

EFECTO DEL NITRÓGENO EN SORGO, EN NICARAGUA¹

Leonardo García-Centeno², Orlando Tellez-Obregón³, Stephen Carl Mason⁴

RESUMEN

Efecto del nitrógeno en sorgo, en Nicaragua. Se evaluó en Nicaragua el efecto de dos dosis de nitrógeno (0 y 37 kg N/ha) y seis ambientes, en 14 líneas y dos variedades de sorgo. La variedad Pinolero-1 se empleó como testigo. Los ambientes eran combinaciones de localidad/año. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, los tratamientos se aleatorizaron en las parcelas. Los genotipos se ubicaron en las parcelas grandes y las dosis de nitrógeno en las subparcelas. Se determinó el rendimiento de grano, rastrojo, concentración de N, extracción por grano y rastrojo, además del uso eficiente del N por grano y biomasa. Sin aplicación de N, ninguna línea de sorgo rindió mejor que Pinolero-1, mientras ICSVLM-93079 produjo 0,7 t/ha más en grano con aplicación de N. Pinolero-1 obtuvo el uso eficiente de N más alto con 46 kg grano y 121 kg biomasa por unidad de N aplicado. ICSVLM-93079 presentó la respuesta más alta en rendimiento con 35 kg N/ha. En promedio la aplicación de N aumentó el rendimiento de grano en 0,8 t/ha y de rastrojo en 1,9 t/ha.

Palabras claves: Líneas de sorgo, dosis de nitrógeno, rendimiento de grano, rendimiento de rastrojo.

ABSTRACT

Effect of nitrogen in sorghum, in Nicaragua. The effect of 2 Nitrogen doses (0 and 37 kg N/ha) and 6 environments on 14 sorghum lines and 2 varieties was evaluated in Nicaragua. Pinolero-1 variety was used as a control. The environments were combinations of localities and years. A randomized complete block design with split plot treatment arrangement was used with four replications. Sorghum lines were planted within whole plots, and N levels were the sub-plots. Grain and stover yield, N concentration and extraction by grain and stover, and grain and biomass N-use efficiencies were determined. Without N application, no sorghum line yielded better than Pinolero-1, while ICSVLM-93079 produced 0.7 t/ha more grain yield with N application. Pinolero-1 had the highest N use efficiency of 46 kg grain and 121 kg biomass per unit N uptake. ICSVLM-93079 had the largest yield response to application of 35 kg N/ha. Nitrogen application increased grain yield by 0.8 t/ha and stover by 1.9 t/ha.

Key words: Sorghum lines, nitrogen doses, grain yield, stover yield.



INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) ha sido un alimento básico importante en las zonas tropicales, áridas y semiáridas de muchos países; siendo este cultivo

una de las principales fuentes de energía, proteínas, vitaminas y minerales para millones de habitantes pobres del mundo (FAO 1995). En el año 2004, se produjeron más de 54,7 millones de toneladas en el mundo. Los países de Centroamérica incluyendo México aportaron

¹ Recibido: 27 de junio, 2006. Aceptado: 29 de agosto, 2007. Contribución de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Nicaragua y el Departamento de Agronomía y Horticultura, Universidad de Nebraska, con apoyo de INTSORMIL, proyecto DAN 1254-G-0021 financiado por USAID, Washington, D.C. EEUU.

² Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Departamento de producción vegetal. Km 12 1/2 carretera norte Managua, Nicaragua. Apdo. 453. Correo electrónico: lgarcia@una.edu.ni

³ Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), Nicaragua. Correo electrónico: orlando_t_2001@yahoo.com

⁴ Universidad de Nebraska, P.O. Box 630915, Lincoln, NE 68583-0915. Correo electrónico: smason1@unl.edu

el 15,2 % del total mundial. En casi todos los países latinoamericanos se ha incrementado el uso del sorgo granífero durante los últimos años, y en varios de ellos ha alcanzado tal importancia, razón por la cual, hoy es considerado uno de los principales rubros.

Para los agricultores nicaragüenses, el sorgo es un cultivo antiguo, y muchas veces es utilizado como sustituto del maíz en la alimentación humana y animal. En la actualidad, este cultivo ha adquirido más importancia, debido a su uso en la producción de alimentos concentrados para aves, cerdos y ganado bovino. En Nicaragua, el sorgo ocupó en el ciclo agrícola 2004-2005 el 6,1% del área sembrada de granos básicos, aumentando sólo en un 0,58 % en el siguiente ciclo agrícola 2005-2006.

Según el MAGFOR (2005), la demanda de sorgo por la industria avícola para el 2005 se calculaba en 3,1 millones de quintales, por lo que la producción estimada para ese año calculada en 1,1 millones de quintales, no cubre la demanda interna, teniéndose que recurrir a la importación de 1,7 millones de quintales de maíz amarillo.

Entre los principales factores que afectan el rendimiento del grano se encuentran: el empleo de genotipos con bajo potencial de rendimiento, condiciones ambientales adversas y prácticas de manejo inadecuadas; además, las cantidades de fertilizantes requeridos para la planta de sorgo, son diferentes dependiendo del tipo y las condiciones del suelo, por lo que las respuestas del cultivo varían según las condiciones en la que se establecen.

Son pocos los trabajos de investigación que incluyen fertilización a base de elementos mayores (N, P y K) en el cultivo del sorgo (Pineda 1997). Córdoba (1995), afirma que la planta de sorgo exige una constante y bien distribuida aplicación de nitrógeno desde la siembra hasta el llenado de grano, ya que lo demanda para crecer, elaborar sus reservas y formar sus semillas.

