

AGRONOMÍA

USO EFICIENTE DEL NITROGENO POR 16 LINEAS DE SORGO EN NICARAGUA

Leonardo García Centeno¹, Orlando Téllez Obregon² y Stephen C. Mason³

¹ Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Departamento de producción vegetal. km 12 ½ carretera norte Managua, Nicaragua. Apdo. 453. lgarcia@una.edu.ni

² Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), Nicaragua, orlando_t_2001@yahoo.com

³ Universidad de Nebraska, P.O. Box 630915, Lincoln, NE 68583-0915, smason1@unl.edu.



RESUMEN

El nitrógeno es uno de los factores que limita la producción del sorgo por su alta demanda y alto costo del fertilizante. Con el objetivo de evaluar distintos materiales de sorgo en Nicaragua, un experimento con 14 líneas de sorgo de ICRISAT, Jocoro de El Salvador y el testigo local Pinolero-1, se plantaron a cero y 37 kg N/ha en seis ambientes. Los ambientes eran combinaciones de localidad/año incluidos; El Plantel 2003 y 2004, CEO-Posoltega 2003 y 2004, y Tisma y San Isidro en 2004. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, los tratamientos se aleatorizaron en las parcelas. La línea se ubicó en la parcela grande y el nivel de nitrógeno en las subparcelas. El rendimiento de grano, rastrojo, concentración de N y extracción por grano y rastrojo, y el uso eficiente del N por grano y biomasa fueron determinados. Sin aplicación de N, ninguna línea de sorgo rindió mejor que Pinolero-1, mientras ICSVLM-93079 produjo 0.7 tm/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. La aplicación de N aumentó el rendimiento de grano en 0.8 tm/ha y de rastrojo en 1.9 tm/ha. Los programas de mejoramiento de sorgo en Nicaragua, deben incluir ICSVLM-93079 para aumentar el rendimiento de grano. Los productores deben usar el fertilizante N

ABSTRACT

Nitrogen is one of the limiting factors in sorghum production due to high plant demand and the high cost of fertilizer. An experiment with 14 sorghum lines from ICRISAT, Jocoro from El Salvador and the local check Pinolero-1 were planted at zero and 37 kg N/ha in six environments. Environments were location/year combinations and included El Pantel (Masaya) in 2003 and 2004, CEO – Posoltega in 2003 and 2004, and Tisma and San Isidro in 2004. A randomized complete block design with split plot treatment arrangement was used with 4 replications. Sorghum line was the whole plot, and N level the sub-plot. 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 tm/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 tm/ha and stover by 1.9 tm/ha. Sorghum breeding programs should include ICSVLM-93079 to increase grain yield and N fertilizer responsiveness, and producers should use fertilizer N to increase grain and stover yields.

para aumentar rendimientos de grano y de rastrojo.

Abreviaturas: N, nitrógeno, UEN, uso eficiente de nitrógeno, IR, incremento de rendimiento en kg de grano por kg de N aplicado

Palabras claves: Líneas de Sorgo, Nivel de Nitrógeno, Uso eficiente de nitrógeno, Rendimiento de grano, Rendimiento de rastrojo

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 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 que hoy es considerado como uno de los principales rubros.

Para los agricultores nicaragüenses, el sorgo es un cultivo antiguo y es muchas veces 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 2005-2006 el 6.1% del área sembrada de granos básicos, aumentando solo en un 0.58 % en el siguiente ciclo agrícola 205-2006.

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 mal uso de líneas (genotipos), condiciones ambientales y prácticas de manejo, otro problema es, las cantidades de fertilizantes requeridos para la planta de sorgo, la que varía 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⁻¹ se logró obtener un rendimiento en grano de 7,230 kg ha⁻¹. Trabajos realizados por Suárez y Zeledón (2003) mostraron que la variedad CNIA-INTA logra rendimientos de 5,295 kg ha⁻¹, cuando se aplican 38 kg de N ha⁻¹, 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).

