

# ABSORCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE NITRÓGENO ISOTÓPICO EN SORGO CULTIVADO EN CONDICIONES DE DRENAJE SUBTERRÁNEO EN EL TRÓPICO HÚMEDO

## Absorption and Distribution of Isotopic Nitrogen in Sorghum Growing under Subsurface Drainage Conditions in the Humid Tropic

D. Cristóbal Acevedo<sup>1‡</sup>, J. J. Peña-Cabriales<sup>2</sup>, J. A. Vera Nuñez<sup>2</sup>, O. L. Palacios Vélez<sup>3</sup>  
y M. Estrada Botello<sup>4</sup>

### RESUMEN

En el trópico húmedo se realizó un experimento para determinar las cantidades de nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) y nitrógeno derivado del suelo (Ndds), absorbidos y acumulados en tallos, hojas y grano al final de la etapa de desarrollo vegetativo (EDV) y al final de la etapa de madurez fisiológica (EMF) por un cultivo de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] en dos ciclos de cultivo, uno con riego y otro con temporal, con tres espaciamientos de drenaje subterráneo (EDS). Se utilizaron microparcels fertilizadas con una dosis de N isotópico de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Los resultados mostraron que no se tuvo efecto de los EDS sobre la acumulación de Nddf y la ERNF en tallos y hojas para las dos etapas fenológicas estudiadas. Se encontró efecto de las EFN sobre el Nddf teniéndose una mayor absorción en la EDV en los dos ciclos de cultivo. En el ciclo bajo riego, el Nddf absorbido por el cultivo y cuantificado al final de la EDV y EMF fue en promedio de los tres EDS, tallo, hojas y grano, de 25.26 y 13.52%; respectivamente, el Ndds absorbido por el cultivo fue de 74.74 y 86.48%. El Nddf en grano (20.47%) fue mayor que en tallos (11.33%) y hojas (8.76%). En el ciclo con lluvias el Nddf absorbido por el cultivo y cuantificado al final de la EDV y EMF, respectivamente, fue en promedio de los tres EDS, tallo, hojas y grano, de 45.87 y 21.96%; el Ndds absorbido por el cultivo fue de 54.13 y 78.04%. El Nddf en grano (24.65%) fue mayor que en tallos (21.72%) y hojas (19.51%).

<sup>1</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (cristobalacevedo@yahoo.com.mx)

<sup>2</sup> CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato. Irapuato, Gto., México.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

<sup>4</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.

Recibido: junio de 2004. Aceptado: mayo de 2007.

Publicado en Terra Latinoamericana 25: 363-371.

*Palabras clave:* nitrógeno del suelo, nitrógeno del fertilizante, espaciamientos de drenaje, microparcels, eficiencia de recuperación del nitrógeno.

### SUMMARY

An experiment was conducted in the humid tropic to determine amounts of nitrogen derived from fertilizer (Nddf) and soil derived nitrogen (Ndds) absorbed and accumulated in stems, leaves and grain during vegetative development (EDV) and at physiological maturity (EMF) by sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in two cropping cycles, one with irrigation and one under rainfed conditions, and three spacings of subsurface drainage (EDS). Microplots fertilized with an isotopic N dose of 120 kg ha<sup>-1</sup> were used. The results showed that there was no effect of EDS on the accumulation of Nddf and ERNF in stems and leaves for the two phenological stages studied. An effect of EFN on Nddf was found; there was greater absorption during EDV in the two cycles. In the irrigation cycle, Nddf absorbed by the crop (stem, leaves, and grain) and quantified at the end of EDV and EMF was (average of the three EDS) 25.26 and 13.52%, respectively. The Ndds absorbed by the crop in each stage was 74.74 and 86.48%. Nddf in grain (20.47%) was higher than in stems (11.33%) and leaves (8.76%). In the rainfed cycle Nddf absorbed by the crop (stem, leaves, and grain) and quantified at the end of EDV and EMF, respectively, was 45.87 and 21.96% (average of the three EDS); Ndds absorbed by the crop was 54.13% and 78.04%. Nddf in grain (24.65%) was higher than in stems (21.72%) and leaves (19.51%).

*Index words:* soil nitrogen, fertilizer nitrogen, drainage spacing, microplots, nitrogen recovery efficiency.