Según Monterrey (1997), con aplicaciones de 59 kg de N/ha se logró obtener un rendimiento en grano de 7.230 kg/ha. Trabajos realizados por Suárez y Zeledón (2003) mostraron que la variedad CNIA-INTA logró rendimientos de 5.295 kg/ha, cuando se

aplicaron 38 kg de N/ha, resultados similares fueron reportados por García *et al.* (2003).

La fertilización nitrogenada mediante el uso de fertilizantes químicos y otras fuentes de nitrógeno, es uno de los insumos básicos que más influyen en el costo de la producción de los cultivos; sin embargo, una agricultura sostenible exige el uso eficiente de estos insumos (Urquiaga y Zapata 2000). Para los productores nicaragüenses, los bajos rendimientos también están asociados a la baja capacidad de compra de fertilizantes, por lo que en la mayoría de los casos, los pequeños productores siembran a expensas de las reservas naturales del suelo.

El nitrógeno es uno de los elementos que más limita el rendimiento de grano. Esto es debido, primero, a que las reservas de nitrógeno en el suelo dependen fundamentalmente de la materia orgánica, y segundo, a que el nitrógeno es un elemento muy dinámico, por lo que requiere un manejo cuidadoso, sobretodo para aumentar su disponibilidad y que la planta haga uso eficiente del mismo. Una práctica recomendada para aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, es la aplicación fraccionada del mismo. Lo anterior, conduce a un mejor uso del fertilizante, mayor absorción por el cultivo y mayor rendimiento por unidad de fertilizante (Lang y Mallet 1987).

El uso eficiente de nitrógeno (UEN) es definido como la producción de biomasa, por el total de nitrógeno almacenado en la planta y la producción de grano por unidad de nitrógeno almacenado en la planta (Maranville *et al.* 1980). Según Younquist *et al.* (1992), éste se ha descrito en dos sentidos: uno lo describe como eficiencia de absorción, y otra sobre la utilización eficiente del nitrógeno, siendo esta última más importante, porque describe el uso que la planta hace del fertilizante; además, otras formas de eficiencias como de recuperación y eficiencia económica han sido reportadas por Baligar *et al.* (2001), Cassman *et al.* (1998) y Moll *et al.* (1982).

Un análisis de eficiencia de uso de nutrientes debe enfatizar la respuesta del vegetal en cuanto a la producción de grano por unidad de nitrógeno absorbido en la planta o eficiencia de utilización de nitrógeno (Kanampiu *et al.* 1997). La eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno debe ser considerarse como un com-

ponente de eficiencia global, que considera la reacción de la planta, porque se explica por la interacción de los componentes eficiencia fisiológica y recuperación de nitrógeno (Quintero y Casanova, 2000). Según Moll *et al.* (1982) la eficiencia de uso de nitrógeno permite una referencia de la variación, que experimentan los factores que la componen, y a su vez, la comparación de los procesos fisiológicos de absorción y traslocación de nitrógeno en la planta.

La Universidad Nacional Agraria y el Programa INTSORMIL evaluaron 16 líneas de sorgo seleccionadas de trabajos anteriores con zero y 35 kg N/ha en seis ambientes, con el propósito de identificar nuevos materiales de sorgo que produzcan buenos rendimientos con niveles bajos de fertilización nitrogenada y con una alta eficiencia de uso del nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se establecieron en seis ambientes. Dos fueron en la finca El Plantel (Municipio de Zambrano, Departamento de Masaya); cuyas coordenadas son 12° 03' latitud norte y 86° y 06' longitud oeste; con una altura de 200 msnm; un experimento fue en el 2003 y el otro en el 2004. La zonificación ecológica, según Chévez y Mendoza (2000), de la finca El Plantel corresponde a una zona transicional entre bosque tropical seco y bosque tropical húmedo. El clima se caracteriza por tener una precipitación media anual de 1.100 mm y una temperatura media anual de 26 °C (Cuadro 1). Los suelos de El Plantel, se clasifican dentro del orden de los Mollisoles, pertenecen a la

serie de Zambrano (MAG 1971), y se caracterizan por ser suelos de origen volcánico, profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con buena permeabilidad; se encuentran en planicie con una topografía ligeramente a fuertemente ondulada (Cuadro 2).

Otros ambientes fueron en el Centro Experimental de Occidente (CEO) en 2003 y 2004. El CEO está ubicado en el municipio de Posoltega, Departamento de Chinandega, éste se ubica a los 12°33' de latitud norte y 85°59' de longitud oeste, a una elevación de 80 msnm. La zonificación ecológica, según Holdridge (1982), es del tipo bosque subtropical seco, actualmente es una llanura sin bosque (Cuadro 1). Los suelos donde se estableció el ensayo son de textura franco-arenosa de origen volcánico (Andisoles) con topografía plana y ligeramente ondulados, profundos con buen drenaje (MAG 1971) (Cuadro 2). Las precipitaciones promedios anuales son de 900 a 1000 mm y las temperaturas promedios anuales entre 28 y 31 °C (Cuadro 2).

Un quinto ambiente se estableció en San Isidro, departamento de Matagalpa (postrera 2004), cuyas coordenadas corresponden a los 12° 06' latitud Norte y 86° 01' longitud oeste, ubicada a una altura de 480 msnm. Según la clasificación de Holdridge (1982), la zona donde se realizó el experimento es una región tropical seca. La precipitación anual es de 748 mm, con temperatura media anual de 24 °C (Cuadro 1). El suelo pertenece al orden de los vertisoles. La producción agrícola en esta zona se ve restringida a las cantidades e irregularidades de las lluvias y ocurrencia de canículas (INTA 1995). El sexto ambiente se estableció en Tisma, departamento de Masaya (postrera

Cuadro 1. Valores de precipitación y temperaturas en las localidades donde se desarrollaron los experimentos. Nicaragua, 2003 – 2004.