Key Words: Sorghum Lines, Nitrogen Levels, Nitrogen Use Efficiency, Grain Yield, Stover Yield

Para los productores nicaragüenses, los bajos rendimientos también están asociados a la baja capacidad para la compra de fertilizantes, por lo que en la mayoría de los casos, los pequeños productores (en cuyas manos esta la mayor área en producción) siembran a expensas de las reservas naturales del suelo.

El nitrógeno es uno de los elementos que mas limita los rendimientos. 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, sobre todo para aumentar su disponibilidad y que la planta haga uso eficiente del mismo. Una practica 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 (EUN) 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, este se ha descrito en dos sentidos uno lo describe como, eficiencia de absorción y otra sobre la utilización eficiente del nitrógeno, siendo esta ultima mas importante porque describe el uso que la planta hace del fertilizante, otras formas de eficiencias como de recuperación y eficiencia económica han sido reportadas. (Baligar *et al.*, 2001; Cassman *et al.*, 1998; 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 fisiológica o la eficiencia de utilización de nitrógeno (Kanampiu *et al* 1997). La eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno debe ser considerada como un componente 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 (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 tras locación de nitrógeno en la planta.

La Universidad Nacional Agraria y el Programa INTSORMIL evaluaron 16 líneas de sorgo seleccionadas de trabajos anteriores con cero 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 uso eficiente de nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se establecieron en seis ambientes. Dos fueron en 2003 y 2004 en la finca El plantel (Municipio de Zambrano, Departamento de Masaya); cuyas coordenadas son 12° 03'

latitud norte y 86° y 06' latitud oeste; con una altura de 200 msnm. El plantel según Chévez y Mendoza (2000), la zonificación ecológica corresponde a una zona transicional entre bosque tropical seco y bosque tropical húmedo. El clima se caracteriza por tener una precipitación media anual de 1100 mm y una temperatura media de 26 °C (Tabla 1). Los suelos del Plantel, se clasifican dentro del orden de los Molisoles, pertenecen a la serie de Zambrano (MAG, 1971), 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 (Tabla 2). Dos ambientes fueron en el Centro Experimental de Occidente (CEO) en 2003 y 2004. El CEO esta ubicado en el municipio de Posoltega, Departamento de Chinandega, este se ubica a los 12°33' de latitud Norte y 85°59' de longitud oeste, a una elevación de 80 metro sobre el nivel del mar. La zonificación ecológica según Holdridge (1982) es del tipo bosque subtropical seco, actualmente es una llanura sin bosque (Tabla 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). Las precipitaciones promedios anuales son de 900 a 1000 mm y las temperaturas promedios anuales entre 28 y 31 °C. (Tabla 2).

Un quinto ambiente se estableció en San Isidro, departamento de Matagalpa, cuyas coordenadas corresponden a los 12° 06' latitud Norte y 86° 01' longitud Oeste, ubicada a una altura de 480 msnm en 2004. El ensayo se realizó en la época de postera. Según la clasificación de Holdridge (1986), 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 (Tabla 1). El suelo pertenece al orden de los ver-

tisoles. 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. 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 en 2004. El clima que predomina es de Bosque Trópico seco y bosque subtropical Húmedo, según la clasificación por zonas de vida de Holdridge. Tisma se encuentra a 70 msnm, la precipitación promedio anual es de 896.9 mm, con una temperatura promedio anual de 27.4 °C las precipitaciones promedios anuales son de 1841 mm y temperaturas medias de 27.4 °C (Tabla 1) y se encuentra a una elevación entre 80 y 90 msnm. El suelo pertenece al orden de los vertisoles, con horizonte superficial.

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 6 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 4 surcos centrales como parcela útil para muestreos de las

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

Ambiente	Agosto		septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Promedios	
	P (mm)	p T (°C)	Pp (mm)	T (°C)	P (mm)	p T (°C)	P (mm)	p T (°C)	P (mm)	p T (°C)	P (mm)	p T (°C)
CEO 2003	115	30	150	30,5	200	30	5	29,5	1	29,5	471	29.9
CEO 2004	206	27	248	26.5	287	27.5	55	26.2	0	26.7	796	26.8
Ptel 2003	118	25.7	144	26,3	271	26	83	25.7	1	25.2	617	25.8
Ptel 2004	150	25.3	210	26.8	212	26.7	110	24.8	0	24	732	26.1
Tisma 2004	200	25.5	208	25.1	275	26	205	25.4	5	25.2	893	25.4
S. Isid,2004	115	26	80	25.8	220	24.7	46	24.8	1	24.7	462	25.2

Tabla 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.