## INTRODUCCIÓN

La Chontalpa, Tabasco, México es una zona tropical húmeda con gran potencial para la producción de cultivos, debido a la existencia de suelos planos y profundos, ya que no se presentan heladas. Sin embargo, uno de los problemas a resolver está relacionado con la falta de agua de lluvia en la época seca, caracterizada por pocos eventos de pequeña magnitud, y exceso de agua en la época de lluvias, definida por precipitaciones constantes con intensidades de hasta 180 mm en 24 h. Para la producción de cultivos en la época seca la falta de humedad se solventa con el riego por gravedad. En la época de lluvias el exceso de humedad en el suelo se resuelve con sistemas de drenaje subterráneo que eliminan el agua; sin embargo, los sistemas de drenaje, al acelerar la descarga de agua del subsuelo, también aceleran la salida de elementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Fausey *et al.*, 1995; Jebellie y Prasher, 1995; Skaggs *et al.*, 1995). Uno de estos elementos es el N, el cual las plantas absorben en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , y cuyas fuentes son el nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf), y el nitrógeno derivado del suelo (Ndds). El  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{NH}_4^+$ , provenientes del fertilizante o de la mineralización de la materia orgánica del suelo, al estar en solución, se lixivian, en mayor grado el  $\text{NO}_3^-$ , y salen de los campos de cultivo. Además, por las condiciones de alta temperatura y humedad, es posible que el proceso de desnitrificación sea considerado. Estos dos procesos causan problemas económicos, por una baja eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado (ERFN), y ambientales, por el impacto que puede producir la salida de  $\text{NO}_3^-$  a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Para establecer la cantidad de Nddf que se pierde y no es aprovechada por la planta, es necesario cuantificar la cantidad que la planta absorbe, lo que sólo puede realizarse de manera precisa con el método isotópico. La utilización del  $^{15}\text{N}$  está basada en la técnica descrita por Zapata (1990). Las cantidades de Nddf absorbido varían en función del cultivo, la dosis y el manejo; en general, alrededor de 20 a 70% del fertilizante nitrogenado aplicado lo utiliza el cultivo, como lo muestran los resultados de Kengni *et al.* (1994), quienes aplicaron una dosis de 260 kg ha<sup>-1</sup> de N, como nitrato de amonio, en maíz, y encontraron que 65% del fertilizante fue absorbido por la planta. Bloom *et al.* (1988) reportan eficiencias de recuperación de 54 y 63% para dos cultivares de trigo. Sin embargo, Alcoz *et al.* (1993) señalan que cuando se aplicó una dosis de

150 kg ha<sup>-1</sup> de N en trigo, sólo se absorbió 27.2%. Muñoz *et al.* (2003) encontraron que, en promedio, en un experimento de tres años con maíz y utilizando  $^{15}\text{N}$ , 18% del N aplicado lo recobró la planta, 46% permaneció en el suelo y 36% se perdió. De lo anterior es claro que los porcentajes de Nddf absorbido varían en un rango amplio y dependen de las condiciones específicas de cultivo, por lo que es importante determinarlos para cada sitio y cultivo de interés. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar, en dos ciclos de cultivo, uno con riego (semilla) y otro con temporal (soca), los porcentajes de Nddf y Ndds absorbidos y acumulados en tallos, hojas y granos, al final de la etapa de desarrollo vegetativo (EDV) y al final de la etapa de madurez fisiológica (EMF), por un cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para grano, con tres espaciamientos de drenaje subterráneo (EDS), y determinar si los EDS y épocas de fertilización nitrogenada (EFN) afectan el Nddf y la ERNF en tallos, hojas y grano, así como en la producción de grano (PG).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la parte oriental del Lote D-5 del módulo de drenaje del campo experimental "El Trapecio", perteneciente al Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, localizado en el km 21 de la carretera H. Cárdenas, Tabasco – Coatzacoalcos, Veracruz, en los 17° 49' 03" N y 93° 23' 03" O, donde se tienen parcelas con tratamientos de drenaje subterráneo consistentes en separación entre drenes subterráneos cada 10, 20 y 40 m (Figura 1). Para cada separación se cuenta con cuatro líneas de drenes. En el área se tienen dos series de suelos que conforman la capa arable: una, clasificada como Typic Troporthent, franco-mezclado isohipertérmico-no ácido; otra, como Acuantic Cromouderts fino-montmorillonítico-isohipertérmico (Trujillo y Palma, 1988). Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el clima es Am (f) w" (i) g cálido húmedo tropical lluvioso, con valores medios anuales de temperatura, precipitación y evaporación de 26.5 °C, 2163 mm y 1234 mm, respectivamente.

