots were totally harvested at the same height of the homogenization pruning. The fresh biomass production was weighed in the field, a random sample was extracted from 10% of the whole plants of each plot and they were separated into stems and leaves. Each component was weighed fresh and dried at 60°C for 48 hours. The samples were ground in a Willey grinder, with a one-millimeter mesh. Afterwards, the dry matter and crude protein content was determined, following the methods approved by AOAC (2002). The yields of green biomass, dry biomass and crude protein per hectare were estimated in the whole plant, the leaves and stems from the samplings made.

The data obtained were analyzed with the PROC GLM of the statistical pack SPSS (2006), according to the following mathematical model:

$$Y_{ijk} = \bar{y} + \hat{a}_i + \hat{a}_j + \hat{a}_k + \hat{a}_{ijk}$$

Where:

Y_{ijk} = Production in kg/ha/year

$\bar{y}$ = General mean

$\hat{a}_i$ = Effect of the i-eth treatment

$\hat{a}_j$ = Effect of the j-eth block

$\hat{a}_k$ = effect of the k-eth sampling

$\hat{a}_{ijk}$ = Experimental error

The sources which were statistically different ($P < 0,05$) were subject to Duncan's test.

Results and Discussion

Table 3 shows the total green matter, dry matter and crude protein yield of the whole mulberry plant, the leaves and stems, obtained from the sequential cuttings made throughout the experiment for each treatment. In general, no significant differences were found for the evaluated production variables. The total green matter yield was 106,9; 102,6; 120,1 and 123,0 t/ha/year for rates 0, 150, 300 and 450 kg

N/ha/year, respectively. These values partially exceed the ones reported by Boschini *et al.* (1998) and Espinoza (1996), who in intensive exploitations located in high luminosity zones, on well-drained soils and with moderate or high rainfall obtained 70-119 t/ha/year of fresh biomass.

The total dry matter yield for each of the treatments can be observed in figure 1. The application of 0, 150, 300 and 450 kg N/ha/year produced 23,4; 23,6; 26,1 and 26,7 t/ha/year, respectively; these values are very similar to the ones reported in other trials. In Guatemala, Rodríguez *et al.* (1992) obtained from 0,4 to 6,8 t DM/ha/y culting with whole plants, harvested at 30 cm above the soil level, with pruning intervals of six to 12 weeks and fertilization from 0 to 80 kg N/ha/year.

In another study, when using nitrogen fertilization rates of 0-480 kg/ha/year during three years, Benavides *et al.* (1994) obtained 19-30 t DM/ha/year. On the other hand, Elizondo (2007) evaluated the application of 150 kg N/ha/year from two types of organic manures and obtained 21,6 and 21,5 t DM/ha/year for composting and vermi-manure, respectively.

Figure 2 shows the crude protein yields. The application of 0, 150, 300 and 450 kg N/ha/year produced 2,7; 2,6; 3,1 and 3,2 t/ha/year, respectively. As general average for the four treatments, the quantity of crude protein produced is equivalent to 2 961,85 kg/ha/year, which represents 473,9 kg N/ha annually removed.

This value is very similar to the one reported by Elizondo (2007), which was 437 kg. It is important to state that the continuous removal of this nitrogen quantity depletes the reserves of any soil, for which it would be important to evaluate the mulberry production along some years when N is not applied.

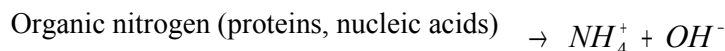
Table 3 shows the dry matter and crude protein content of the whole mulberry plant, the leaves and stems, obtained from the sequential cuttings made throughout the experiment for each treatment.

The dry matter content of the whole plant was 22,13%, as average for the different treatments; this value is higher than the one found by Boschini (2001), who reported an average of 17,3%.

On the other hand, the crude protein content in the leaves was significantly higher ($P < 0,05$) in the treatments where the highest nitrogen dose was applied as compared to the control.