Ambiente	Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Promedios	
	Pp (mm)	T (°C)	Pp (mm)	T (°C)	Pp (mm)	T (°C)	Pp (mm)	T (°C)	Pp (mm)	T (°C)	Pp (mm)	T (°C)
CEO 2003	115	30,0	150	30,5	200	30,0	5	29,5	1	29,5	471	29,9
CEO 2004	206	27,0	248	26,5	287	27,5	55	26,2	0	26,7	796	26,8
Plantel 2003	118	25,7	144	26,3	271	26,0	83	25,7	1	25,2	617	25,8
Plantel 2004	150	25,3	210	26,8	212	26,7	110	24,8	0	24,0	732	26,1
Tisma 2004	200	25,5	208	25,1	275	26,0	205	25,4	5	25,2	893	25,4
San Isidro 2004	115	26,0	80	25,8	220	24,7	46	24,8	1	24,7	462	25,2

Cuadro 2. Características químicas de los suelos donde se desarrollaron los experimentos. Nicaragua. 2003 – 2004.

Localidad	pH	M.O.	N	P	K	CIC	Clase textural
	H ₂ O	%		ppm	Meq/100 g de		
Plantel	6,0	3,81	0,14	0,14	1,85	38,1	Fco. Arc.
CEO	7,1	1,37	0,07	54,5	1,45	---	Fco. Are.
Tisma	6,9	4,7	0,25	17,3	2,81	41,7	Franco
San Isidro	6,5	4,0	0,22	8,1	0,38	35,5	Fco. Arc.

2004). Tisma se encuentra ubicada entre las coordenadas 12°09'07" y 11°53'47" latitud norte y 85°58'41" y 86°12'39" longitud oeste. El clima que predomina es de bosque trópico seco y bosque subtropical húmedo, según la clasificación por zonas de vida de Holdrige. Tisma se encuentra a 70 msnm, las precipitaciones promedio anuales son de 1.841 mm y temperaturas medias de 27,4 °C (Cuadro 1).

Los suelos en CEO son ligeramente neutros, bajos en materia orgánica y altos en potasio y fósforo, este último tiende a acumularse en esos suelos debido a la alta presencia de cenizas volcánicas, pero con muy baja disponibilidad para los cultivos. En El Plantel, Tisma y San Isidro, el pH de los suelos es ligeramente ácido, con niveles medios en materia orgánica; para San Isidro y Plantel, el fósforo se clasifica como bajo y mucho más crítico para el Plantel. Los niveles de potasio son altos para Plantel y Tisma y medios para San Isidro.

Descripción del diseño experimental

Se utilizó en los diferentes ambientes, un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar (BCA) con cuatro repeticiones; cada parcela constituida por seis surcos de 5 m de largo y separados por 0,80 m, para un área de 25 m² por parcela. En las parcelas grandes se distribuyeron las líneas y en las parcelas pequeñas se distribuyeron los niveles de nitrógeno a evaluar. Se utilizaron los cuatro surcos centrales como parcela útil para muestreos de las variables a evaluar, cada repetición la constituían 16 parcelas. El área entre bloques fue de 2 m. Las líneas incluidas en el ensayo fueron 14, y provienen del programa de

ICRISAT, Jocoero es de origen salvadoreño y como testigo se utilizó la variedad nacional Pinolero-1, los factores en estudio se muestran en el Cuadro 3.

Se evaluaron en cada línea dos niveles de fertilización (0 y 37 kg de N /ha). El tratamiento con N tuvo, como fertilización base 64 kg/ha de la fórmula 12-30-10 aplicado al momento de la siembra y al fondo del surco 8 kg de N; los restantes 29 kg de N se aplicaron utilizando Urea 46% fraccionando en dos aplicaciones, a los 30 y 45 dds, para un total de N aplicado de 37 kg/ha. No se aplicó potasio por el nivel alto de los

Cuadro 3. Descripción de los genotipos y tratamientos evaluados en 16 genotipos de sorgo. Nicaragua. 2002-2004.

Factor A: Líneas de sorgo		Factor B: Dosis de N/ha
A1	ICSVLM-89513	b1: 0 kg de N /ha (Testigo)
A2	ICSVLM-89524	b2: 37 kg de N /ha
A3	ICSVLM-89527	
A4	ICSVLM-89537	
A5	ICSVLM-89544	
A6	ICSVLM-89551	
A7	ICSVLM-90510	
A8	ICSVLM-90520	
A9	ICSVLM-92512	
A10	ICSVLM-93079	
A11	ICSVLM-93075	
A12	ICSVLM-93076	
A13	ICSVLM-93079	
A14	ICSVLM-93081	
A15	Jocoero	
A16	Pinolero-1 (testigo)	

suelos, y no se aplicó fósforo en los casos donde era bajo, porque en el mercado no se encuentra fertilizante de fuente única en fósforo.

A la cosecha se midieron las siguientes variables:

- **Materia seca producida:** al momento de la cosecha se tomaron 10 plantas al azar por parcela útil en cada nivel de N, se registró el peso fresco, posteriormente se secaron a una temperatura de 65 °C por 72 horas y se registró el peso seco y se expresó en t/ha.
- **Rendimiento de grano:** después de cosechadas las parcelas, se desgranó la panoja y se ajustó el rendimiento al 14% de humedad, se pesó y se expresó en t/ha.
- **Nitrógeno en el grano y rastrojo (%):** de la mezcla de las cuatro repeticiones por tratamiento, se tomó una muestra de 500 g de materia seca, se molió y se envió al laboratorio para la determinación del N total por el método Kjeldhal (Walinga *et al.* 1989).