Tabla 3 Descripción de los factores en estudios.

Factor A: Líneas a evaluar		Factor B: Niveles de N aplicados por 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	Jocoro	
A16	Pinolero (testigo)	

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 provienen del programa de ICRISAT, Jocoro proviene de El Salvador y como testigo se utilizó la variedad nacional Pinolero-1, los factores en estudio se muestran en la Tabla 3.

Se evaluaron en cada línea 2 niveles de fertilización (0 y 37 kg de N /ha). Todos los tratamientos excepto aplicación cero, tuvieron como fertilización base 64 kg ha⁻¹, 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⁻¹. No se aplicó potasio por el nivel alto de los suelos, y no se aplicó fósforo en los casos donde era bajo, por que en el mercado no se encuentra fertilizante de fuente única de fósforo.

A la cosecha se midieron los siguientes parámetros:

- * 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 tm ha⁻¹.
- * Rendimiento de grano: Después de cosechadas las parcelas, se les determinó el porcentaje de humedad, posteriormente se desgranó la panoja y se ajustó el rendimiento al 14% de humedad, se pesó y se expresó en tm ha⁻¹
- * 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, fue molida y enviada 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 formulas (Maranville et al, 1980).

$$\text{NUE1} = \frac{\text{Rendimiento de grano} + \text{Rendimiento de rastrojo}}{\text{N en grano} + \text{N en rastrojo}} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$

$$\text{NUE2} = \frac{\text{Rendimiento de grano}}{\text{N en grano} + \text{N en rastrojo}} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$

$$\text{IRG/kgN} = \frac{\text{kg ha}^{-1} \text{ grano producido c/N} - \text{kg ha}^{-1} \text{ grano producido s/N}}{37 \text{ kg N ha}^{-1}}$$

NUE1: Eficiencia de uso del N por la biomasa

NEU2: 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, por que las repeticiones 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 que materiales son más estables en los diferentes ambientes evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ANDEVA mostraron que el rendimiento de grano y biomasa fueron influenciados por la interacción de ambiente, líneas y nivel de N. Como la interacción de dos factores tiene más sentido biológico, los resultados están presentados y discutidos en este sentido.

El valor de F para Nivel de N fue 8 a 137 veces más alto que 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, por tanto los programas de extensión deberían promover la aplicación de N si el objetivo es aumentar el rendimiento de sorgo.

Según el ambiente, los resultados para el rendimiento de grano, mostraron que la mayor producción se obtuvo en El Plantel 2004 con 4,1 tm ha⁻¹ y en último lugar Pantel 2003 con 2,6 tm ha⁻¹ (Tabla 4). Las variaciones promedio del rendimiento de grano en esta localidad en el 2003 respecto al

2004, se debieron fundamentalmente a las bajas e irregulares precipitaciones que ocurrieron en el 2003 (Tabla 1), En CEO, donde los ensayos también fueron establecidos por dos años consecutivos, los rendimientos se mantuvieron alrededor de los 3,5 tm ha⁻¹ y la variación del rendimiento por línea de un año respecto al otro solo fue de 0,6 tm. 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 tm contra 0,6 tm en CEO, que aunque en 2003 también llovió menos la variación fue menor, probablemente favorecido por los niveles más altos de fósforo en los suelos, que como se sabe este favorece el desarrollo de un mejor sistema radical y con ello se favorece la absorción de agua y nutrientes. San Isidro y Tisma promediaron 3,0 y 3,9 tm ha⁻¹. La misma tendencia mostró el rendimiento de biomasa (Tabla 4). La baja presencia de plagas y enfermedades, y el efectivo control de malezas (manual) con el aporque realizado a los 40 días des-