### Actividades de Campo

En el mes de marzo se iniciaron los trabajos de campo para el ciclo de cultivo con riego, se preparó un área de 123 m de ancho x 325.1 m de largo en sentido perpendicular a los espaciamientos de drenaje

subterráneo de 10, 20 y 40 m. Se dieron dos pasos de barbecho cruzado, un paso de rastra, y se niveló con "land plane". Posteriormente, se trazaron siete regaderas para la aplicación del riego por gravedad. Se estableció sorgo para grano variedad "Esmeralda". La dosis de fertilización N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O fue 120-80-60 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando como fuentes sulfato de amonio, superfosfato triple y cloruro de potasio, respectivamente. El N y el K se aplicaron de manera fraccionada, 50% en la siembra (EFN1) y 50% el día del primer muestreo vegetal (EFN2); el P se aplicó una sola vez. La cosecha del ciclo con riego se realizó el día 1 de julio. El ciclo bajo condiciones de lluvias inició el día 3 de julio, con la soca del sorgo, una vez que la segadora cortó los residuos de la cosecha. Se dio el mismo manejo que en el ciclo con riego, moviendo las microparcels a 50 m del dren colector principal, para evitar residualidad del <sup>15</sup>N.

### Microparcels Fertilizadas con <sup>15</sup>N

Como se muestra en la Figura 1, al centro de cada espaciamiento de drenaje, y a una distancia aproximada de 26 m del dren colector principal, se establecieron tres microparcels de 4 m x 3.2 m (cuatro surcos a 0.8 m entre surco y surco), cada microparcela contó con una zona de "amortiguamiento" lateral de 50 cm y un surco en la parte superior e inferior, el cual la separó de la siguiente microparcela; de esta manera, se ocuparon 16 surcos por las tres microparcels (Figura 2). Cada

microparcela se dividió en cuatro sub-microparcels de 2 m de largo en el sentido de los surcos x 1.6 m de ancho (dos surcos a 0.8 m entre surco y surco) (Figura 3). En el momento de la siembra, se aleatorizaron los tratamientos de <sup>15</sup>N en las cuatro sub-microparcels; el tratamiento de <sup>15</sup>N se asignó a dos sub-microparcels, una para la cuantificación del Nddf absorbido en la EDV, y otra para su cuantificación en la EMF. A las otras dos sub-microparcels se les aplicó el fertilizante normal para cuantificar <sup>14</sup>N. A las microparcels se les dio un manejo similar que el dado al área general, con la diferencia de que, en lugar de la aplicación de fertilizante nitrogenado comercial común, se aplicó fertilizante marcado con <sup>15</sup>N, con un exceso atómico de 1%. Además, para el ciclo bajo lluvia, las microparcels se ubicaron 16 surcos hacia el poniente, para evitar residualidad.

Los tratamientos isotópicos para cada ciclo de cultivo consistieron en dos épocas de fertilización nitrogenada (EFN): aplicación de 50% (60 kg ha<sup>-1</sup>) de la dosis total en la siembra (EFN1) y 50% al término de la etapa de desarrollo vegetativo (EFN2). La primera, evaluada con el muestreo vegetal al final de la etapa de desarrollo vegetativo (EDV); la segunda, evaluada con el muestreo vegetal al final de la etapa de madurez fisiológica (EMV). Los tratamientos de drenaje subterráneo fueron los espaciamientos (EDS) de 10, 20 y 40 m de separación entre drenes.

Para determinar el efecto de las EFN y de los EDS, se utilizó un diseño de tratamientos factorial 2 x 3 (dos EFN y tres EDS) y un diseño experimental