Con los datos obtenidos de rendimiento de grano y biomasa, y sus respectivos porcentajes de N, se calcularon la eficiencia de la fertilización y la cantidad de grano producido por kg de fertilizante aplicado usando las siguientes fórmulas (Maranville *et al.* 1980).

$$\text{NUE1} = \frac{\text{Rendimiento de grano} + \text{Rendimiento de rastrojo (kg/ha)}}{\text{N en grano} + \text{N en rastrojo (kg/ha)}}$$

$$\text{NUE2} = \frac{\text{Rendimiento de grano (kg/ha)}}{\text{N en grano} + \text{N en rastrojo (kg/ha)}}$$

$$\text{IRG/kgN} = \frac{\text{kg/ha grano producido c/N} - \text{kg/ha grano producido s/N}}{37 \text{ kg N/ha}}$$

NUE1: Eficiencia de uso del N por la biomasa

NUE2: Eficiencia de uso del N por el grano

IRG/kgN: Incremento del rendimiento de grano por kg de N aplicado

Los datos se analizaron con el modelo MIXED de SAS (Littel *et al.* 2004). Para rendimiento de grano y

biomasa se consideraron las localidades y años como ambientes. Para los análisis de nitrógeno en grano, biomasa, nitrógeno absorbido por la cosecha (grano y biomasa), y uso eficiente de nitrógeno por grano y biomasa, los ambientes se consideraron como repeticiones, porque las réplicas en cada tratamiento fueron mezcladas y se obtuvo una muestra compuesta.

Los datos promedio de rendimientos de todas las líneas se promediaron para cada localidad y se sometieron a análisis AMMI con el programa IRRISTAT V.5.0 (International Rice Research Institute 2005), para determinar cuáles materiales son más estables en los diferentes ambientes evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de grano y biomasa fueron influenciados por la interacción de ambiente, líneas y dosis de N.

El valor de F para Nivel de N fue ocho a 137 veces más alto que para las otras fuentes de variación, lo que indica que era el factor más importante en cuanto a las diferencias del rendimiento de grano y rastrojo del sorgo.

La mayor producción se obtuvo en la localidad El Plantel en el año 2004 con 4,1 t/ha y en último lugar El Plantel año 2003 con 2,6 t/ha (Cuadro 4). Las variaciones promedios del rendimiento de grano en esta localidad en el año 2003, respecto al año 2004, se debieron fundamentalmente a las bajas e irregulares precipitaciones que ocurrieron el 2003 (Cuadro 1). En CEO, donde los ensayos también fueron establecidos durante dos años consecutivos, los rendimientos se mantuvieron alrededor de los 3,5 t/ha, y la variación del rendimiento por línea de un año respecto al otro sólo fue de 0,6 t. Es importante hacer notar que bajo condiciones más secas, el rendimiento de cada línea fue más afectado en El Plantel cuya variación fue de 1,5 t contra 0,6 t en CEO, pues aunque en el 2003 también llovió menos, la variación fue menor, probablemente por los niveles más altos de fósforo en los suelos, que favorecen un mejor desarrollo del sistema radical y con ello se favorece la absorción de agua y nutrientes. Las localidades de San Isidro y Tisma promediaron 3,0 y 3,9 t/ha. La misma tendencia mostró el rendimiento de biomasa

(Cuadro 4). La baja presencia de plagas y enfermedades, y el efectivo control de malezas (manual) con el aporte realizado a los 40 días después de la siembra, hacen indicar que las variaciones en las variables evaluadas, estuvieron influenciadas por el clima.

El comportamiento promedio de las líneas, mostró que sólo la **ICSVLM-93079** (línea 13) superó en rendimiento al testigo Pinolero-1 en un 7,5 %, y el resto de materiales estuvieron por debajo de Pinolero-1 (Cuadro 4). La interacción de ambiente x línea (Cuadro 4) mostró que los materiales evaluados, no fueron afectados por el ambiente, pues sus producciones promedios de grano variaron entre 3,2 y 4,0 t/ha, a excepción de **ICSVLM-90520** (línea 8) que obtuvo los rendimientos más bajos en todos los ambientes (2,9 t/ha), y la muestra como la de más baja adaptabilidad en Nicaragua, a

excepción del ambiente Tisma 2004, donde alcanzó el cuarto mejor rendimiento.

La línea (13) **ICSVLM-93079** y el testigo **Pinolero-1** obtuvieron los rendimientos más estables y los más altos en todos los ciclos y localidades evaluadas (4,3 y 4,0 t/ha). La línea (13) **ICSVLM-93079** sólo fue superada por el testigo en El Plantel 2004. Es importante hacer notar, que en los ambientes CEO 2003 y 2004, y El Plantel 2004 las diferencias de las líneas respecto del testigo marcadas en el Cuadro 5, indican que Pinolero-1 las superó en rendimiento; sin embargo, en los ambientes San Isidro 2004 y Tisma 2004, la casi totalidad de las líneas marcadas, superaron al testigo Pinolero-1, pero sólo se diferenciaron estadísticamente con 5 en San Isidro y con 10 en Tisma, donde representan más del 50 % del material evaluado.

Cuadro 4. Significancia de la separación de medias de la interacción líneas por localidad sobre el rendimiento de grano y rastrojo en sorgo. Nicaragua 2003 – 2004.