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

Líneas	Rendimiento de grano (tm ha ⁻¹)							Rendimiento de biomasa (tm ha ⁻¹)						
	CEO 2003	CEO 2004	Ptel 2003	Ptel 2004	San Isidro 2004	Tisma 2004	\bar{X}	CEO 2003	CEO 2004	Ptel 2003	Ptel 2004	San Isidro 2004	Tisma 2004	\bar{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
\bar{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 significativo y altamente significativo al 5 y 1 % respecto del testigo.

pués 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 solo la **ICSVLM-93079** (línea 13) supero en rendimiento al testigo Pinolero-1 en un 7,5 %, y el resto de materiales estuvieron por debajo de pinolero (Tabla 4). La interacción de ambiente x línea (Tabla 4) mostró que los materiales evaluados, no fueron afectados por el ambiente, pues sus producciones promedio de grano varían entre 3,2 y 4,0 tm ha⁻¹, a excepción de **ICSVLM-90520** (línea 8) que obtuvo los rendimientos mas bajos en todos los ambientes (2,9 tn ha⁻¹) y la muestra como la de mas baja adaptabilidad en Nicaragua, a excepción del ambiente Tisma 2004, donde alcanzo el cuarto mejor rendimiento. La línea (13) **ICSVLM-93079** y el testigo **Pinolero-1** obtuvieron los rendimientos mas estables y los mas altos en todos los ciclos y localidades evaluadas (4,3 y 4,0 tm ha⁻¹). La línea (13) **ICSVLM-93079** solo fue superada por el testigo en el Plantel 2004. Es importante hacer notar, que en los ambientes CEO 2003 y 2004, y Plantel 2004 las diferencias de las líneas respecto del testigo marcadas en la Tabla 5, indican que Pinolero-1 las supero en rendimiento, sin embargo en los ambientes San Isidro 2004 y Tisma 204, la casi totalidad de las líneas marcadas, superaron al testigo Pinolero-1, pero solo se dife-

rencia estadísticamente con 5 en San Isidro y con 10 en Tisma, donde representan mas del 50 % del material evaluado.

La evaluación del efecto de las localidades sobre la producción de biomasa mostró que el valor mas alto se alcanzo en la localidad Plantel 2004, siendo igual estadísticamente a San Isidro 2004 y ambas diferentes del resto de localidades, el valor mas bajo se alcanzo en Plantel 2003 con 4.4 tn ha⁻¹. Cabe resaltar que en los ambientes del 2004 fueron donde se alcanzaron los promedios más altos de rendimiento de biomasa, dentro de estos, la línea que obtuvo el mayor rendimiento fue la ICSVLM-93079.

A la luz de los resultados de la Tabla 4, se podría concluir que solamente la línea 13 es consistente en su rendimiento de grano y rastrojo en todas las localidades, su posición solo vario del primero hasta el tercero en todas las localidades. Esta línea por lo tanto, debería estar 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 se diferenciaron estadísticamente del nivel cero aplicación de N, y todas incrementaron su rendimiento entre 0.4 y 1.4 tm ha⁻¹ cuando se aplico 35 kg de N ha⁻¹ (Tabla 5). Al evaluar el nivel 35 kg de N, se encontró que de todas las líneas (marcadas con asteriscos), solo la línea 13 (ICSVLM-93079)

Tabla 5. Resultados de la interacción línea x nivel de N en grano y rastrojo. Nicaragua 2003 – 2004.

Lines	Rendimiento de grano (tm ha ⁻¹)			Rendimiento de rastrojo (tm ha ⁻¹)		
	Nivel de N kg ha ⁻¹			Nivel de N kg ha ⁻¹		
	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
\bar{X}	3.0	3.8	27.6	5.1	6.1	19.2

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

* y ** indica diferencias significativo y altamente significativo respecto del testigo

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

Ambientes	Rendimiento de grano (tm ha ⁻¹)			Rendimiento de Rastrojo (tm ha ⁻¹)		
	Nivel de N (kg ha ⁻¹)		%	Nivel de N (kg ha ⁻¹)		%
	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
\bar{X}	3.0	3.8		5.1	6.1	

se diferencio del testigo con mayor rendimiento, el resto de líneas se diferenciaron del testigo, pero produjeron menores rendimientos que este 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 presentados en la Tabla 5 y donde se muestra a esta variedad con mayor rendimiento al nivel cero que con aplicación de N, son 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 estos donde el rendimiento con cero aplicación de N fueron similares y mayores que otro ciclo respecto al nivel 35 kg de N ha⁻¹.