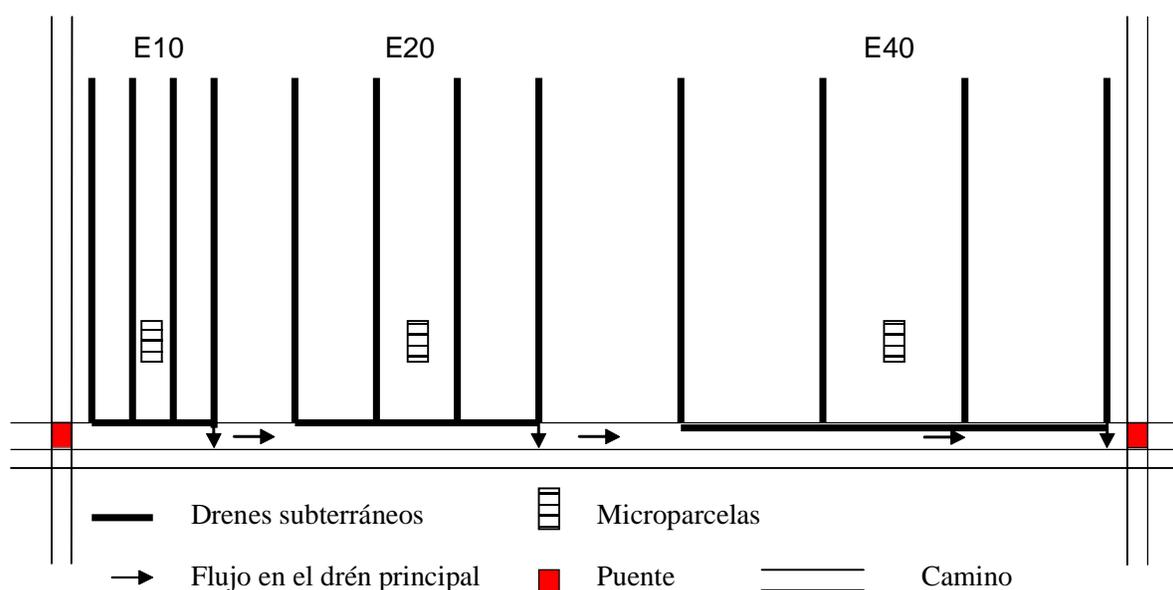


Figura 1. Ubicación de los espaciamientos de drenaje de 10, 20 y 40 m en la parte oriental del Lote D5.

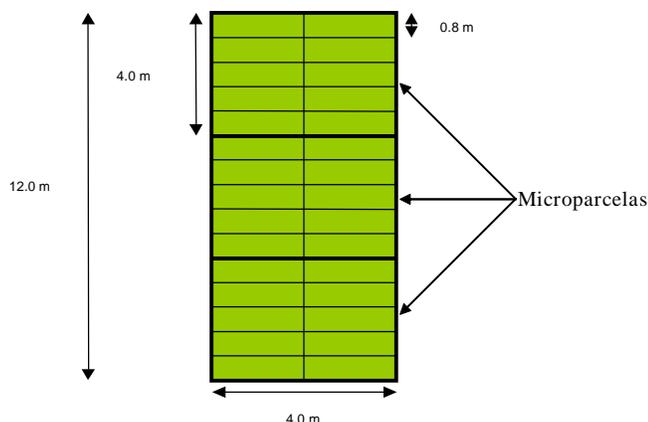


Figura 2. Dimensiones de las microparcelas ubicadas al centro de los espaciamientos de drenaje subterráneo.

completamente al azar. Las variables evaluadas fueron Nddf (%), ERNF (%) y producción de grano (PG) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### Muestreo de Plantas en Microparcelas con el Isótopo $^{15}\text{N}$

El muestreo de plantas para la determinación de  $^{15}\text{N}$  absorbido se realizó al final de las etapas emergencia-fin de desarrollo vegetativo y fin de la etapa desarrollo vegetativo-madurez fisiológica, en los dos ciclos. El procedimiento de muestreo para la determinación de  $^{15}\text{N}$  en las microparcelas de cada espaciamiento de drenaje, consistió en el corte de 2 m lineales de plantas. Las plantas se cortaron a nivel del suelo y se separaron hojas, tallos y panículas (durante el segundo muestreo);

se realizó el desgranado y se pesó el grano. A continuación, se picaron tallos y hojas, y se separó una submuestra de aproximadamente 350 g de tallos, hojas y granos. Las submuestras se introdujeron en bolsas de papel para secarlas a una temperatura de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en una estufa de circulación forzada de aire. Una vez secas las muestras, se pesaron y molieron en un molino de cuchillas eléctrico. Para la determinación de  $^{15}\text{N}$  en las muestras vegetales de tallo, hoja y grano, se utilizó un espectrómetro de emisión óptica NOI-6ePC, propiedad del CINVESTAV –Irapuato; el N total se determinó por el método de kjeldahl (Zapata, 1990).

### Ecuaciones para el Cálculo de Indicadores Isotópicos

A partir de la relación isotópica  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  determinada para cada muestra de hojas, tallos y grano, y con base en el enriquecimiento del  $^{15}\text{N}$  aplicado al suelo en el estudio se determinó la cantidad de Nddf que la planta absorbió y se acumuló en tallos, hojas y grano. Para esto, se utilizó la ecuación:

$$\% \text{Nddf} = \frac{\% \text{ }^{15}\text{N ea en la muestra vegetal}}{\% \text{ }^{15}\text{N ea en el fertilizante aplicado}} \times 100 \quad (1)$$

De tal forma que  $\% \text{Ndds} = 100 - \% \text{Nddf}$

donde: Nddf = nitrógeno derivado del fertilizante, Ndds = nitrógeno derivado del suelo,  $^{15}\text{N ea}$  = nitrógeno marcado exceso atómico.