Líneas	Rendimiento de grano (t/ha)							Rendimiento de biomasa (t/ha)						
	CEO 2003	CEO 2004	Ptel 2003	Ptel 2004	San Isidro 2004	Tisma 2004	X	CEO 2003	CEO 2004	Ptel 2003	Ptel 2004	San Isidro 2004	Tisma 2004	X
ICSVLM-89513	3,6	4,6	2,7	4,9**	3,1	4,3**	3,9	4,0**	5,6	5,0	7,0	10,4**	5,7**	6,3
ICSVLM-89524	3,9	4,4	2,7	4,5**	2,6	4,1**	3,7	7,2	6,6	6,5**	7,7	4,0**	4,4	6,0
ICSVLM-89527	2,5**	3,1**	2,3	3,9**	4,4**	3,1**	3,2**	2,7**	3,5**	3,1*	7,1	10,1**	6,6**	5,2**
ICSVLM-89537	3,1*	4,0	2,9	4,7*	2,7	3,6	3,5*	5,6	6,2	4,8	9,3**	6,9	4,7	6,3
ICSVLM-89544	3,5	3,2**	2,2	3,3**	3,0	3,9	3,2**	2,3**	3,7**	3,0**	8,9*	7,9*	4,5	5,1**
ICSVLM-89551	2,9**	3,1**	2,4	3,2**	3,7**	3,8	3,2**	6,3	5,8	4,2	6,2*	10,1**	5,6**	6,4
ICSVLM-90510	3,0*	3,2**	2,5	4,1**	3,1	3,8	3,3**	5,7	5,1*	3,8	8,8*	5,8	4,8	5,7
ICSVLM-90520	1,7**	2,7**	2,1	3,8**	2,5	4,3**	2,9**	4,1**	4,6**	4,0	5,7**	4,2**	3,7	4,4**
ICSVLM-92512	2,7**	4,1	2,6	4,8**	2,7	5,0**	3,7	5,3	4,8**	3,7	7,6	8,9**	6,4**	6,1
ICSVLM-93079	2,1**	3,1**	2,4	3,7**	3,3*	3,9	3,1**	2,9**	3,4**	3,4*	7,0	5,7*	4,3	4,5**
ICSVLM-93075	3,2*	3,6*	3,0	2,6**	3,2*	4,7**	3,4**	4,3**	5,8	5,2	5,7**	8,0*	3,0	5,3*
ICSVLM-93076	4,0	3,7*	2,9	3,0**	2,7	2,5**	3,1**	5,0*	5,4*	4,3	6,1*	6,0**	3,4	5,0**
ICSVLM-93079	4,6	5,1	2,7	5,5*	3,6**	4,5**	4,3	3,5**	4,6*	4,1	10,5**	10,3	4,9	6,3*
ICSVLM-93081	3,9	4,5	2,8	3,8**	2,0	2,8**	3,3**	5,8	6,4	6,5**	6,2*	6,0	2,9*	5,6
Jocoro	4,0	4,4	2,7	2,8**	2,7	4,0**	3,4**	5,6	6,4	4,2	7,9	4,5**	4,5	5,5
Pinolero	4,3	4,9	2,6	6,2	2,4	3,6	4,0	6,2	6,5	4,5	7,5	6,8	4,1	5,9
X	3,3	3,9	2,6	4,1	3,0	3,9		4,8	5,3	4,4	7,5	7,2	4,6	

* y ** indica diferencias significativas y altamente significativas al 5 y 1 %, respectivamente, respecto del testigo.

X = valores promedios

Cuadro 5. Resultados de la interacción líneas x dosis de N en la producción de grano y rastrojo en sorgo. Nicaragua, 2003 – 2004.

Líneas	Rendimiento de grano (t/ha)			Rendimiento de rastrojo (t/ha)		
	Nivel de N kg/ha			Nivel de N kg/ha		
	0	35	% ¹	0	35	% ¹
ICSVLM-89513	3,2*	4,5	40,6	5,5	7,1**	29,1
ICSVLM-89524	3,1**	4,2	35,5	5,9	6,2	5,1
ICSVLM-89527	2,7**	3,7*	37,0	4,8**	5,5*	14,6
ICSVLM-89537	3,2*	3,7*	15,6	5,5	6,9**	25,5
ICSVLM-89544	2,8**	3,5**	25,0	4,3**	5,8	34,9
ICSVLM-89551	2,9**	3,4**	17,2	6,3*	6,4	1,6
ICSVLM-90510	2,7*	3,8*	40,7	5,1*	6,3	23,5
ICSVLM-90520	2,5**	3,1**	24,0	3,8**	5,0**	31,6
ICSVLM-92512	3,2*	4,1	28,1	5,3	6,9**	30,2
ICSVLM-93079	2,8**	3,3**	17,9	4,0**	4,9**	22,5
ICSVLM-93075	2,7*	3,9	44,4	5,0**	5,6*	12,0
ICSVLM-93076	2,9**	3,3**	13,8	4,5**	5,6*	24,4
ICSVLM-93079	3,6	5,0**	38,9	5,8	7,1**	22,4
ICSVLM-93081	3,0**	3,6**	20,0	5,4	5,8	7,4
Jocoro	3,8*	3,0**	26,7	5,1*	5,9	15,7
Pinolero (testigo)	3,7	4,3	16,2	5,7	6,1	7,0
X	3,0	3,8	27,6	5,1	6,1	19,2

¹ = Incremento de rendimiento entre el nivel 35 kg de N y el nivel cero.

* y ** indica diferencias significativas y altamente significativas respecto del testigo.

La evaluación del efecto de las localidades sobre la producción de biomasa mostró que el valor más alto se alcanzó en las localidades El Plantel 2004 y San Isidro 2004, ambas diferentes del resto de localidades, el valor más bajo se alcanzó en El Plantel 2003 con 4,4 t/ha. Cabe resaltar que en los ambientes evaluados en el año 2004 alcanzaron los promedios más altos de rendimiento de biomasa, dentro de éstos, la línea que obtuvo el mayor rendimiento fue la ICSVLM-93079.

Sólo la línea 13 fue consistente en su rendimiento de grano y rastrojo en todas las localidades, su posición sólo varió del primero hasta el tercero, en todas las localidades (Cuadro 4). Esta línea, se sugiere incluirla en el programa de fitomejoramiento para desarrollar variedades para altos rendimientos en Nicaragua.