La interacción ambiente x nivel de N (Tabla 6), mostró que el rendimiento de grano y rastrojo se incremento en todos los ambiente cuando se aplicó nitrógeno, a excepción del Plantel 2004, donde no se mostraron diferencias entre aplicar y no aplicar nitrógeno, aun bajo condiciones de suelo pobre en fósforo (Tabla 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 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 2004 los incrementos estuvieron entre 2.5 y 30 %.

Nitrógeno en grano, biomas y uso eficiente. Para la evaluación de la acumulación de N por el grano y la biomas, se utilizaron los valores de N provenientes de la mezcla de material de las cuatro replicas, 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 (Tabla 7), muestran que en % de N en grano, solamente las líneas ICSVLM-89537, ICSVLM-89544, ICSVLM-89551 y Jocoro (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, Stecker y Maledy., 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 agro climáticas diversas que influyen en la composición del grano

La tendencia en el valor porcentual de N en el rastrojo (Tabla 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 este. Los resultados pudrían reflejar que las extracciones totales están más influenciadas por la producción de grano y/o rastrojo, y no por el incremento en la necesidad de N por el cultivo.

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

Los resultados (Tabla 7), también muestran que solamente el 47 % de las líneas evaluadas tienen un comportamiento similar al testigo pinolero 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, aunque el otro 13 % no se diferencio estadísticamente, los valores del UEN en biomas también estuvieron por debajo del testigo. Los resultados muestran entonces, que Pinolero tiene una alta capacidad no solo 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 en la misma Tabla 7, estos 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 mas grano por kg de fertilizante aplicado que el testigo Pinolero-1.

Tabla 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		Extraction		Uso eficiente de N		
	grano	rastrojo	grano	rastrojo	grano	biomasa	IR ¹
	%		Kg ha ⁻¹		Kg ha ⁻¹ / 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

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

¹ kg de grano producido por kg de N aplicado.

A la luz de los resultados de la misma Tabla 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, y garantizarse un rendimiento promedio de 3,0 tm ha⁻¹.

Aun con las buenas características de Pinolero, los valores de IR (Tabla 7), muestran que su capacidad de traslocación para producir grano es baja, pues solo 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 a análisis de estabilidad. Este mostró, para el componente principal 1, que 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 ubico 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 la que más

lejos se ubica. Esto indica que es un material muy inestable en su rendimiento en los ambientes Plantel, Tisma y San Isidro.

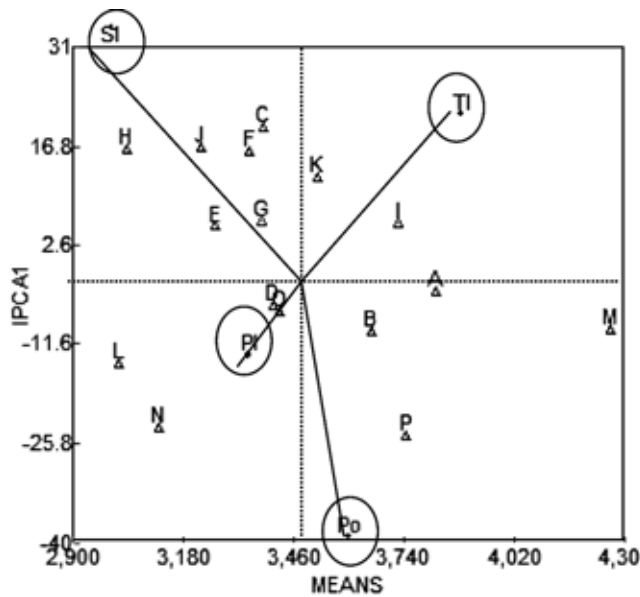
De todos los materiales evaluados solamente el 25% obtuvo rendimientos por encima de la media AMMI (ICSVLM-89513, ICSVLM-89524, ICSVLM-92512, CSVLM-93076 y pinolero) que es 3460 kg y de estas ICSVLM-89513 y ICSVLM-93076 se ubican como las líneas más estables y de alto rendimiento de grano, otras líneas se ubican por el análisis 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 mas interactúan 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 si por las condiciones de lluvias de cada ciclo. Las producciones de grano variaron con la línea y se obtuvieron mayores producciones cuando se aplica N al suelo.