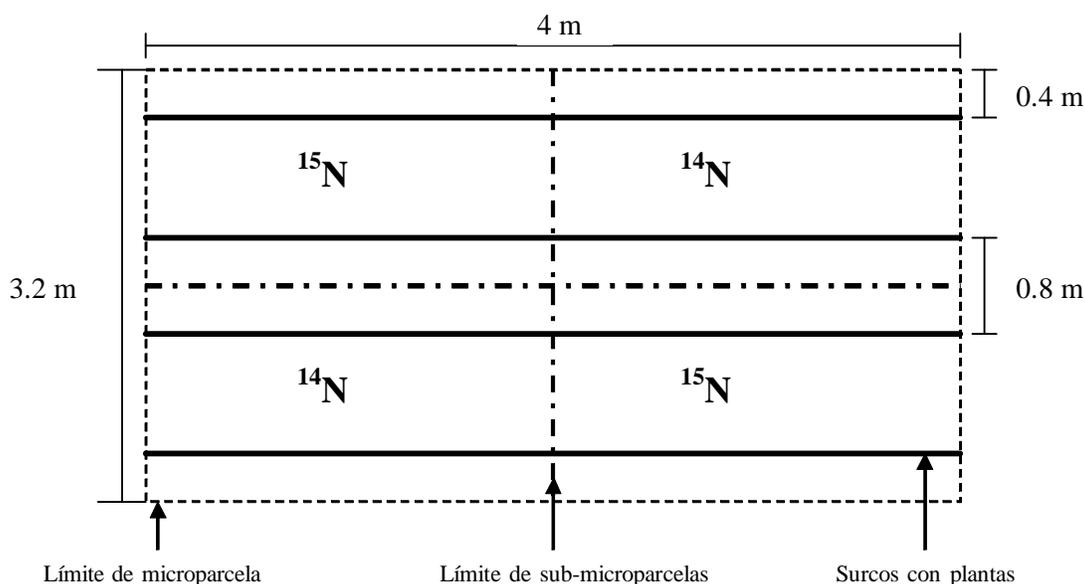


Figura 3. División de las microparcelas en cuatro sub-microparcelas de dos surcos.

Para determinar la ERNF se aplicaron las ecuaciones:

$$RNT = (M.seca) \left( \frac{\% N}{100} \right) \quad (2)$$

$$RNF = (RNT) \left( \frac{\% Nddf}{100} \right) \quad (3)$$

$$ERNF = \frac{RNF}{DA} \times 100 \quad (4)$$

donde: RNT = rendimiento de nitrógeno total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), RNF = rendimiento del nitrógeno del fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), ERNF = eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado (%) y DA = dosis aplicada ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4 se observa que las cantidades de Nddf, expresadas como porcentajes con respecto a la dosis de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  (50% del total aplicado), absorbidas por el cultivo y cuantificadas al final de la EDV fluctúan alrededor de un promedio sobre los EDS de 23.43%, para tallos, y 27.08%, para hojas, de tal forma que el Ndds absorbido por el cultivo para tallos fue de 76.57% y 72.92% para hojas. Es claro que alrededor de 75% del N la planta lo tomó del N proveniente de la mineralización de la materia orgánica en esta etapa, por lo que 75% del Nddf no fue tomado por las plantas.

En la Figura 5 se aprecia que las cantidades de Nddf, expresadas como un porcentaje de la dosis aplicada de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  cuantificadas al final de la EMF fluctúan en un promedio sobre los EDS de 11.33% para tallos y 8.76% para hojas, por lo que el Ndds absorbido por el cultivo fue de 88.67% para tallos y 91.24% para hojas. La absorción del Nddf por el cultivo disminuyó en la etapa fin de DV- fin de MF tomando el cultivo alrededor de 90% del Ndds. En esta figura se observa que para el Nddf en grano, el promedio sobre los tres EDS fue mayor que en tallos y hojas (20.47%), por lo que se infiere que hubo una movilización de Nddf de tallos y hojas hacia el grano en la EMF. Esto coincide con los resultados de López *et al.* (2002), quienes en un experimento con un cultivo de trigo con riego encontraron valores de Nddf de 12.6% y Ndds de 87.4%, y con Peña-Cabriales *et al.* (2002), quienes en otro estudio para trigo bajo riego reportan valores de Nddf de 25 y 28%.

En la Figura 6, correspondiente a ciclo con lluvias, se observa que las cantidades de Nddf absorbidas por

el cultivo y cuantificadas al final de la EDV fluctuaron alrededor de un promedio sobre los EDS de 44.40% para tallos y 47.33% para hojas, de tal forma que el Ndds absorbido por el cultivo y acumulado fue de 55.60% para tallos y 52.67% para hojas. La planta tomó alrededor de 45% del N proveniente de la mineralización de la materia orgánica en esta etapa.