La interacción línea x nivel de N muestra que todas las líneas incrementaron su rendimiento entre

0,4 y 1,4 t/ha cuando se aplicó 35 kg de N/ha (Cuadro 5) pero de todas las líneas (marcadas con asteriscos), sólo la línea 13 (ICSVLM-93079) se diferenció del testigo con un mayor rendimiento; el resto de líneas se diferenciaron del testigo, pero produjeron menores rendimientos que éste dentro del mismo nivel. Es interesante hacer notar sin embargo, que once de los 15 materiales evaluados, tuvieron porcentajes de incremento de rendimientos mayores que el testigo cuando se les aplicó nitrógeno, lo que indica que Pinolero-1 responde muy poco a las aplicaciones de N y produce muy bien en suelos con niveles bajos de N. Es importante resaltar, que los rendimientos de Pinolero-1 presentados en el Cuadro 5 se muestra a esta variedad con mayor rendimiento al nivel cero que con aplicación de N, con base en el promedio de los dos ciclos y de todos los ambientes, lo que confirma la baja respuesta de esta variedad, pues en algunos de los ambientes evaluados los niveles de N disponible son relativamente

altos. Y fueron en éstos donde el rendimiento con cero aplicación de N fueron similares y mayores que otro ciclo respecto al nivel 35 kg de N/ha.

La interacción ambiente x nivel de N (Cuadro 6), mostró que el rendimiento de grano y rastrojo se incrementó en todos los ambientes cuando se aplicó nitrógeno, a excepción de El Plantel año 2004, donde no se mostraron diferencias entre aplicar y no aplicar nitrógeno, aún bajo condiciones de suelo pobre en fósforo (Cuadro 2). Las variaciones observadas durante los ciclos, se debieron básicamente a las condiciones de precipitación ocurridas durante cada ciclo de cultivo, como puede notarse, en el año 2003 los incrementos del rendimiento de grano por aplicación de N variaron entre 54 y 89 % más, respecto a cero aplicaciones de N, mientras que en el año 2004 los incrementos estuvieron entre 2,5 y 30 %.

Nitrógeno en grano, biomasa y uso eficiente

Para la evaluación de la acumulación de N por el grano y la biomasa, se utilizaron los valores de N provenientes de la mezcla de material de las cuatro réplicas, de manera que en el ANDEVA, las localidades se utilizaron como repeticiones. El ANDEVA mostró diferencias importantes en los factores individuales, línea y nivel.

Los resultados del Cuadro 7, muestran que en % de N en grano, solamente las líneas ICSVLM-89537, ICSVLM-89544, ICSVLM-89551 y Jocoero (25 %) se

diferenciaron estadísticamente del testigo. El 87 % de las líneas evaluadas alcanzaron porcentajes de N en grano por encima del alcanzado por Pinolero-1, lo cual es importante por que estamos hablando de materiales que contienen entre 9 y 12 % de proteínas, lo cual concuerda con los valores reportados por Singh y Axtell (1973).

Según Hanson *et al.* (1988) y Kamoshita *et al.* (1998), los factores tanto genéticos como ambientales pueden repercutir en el contenido de la proteína del sorgo, y que tal variabilidad es a primera vista grande, debido probablemente a que este cereal se cultiva en situaciones agroclimáticas diversas, que influyen en la composición del grano.

La tendencia en el valor porcentual de N en el rastrojo (Cuadro 7) mantuvo el mismo comportamiento que para el caso de la extracción de N por el grano, pero en este caso, el 74 % de las líneas evaluadas se diferenciaron estadísticamente del testigo con valores por encima de éste.

Con relación a los datos de extracción, se observa que Pinolero -1 (testigo) es quien extrae más N en el grano, pero sólo se diferenció estadísticamente de la línea ICSVLM-90520, quien estuvo muy por debajo de éste. Para el caso del rastrojo, el 73 % de las líneas extrajeron más N que Pinolero, esto es importante, debido a que estos materiales, bajo las mismas condiciones, son capaces de extraer más N, probablemente porque desarrollan un sistema radical más difuso, o más profundo, o ambos a la vez.

Cuadro 6. Resultados de la interacción ambiente x nivel de N en grano y rastrojo. Nicaragua, 2003 - 2004.

Ambientes	Rendimiento de grano (t/ha)			Rendimiento de Rastrojo (t/ha)		
	Nivel de N (kg/ha)			Nivel de N (kg/ha)		
	0	35	%	0	35	%
CEO 2003	2,6	4,0**	53,8	4,1	5,5**	34,1
CEO 2004	3,3	4,3**	30,3	4,5	6,0**	33,3
Ptel 2003	1,8	3,4**	88,9	3,8	5,0**	31,6
Ptel 2004	4,0	4,1	2,5	7,4	7,4	0,0
S Isidro 2004	2,7	3,2**	18,5	6,8	7,7*	13,2
Tisma 2004	3,7	4,0**	8,1	4,2	4,7*	11,9
<i>X</i>	3,0	3,8		5,1	6,1	

*, ** indica diferencias significativas y altamente significativas respecto del testigo.

Cuadro 7. Resultados de la interacción líneas x % de N, extracción y uso eficiente de N por grano, rastrojo y uso eficiente de N, Nicaragua, 2003 – 2004.