Rodríguez *et al.* (1992), when applying 0, 40 and 80 kg N/ha/cutting, reported acceptable yields, but observed a low response in the increase of crude protein in the leaves (17,5-18,0%). The values found in this study are higher than the ones obtained by Rodríguez *et al.* (1992) and similar to the ones reported by Elizondo (2007), which were 10,9-16,1%. However, Boschini (2001) reported an average of 16,5%.

No remarkable differences were found when using increasing nitrogen rates. Yet, it is important to state that the nitrogen contained in organic manures and the one in the soil are found in more than 95% in organic form (White, 2006). Inorganic nitrogen is obtained during the microbial decomposition of organic matter in the ammonification process, according to the following reaction:



NH_4 is oxidized to NO_3 in the nitrification process (influenced by soil temperature, humidity and aeration) and it is represented by the following reaction:

The two reactions above describe the process known as mineralization (White, 2006), which is accelerated with an increase in temperature, adequate humidity and good oxygen availability (Jarvis *et al.*, 1995). Once the organic N has been mineralized, plants can use it. The mineralization of N is a slow microbial process, which is affected by such factors as soil type, temperature, pH, aeration and humidity, among others (Van Kessel and Reeves, 2002). The quantity of organic N that can be mineralized is the organic N multiplied by a mineralization factor which varies between 0,25 and 0,35 (Van Kessel and Reeves, 2000). For example, the availability of organic N has been estimated in 35; 12; 5 and 2% of the initial organic nitrogen for the first, second, third and fourth year after the application of cattle manure (Van Kessel and Reeves, 2002).

On the other hand, some authors indicate that the mineralization of organic N in the first year of application can vary between 0 and 50% (Chae and Tabatabai, 1986; Lupway and Haque, 1998). Because of the above-explained facts, the lack of response in mulberry to organic fertilization in this trial can be partially ascribed to a low mineralization level of the organic nitrogen contained in the manure, which limits the quantity of inorganic nitrogen for the plants to the one that is available in the soil.

The lack of response by mulberry to nitrogen fertilization was reported by Boschini *et al.* (1999), when using five nitrogen dosages (0, 150, 300, 450 and 600 kg/ha) from inorganic fertilizer (ammonium nitrate); these authors did not observe a noticeable effect in the dry matter production of the whole plant, leaves and stems, which was ascribed to the high total nitrogen contents (0,29%) in the soil, at the beginning of the trial.

Contrary to the reports in this trial and the one conducted by Boschini *et al.* (1999), Espinoza (1996) found significant responses in total dry biomass production and obtained average yields of 16,1; 21,6 and 24,1 t/ha/year for the application of 180, 360 and 540 kg/ha/year, respectively; this study was conducted in Costa Rica, in three different zones, with three mulberry varieties and three nitrogen fertilization rates.

Rodríguez *et al.* (1992), when evaluating pruning frequencies and nitrogen fertilization rates, also reported a positive response. Espinoza (1996) as well as Rodríguez *et al.* (1992) did not refer to the relation between the nitrogen content in the soil and the production obtained, which suggests they worked on soils with low nitrogen rates.

In this trial mulberry was planted on a soil with a relatively high N content (table 1) and a moderate value of total N (0,27%). Bertsch (1995) stated that the normal range of total nitrogen in the soil can oscillate between 0,02 and 0,40%, and that the higher rates appear only when the organic matter contents are high. Thus, the lack of response of mulberry to nitrogen fertilization can be also explained by the high nitrogen levels present in the soil, considering that the content of other minerals was also found in sufficient quantities so that plant growth was not limited.

Conclusions

The nitrogen rates applied to the soil did not show noticeable responses in total biomass production, and no alteration was manifested in the structural proportions of the plant which would indicate a change in leaf or stem yield. The lack of response was accounted for by the high nitrogen contents in the soil at the beginning of the trial and the low mineralization of N in the organic manure.