En la Figura 7 se aprecia que las cantidades de Nddf cuantificadas al final de la EMF fluctuaron, en promedio, sobre los EDS 21.72 para tallos y 19.51 para hojas, por lo que el Ndds absorbido por el cultivo fue de 78.28 para tallos y 80.49% para hojas. La eficiencia en la absorción del Nddf por el cultivo disminuyó en la EMF, ya que el cultivo tomó alrededor de 80% de Ndds. Estos resultados son altos, comparados con los del experimento de Dueñas *et al.* (2002), quienes en condiciones de 1454 mm anuales de precipitación, en un cultivo de maíz, encontraron valores de Nddf y Ndds de 13.74 y 86.26%, en un sitio, y 10.28 y 89.72% en otro, respectivamente, y coinciden con los reportados por Otegui *et al.* (2002), quienes reportan valores de Nddf de 19.2% para un cultivo de cebada, con precipitación de 1071 mm anuales. En esta figura se observa que para el Nddf en grano el promedio sobre los tres EDS fue de 24.65%, por lo que se infiere que hubo una menor movilización de Nddf acumulado en los tallos y en las hojas hacia el grano, en comparación con el cultivo bajo riego.

Como se aprecia en las Figuras 4, 5, 6 y 7, el porcentaje del Nddf acumulado en tallos, hojas y grano del cultivo fue menor que el Ndds para la EDV y la EMF, por lo que más de 70% del Nddf quedó disponible para los procesos de lixiviación, desnitrificación, fijación física, inmovilización y volatilización. A partir del análisis de las figuras anteriores se observa que la cantidad de Nddf absorbida por el cultivo y acumulada en tallos, hojas y grano, bajo lluvias con una lámina precipitada de 141.22 cm, fue mayor que bajo riego con una lámina aplicada de 72.18 cm, tanto para la EDV como para EMF. Lo anterior se debió a que para el ciclo de lluvias el cultivo fue soca y la planta ya tenía un desarrollo radicular máximo, lo cual ayudó a una mayor absorción del Nddf, sobre todo en la etapa de desarrollo vegetativo.

A continuación se presentan los resultados del análisis de la varianza para las variables Nddf, Ndds y ERNF en los dos ciclos de cultivo.

En el Cuadro 1 se observa que hubo efecto de las EFN sobre la variable Nddf en tallos y en hojas, tanto para el cultivo con riego como con lluvias, y que las diferencias son significativas, de acuerdo con la prueba

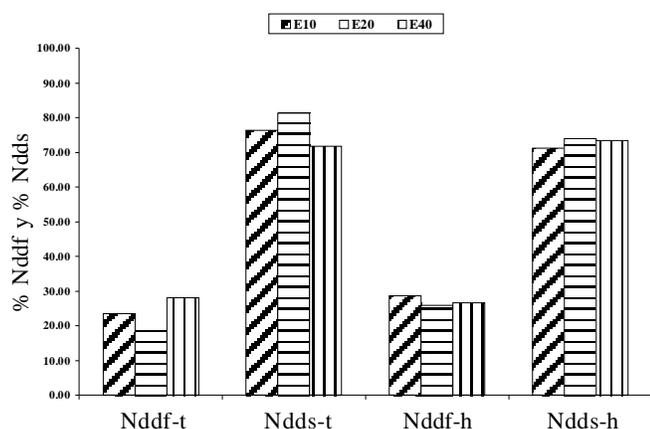


Figura 4. Porcentajes de nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) y del suelo (Ndds) en tallos (t) y hojas (h) de sorgo con riego al término del desarrollo vegetativo en función del espaciamiento entre drenes subterráneos de 10, 20 y 40 m.

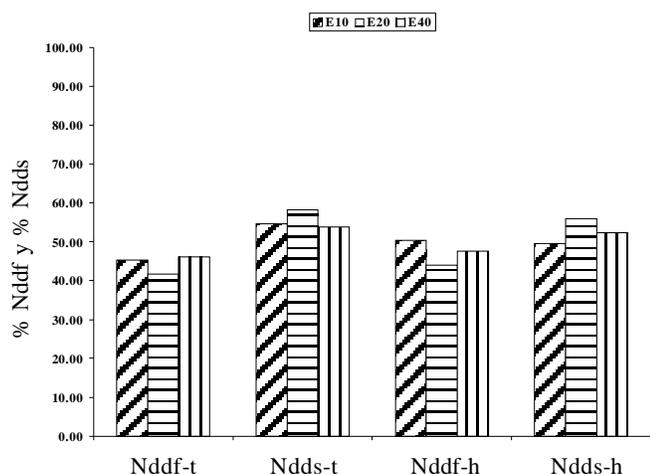


Figura 6. Porcentajes de nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) y del suelo (Ndds) en tallos (t) y hojas (h) de sorgo con lluvias al término del desarrollo vegetativo en función del espaciamiento entre drenes subterráneos de 10, 20 y 40 m.

de Tukey; se absorbe una mayor cantidad de Nddf durante la EDV, en comparación con EMF, lo que indica que la segunda aplicación deberá realizarse antes de que termine la EDV, para tener una mayor absorción del Nddf. También es claro que las hojas acumularon más Nddf que los tallos, en los dos ciclos de cultivo.