Líneas	N		Extracción		Uso eficiente de N		IR ¹
	grano	rastrojo	grano	rastrojo	grano	biomasa	
	%		kg/ha		kg/ha/ kg de N extraído		
ICSVLM-89513	1,46	0,61*	57,5	39,2	41	107*	35
ICSVLM-89524	1,37	0,61*	51,3	35,3	43	114	30
ICSVLM-89527	1,56	0,70**	47,4*	37,2	40*	99**	27
ICSVLM-89537	1,68**	0,61*	58,0	38,7	37**	103**	14
ICSVLM-89544	1,85**	0,65**	58,0	31,4	37**	96**	21
ICSVLM-89551	1,73**	0,65**	52,6	42,3*	35**	102**	14
ICSVLM-90510	1,52	0,60	49,9	33,4	41	111	30
ICSVLM-90520	1,50	0,68**	41,1**	29,2	41	107*	18
ICSVLM-92512	1,63	0,69**	56,6	39,9	36**	101**	32
ICSVLM-93079	1,55	0,66**	47,3*	28,5	41	99**	13
ICSVLM-93075	1,53	0,65**	51,0	32,5	41	107*	34
ICSVLM-93076	1,52	0,59	49,5*	28,4	42	108*	11
ICSVLM-93079	1,54	0,65**	66,8	43,3*	40*	100**	34
ICSVLM-93081	1,60	0,65**	54,9	35,4	38**	103**	20
Jocoro	1,75**	0,54	61,5	28,7	40*	105**	22
Pinolero (testigo)	1,48	0,50	61,2	30,5	46	121	15

*, ** indica diferencias significativas y altamente significativas respecto del testigo.

¹ kg de grano producido por kg de N aplicado.

Los resultados del Cuadro 7 también muestran que solamente el 47 % de las líneas evaluadas tienen un comportamiento similar al testigo Pinolero-1 tuvieron respecto al uso eficiente del N. También, puede observarse que el 87 % de las líneas evaluadas se diferenciaron del testigo alcanzando estos valores por debajo de Pinolero-1, aunque el otro 13 % no se diferenció estadísticamente, los valores del UEN en biomasa también estuvieron por debajo del testigo. Los resultados muestran entonces, que Pinolero-1 mostró una alta capacidad no sólo de utilizar el N que se aplica al suelo, sino también de extraer importantes cantidades de la reserva natural del suelo.

De acuerdo a los valores de IR (incremento de rendimiento en kg de grano por kg de N aplicado) en el Cuadro 7, se observa que variaron entre 14 y 35 kg de grano por kilogramo de fertilizante aplicado; las líneas ICSVLM-89537, ICSVLM-89551, ICSVLM-93079 y ICSVLM-93076 presentaron IR por debajo del testigo (26 %), el 40 % de las líneas produjo dos

veces más grano por kg de fertilizante aplicado que el testigo Pinolero-1.

A la luz de los resultados del mismo Cuadro 7, podría considerarse importante que líneas como ICSVLM-89537, ICSVLM-89551, ICSVLM-93079 y ICSVLM-93076 puedan ser utilizadas para suelos con baja fertilidad natural y zonas donde los productores son más pobres y con menos acceso a fertilizantes; esto garantizaría un rendimiento promedio de 3,0 t/ha.

Aún con las buenas características de Pinolero-1, los valores de IR, muestran que su capacidad de traslocación para producir grano fue baja, pues sólo produce 15 kg de grano por kilogramo de N aplicado.

Análisis de estabilidad ambiental (AMMI)

Los rendimientos promedios de todos los materiales en cada ambiente fueron promediados y sometidos

dos a análisis de estabilidad, se demostró que para el componente principal 1, las líneas ICSVLM-89513, ICSVLM-93076, ICSVLM-93079 y ICSVLM-93081 fueron las que más aportaron a la variable evaluada, y las que más se aproximaron a 1, con valores de 0,97; 0,95; 0,68 y 0,65, respectivamente.

El ANDEVA realizado a los promedios de cada línea por localidad ubicó a la línea ICSVLM-89513 como la segunda de más alto rendimiento. Sin embargo el análisis de estabilidad indica que ésta es mucho más estable que la ubicada por el ANDEVA como de mayor rendimiento. En este sentido es importante indicar que altos rendimientos de grano pero en materiales muy inestables, son de más altos riesgos para los productores.

El análisis AMMI mostró que el 57% de las líneas se ubican cercanas al índice de estabilidad, el resto (43%) están más dispersas respecto al índice, siendo Pinolero-1 el que más lejos se ubica.

De todos los materiales evaluados solamente el 25% obtuvo rendimientos por encima de la media AMMI (ICSVLM-89513, ICSVLM-89524, ICSVLM-92512, ICSVLM-93076 y Pinolero) que es 3.460 kg y de estas ICSVLM-89513 y ICSVLM-93076 se ubicaron como las líneas más estables y de alto rendimiento de grano, otras líneas se ubicaron como estables, pero con rendimientos menores a la media.

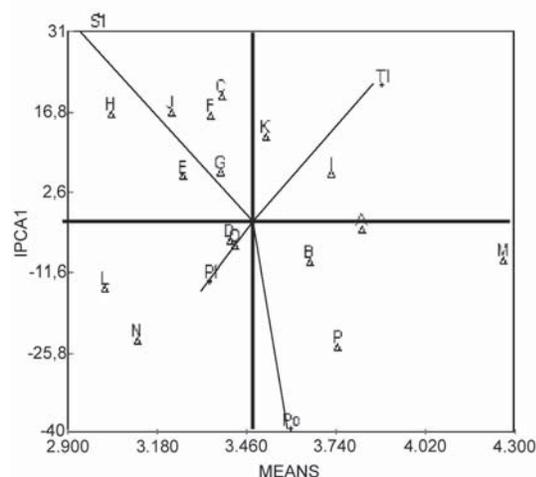
En relación a los ambientes, el que menos contribuye a la interacción con los materiales fue El Plantel, seguido de Tisma y los que más interactuaron fueron Posoltega y San Isidro. La Figura 1 muestra los resultados del análisis AMMI.

CONCLUSIONES

Los rendimientos de grano no estuvieron muy influenciados por los ambientes, pero sí por las condiciones de lluvias de cada ciclo.

Las producciones de grano variaron con la línea y se obtuvieron mayores producciones cuando se aplicó N al suelo.