La producción de materia seca, varía con los ambientes, sin embargo, los mayores valores se obtuvieron cuando se



aplica N al suelo. Las líneas ICSVLM-89513 y ICSVLM-93079

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

se presentaron como líneas estables ambientalmente y de alto rendimiento tanto en biomasa como de grano, y como las que mejor traducen el kg de fertilizante aplicado a kg de grano producido.

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

Localidades

RECOMENDACIONES

Seleccionar las líneas ICSVLM-89513 y ICSVLM-93079 y evaluarlas en las mismas localidades a diferentes niveles de nitrógeno para determinar si mantiene su compartimiento en rendimiento de grano y biomasa.

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 estas y la facilidad de reproducir la semilla.

Para ambientes pobres San isidro utilizar la línea ICSVLM-90510 por adaptabilidad y rendimientos de 3000 kg ha⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BALIGAR, V.C., N.K.FAGERIA, AND Z.L. HE.** 2001. Nutrient use efficiency in plant. *Comm. Soil Sci. Plan Anal.* 32:921-950.
- CASSMAN, K. G., S. PENG, D.C. OLK, J. K. LADHA, W. REICHHARDT, A. DOBERMANN, AND U. SINGH.** 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice system. *Field Crops Res.* 56: 7-39.
- CHÉVEZ D, M Y MENDOZA J, 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.
- INTA,** 1995. Cultivo de Sorgo. Guía Tecnológica 5. Managua, Nicaragua. 14 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI).** 2005. IRRISTAT for Windows. Versión 5. Biometrics and Informatics Unit. IRRI. Philippine.
- FAO.** 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana (Colección FAO: Alimentación y nutrición N°27) 197 p.
- GARCÍA, L.,; TÉLLEZ, 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., J. A. STECKER AND S. R. MALEDY.** 1988. Effect of rotation on the response of sorghum to fertilizer nitrogen. *J. Prod. Agric.* 1: 318 – 321.
- HOLDRIDGE L, L.** 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Por Humberto Jimenez Saa. 1a ed. San Jose, Costa Rica, IICA. 216 p.
- KAMOSHITA, A. S. FUKAI, R.C. MUCHOW AND M. COOPER.** 1998. Genotypic variation for grain yield and grain nitrogen concentration among sorghum hybrids under different levels of nitrogen fertilizer 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 varieties. *Journal, plant Nutrition.* 404 p.
- LANG, P. & MALLET.** 1987. The effect of tillage System and rate and time of nitrogen application on sorghum performance on a Sandy Avalon. *Plant Soil.* Pág. 127-130.
- LITTELL R, C.; MILLIKEN G, A.; STROUP W, W. AND 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,** 1971. Manual práctico para la interpretación de suelos, catastro e inventario de Recursos Naturales. Managua (Nic), 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., R. B. CLARK & W. M. ROSS.** 1980. Nitrogen efficiency in grain Sorghum. *J. of Plant. Nutrition.* (2):577-589 p.
- MOLL R, H., E. J. KAMPRATH, AND W. A. JACKSON.** 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. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 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 (Nic), 55 p
- QUINTERO, F. & CASANOVA, E.** 2000. Respuesta a la fertilización en el cultivo de sorgo en el oriente del estado Guarico, Venezuela. *Agronomía Tropical.* Pág. 99, 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., Y 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. Agronomo. 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. Rio de Janeiro. Brasil. Pág 9, 19 y 21.
- WALINGA, I., VARK, W. V., HOUBA, V.J.G., J.J. 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. 263p.
- 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) Pág 1310-1313.