Para el caso de EDS se observa que sólo hubo efecto sobre la variable Nddf en el ciclo con riego para el contenido en tallos y, de acuerdo con la prueba de Tukey, el EDS que dio lugar a una mayor absorción de Nddf fue el espaciamiento de 10 m, seguido del de 20 m y el de 40 m. En todos los demás casos no existió efecto.

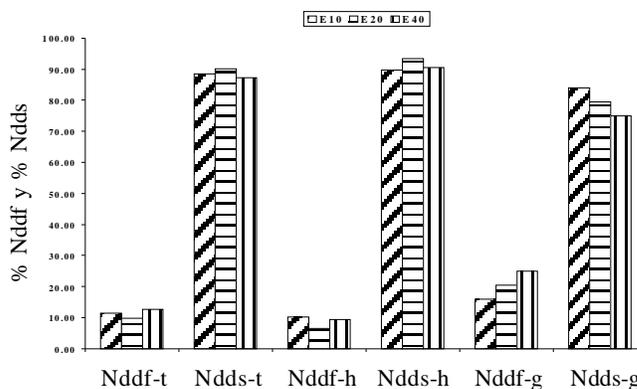


Figura 5. Porcentajes de nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) y del suelo (Ndds) en tallos (t), hojas (h) y grano (g) de sorgo con riego al término de la madurez fisiológica en función del espaciamiento entre drenes subterráneos de 10, 20 y 40 m.

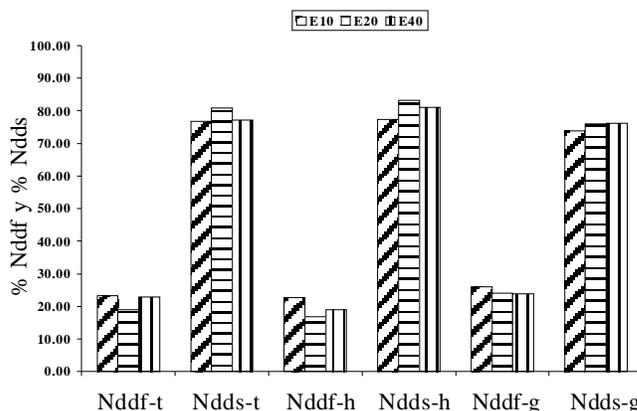


Figura 7. Porcentajes de nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) y del suelo (Ndds) en tallos (t), hojas (h) y grano (g) de sorgo con riego al término de la madurez fisiológica en función del espaciamiento entre drenes subterráneos de 10, 20 y 40 m.

En el Cuadro 2 se observa que sólo se tuvo efecto de las EFN sobre la variable ERNF para tallos y hojas; la EDV fue la que tuvo una mayor ERNF, tanto en el ciclo con riego como con lluvias, esto nos lleva a sugerir que la aplicación del fertilizante nitrogenado debe hacerse durante la EDV.

En el Cuadro 3 se observa que para la variable Ndds sólo se tuvo efecto de las EFN y fue en la EMF donde se tuvo una mayor absorción del Ndds; y ésta fue mayor en riego que con lluvias. Fue mayor en hojas en comparación con tallos, tanto en la época de riego como en la de lluvias.

No se tuvo efecto (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los EDS sobre la producción de grano, tanto para el ciclo con riego como para el ciclo con lluvias. Se presentó una considerable disminución de la producción en el ciclo

**Cuadro 1. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de las épocas de fertilización nitrogenada (EFN) y los espaciamientos de drenaje subterráneo (EDS) sobre el nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf, %).**

	Fuente de variación	Pr > F	Medias de EFN <sup>†</sup>		Medias de EDS <sup>‡</sup>			
			EFN1	EFN2	E10	E20	E40	
<b>Sorgo (semilla) con riego</b>								
Tallo	EFN	0.0001	23.428 a	11.336 b				
	EDS	0.0045			20.385 a	17.498 ab	14.262 b	
	EFN x EDS	0.1063						
Hoja	EFN	0.0001	27.083 a	8.757 b				
	EDS	0.1056			19.473 a <sup>§</sup>	18.028 a	16.258 a	
	EFN x EDS	0.7243						
Grano	EDS	0.0964			16.010 a	20.433 a	24.987 a	
	<b>Sorgo (soca) con lluvias</b>							
	Tallo	EFN	0.0001	44.407 a	21.726 b			
EDS		0.1078			34.287 a	30.395 a	34.517 a	
EFN x EDS		0.9438						
Hoja	EFN	0.0001	47.337 a	19.521 b				
	EDS	0.0628			36.532 a	33.302 a	30.553 a	
	EFN x EDS	0.9507						
Grano	EDS	0.5174			26.083 a	24.097 a	23.803 a	

<sup>§</sup> Medias con la misma letra en una hilera no son estadísticamente significativas.