La producción de materia seca, varió con los ambientes, sin embargo, los mayores valores se obtuvieron cuando se aplicó N al suelo.



SI= San Isidro, TI= Tisma, Po= Posoltega, PI= Plantel

#	Línea	Código
1	A	ICSVLM-89513
2	B	ICSVLM-89524
3	C	ICSVLM-89527
4	D	ICSVLM-89537
5	E	ICSVLM-89544
6	F	ICSVLM-89551
7	G	ICSVLM-90510
8	H	ICSVLM-90520
9	I	ICSVLM-92512
10	J	ICSVLM-93079
11	K	ICSVLM-93075
12	L	ICSVLM-93076
13	M	ICSVLM-93079
14	N	ICSVLM-93081
15	O	Jocoro
16	P	Pinolero (testigo)

Figura 1. Resultados del análisis AMMI para la interacción ambiente x líneas.

Las líneas ICSVLM-89513 y ICSVLM-93079 se presentaron como líneas estables ambientalmente; y de alto rendimiento tanto en biomasa como de grano, además de ser las que mejor traducen el kg de fertilizante nitrogenado a kg de grano producido.

RECOMENDACIONES

En futuros estudios, utilizar como un tratamiento, el uso de abonos verdes como fuente alternativa de N para el cultivo, por el mayor acceso de los productores a éstas y por la facilidad de reproducir la semilla.

LITERATURA CITADA

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plant. *Comm. Soil Sci. Plan Anal.* 32:921-950.
- CASSMAN, K.G.; PENG, S.; OLK, D.C.; LADHA, J.K.; REICHARDT, W.; DOBERMANN, A.; SINGH, U. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice system. *Field Crops Res.* 56: 7-39.
- CÓRDOBA, P. L. 1995. El cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L Moench). Texto básico. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 37 p.
- CHÉVEZ D. M.; MENDOZA, F. 2000. Análisis de sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función de cambios climáticos. Tesis Ing. Agr. para optar al grado de ingeniero forestal. FARENA/UNA. Managua, Nicaragua. 59 p.
- FAO. 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana (Colección FAO: Alimentación y nutrición N°27) 197 p.
- GARCÍA, L.; TELLEZ, O.; MASON, S. 2003. Determinación del uso eficiente de nitrógeno en cuatro variedades de sorgo para grano en la zona del Pacífico de Nicaragua. *La Calera* 3: 36-42.
- HANSON, R.F.; STECKER, J.A.; MALEDY, S.R. 1988. Effect of rotation on the response of sorghum to fertilizer nitrogen. *J. Prod. Agric.* 1: 318 – 321.
- HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Por Humberto Jiménez Saa. San José, Costa Rica. IICA. 216 p.
- INTA. 1995. Cultivo de sorgo. Guía Tecnológica 5. Managua, Nicaragua. 14 p.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2005. IRRISTAT for Windows. Versión 5. Biometrics and Bioinformatics Unit. IRRI. Philippine.
- KAMOSHITA, A.; FUKAI, S.; MUCHOW, R.C.; COOPER, M. 1998. Genotypic variation for grain yield and grain nitrogen concentration among sorghum hybrids under different levels of nitrogen fertiliser and water supply. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 737 – 747.
- KANAMPIU, F. K. 1997. Effect of nitrogen and rate plant nitrogen loss in winter wheat variety. *Journal Plant Nutrition.* 404 p.
- LANG, P.; MALLETT. 1987. The effect of tillage system and rate and time of nitrogen application on sorghum performance on a Sandy Avalon. *Plant Soil:* 127-130.
- LITTELL R., C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W,W.; WOLFINGER R., D. 2004. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina. 6th printing, August 2004. 633 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Nicaragua). 1971. Manual práctico para la interpretación de suelos, catastro e inventario de recursos naturales. Managua, Nicaragua. 39 p.
- MAGFOR. 2005. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Evaluación del ciclo agrícola 2004/2005 y proyecciones. 24 p. Disponible en: http://www.magfor.gob.ni/tematica/pnll_siembra.html.
- MARANVILLE, J. W.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M. 1980. Nitrogen efficiency in grain Sorghum. *J. of Plant Nutrition* 2: 577-589.
- MOLL R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy J.* 74: 562-564.
- MONTERREY, C. 1997. Dosis y momento de aplicación en fertilizantes nitrogenados: Efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 44 p.
- PINEDA, L. L. 1997. La producción de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) granífero en Nicaragua y su manejo bajo condiciones de secano. Instituto Técnico, INTA, CNIA. Managua, Nicaragua. 55 p.
- QUINTERO, F.; CASANOVA, E. 2000. Respuesta a la fertilización en el cultivo de sorgo en el oriente del estado Guarico, Venezuela. *Revista Agronomía Tropical* 50(3): 499-507.

- SINGH, R.; AXTELL, J.D. 1973. High lysine mutant gene (hl) that improves protein quality and biological value of grain sorghum. *Crop Sci.* 13: 535-539.
- SUÁREZ, M. M.; ZELEDÓN, J. L. 2003. Uso eficiente del nitrógeno por cuatro variedades de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L] Moench) en el municipio de San Ramón, Matagalpa. Tesis Ing. Agrónomo. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 42 p.
- URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y El Caribe. Porto Alegre. Génesis. Río de Janeiro. Brasil. p. 9, 19 y 21.
- WALINGA, I.; VARK, W. V.; HOUBA, V.J.G.; VAN DER LEE, I. 1989. Soil and plant analysis a serie of syllabus. Part 7: soil Analysis procedures. Department of Soil and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University. 263 p.
- YOUNQUIST, J. B.; BRAMEL, COX. P.; MARANVILLE, J W. 1992. Evaluation of alternative screening criteria for selecting Nitrogen-use efficient genotypes in sorghum. *Crop science* 32 (6): 1310-1313.