<sup>†</sup> EFN1 = fertilización nitrogenada en la siembra; EFN2 = fertilización nitrogenada al término del desarrollo vegetativo.

<sup>‡</sup> Espaciamiento de drenaje subterráneo de 10 m, 20 m y 40 m, respectivamente.

**Cuadro 2. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de las épocas de fertilización nitrogenada (EFN) y los espaciamientos de drenaje subterráneo (EDS) sobre la eficiencia de recuperación del nitrógeno del fertilizante (ERNF, %).**

	Fuente de variación	Pr > F	Medias de EFN <sup>†</sup>		
			EFN1	EFN2	
<b>Sorgo (semilla) con riego</b>					
Tallo	EFN	0.0001	9.569 a	1.276 b	
	EDS	0.1302			
	EFN x EDS	0.6491			
Hoja	EFN	0.0001	29.562 a	1.449 b	
	EDS	0.2221			
	EFN x EDS	0.2136			
Grano	EDS	0.0765			
	<b>Sorgo (soca) con lluvias</b>				
	Tallo	EFN	0.0001	7.199 a	2.250 b
EDS		0.9868			
EFN x EDS		0.1684			
Hoja	EFN	0.0001	23.597 a	3.037 b	
	EDS	0.6889			
	EFN x EDS	0.3263			
Grano	EDS	0.2364			

<sup>§</sup> Medias con la misma letra en una hilera no son estadísticamente significativas.

<sup>†</sup> EFN1 = fertilización nitrogenada en la siembra; EFN2 = fertilización nitrogenada al término del desarrollo vegetativo.

<sup>‡</sup> Espaciamiento de drenaje subterráneo de 10 m, 20 m y 40 m, respectivamente.

con lluvias (soca), de casi 50%, a pesar de que la cantidad de Nddf absorbida por el cultivo y acumulada en tallos, hojas y grano en la época de lluvias fue considerablemente mayor que en la época de riego (Figuras 4, 5, 6, 7; Cuadro 1). Lo anterior indica que se tiene un proceso degradativo en cuanto a producción de grano en la soca y que existen otros factores, como podría ser el exceso de humedad en el suelo, que hicieron que disminuyera la producción.

### CONCLUSIONES

No hubo efecto de los espaciamientos de drenaje sobre la acumulación de Nddf en tallos y hojas para las dos etapas fenológicas, tanto en la época de riego como en la de lluvias. Más de 50% del nitrógeno acumulado en las hojas, tallos y grano del cultivo de sorgo provino del nitrógeno derivado del suelo y no del aplicado por fertilización en el ciclo de cultivo. Durante la etapa de desarrollo vegetativo la acumulación promedio sobre los tres espaciamientos fue mayor en hojas que en tallo y en la etapa de madurez fisiológica fue mayor en tallos que en hojas, aunque las diferencias no fueron significativas. En la etapa de desarrollo vegetativo la eficiencia de utilización del nitrógeno del fertilizante

fue mayor en las hojas, en comparación con la eficiencia en el tallo. Para la etapa de madurez fisiológica, las eficiencias en tallos y hojas disminuyeron de manera significativa, en comparación con las eficiencias de la etapa de desarrollo vegetativo. Las mayores eficiencias de recuperación fueron para el grano, lo que implica un proceso de movilización de N de tallos y hojas a panícula.

### LITERATURA CITADA

- Alcoz, M. M., F. M. Hons, and V. A. Haby. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agron. J.* 85: 1198-1203.
- Bloom, T. M., R. Sylvester-Bradley, L. V. Vaidyanathan, and A. W. A. Murray. 1988. Apparent recovery of fertilizer nitrogen by winter wheat. pp. 27-37. *In*: D. S. Jenkinson and K. A. Smith (eds.). Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science. London, UK.
- Dueñas, G., O. Muñiz, T. Sánchez, L. Gómez y H. Álvarez. 2002. Reciclaje de nitrógeno en una sucesión frijol-maíz-frijol en suelo ferralítico usando el método isotópico. *Terra* 20: 45-50.
- Fausey, N. R., L. C. Brown, H. W. Belcher, and R. S. Kanwar. 1995. Drainage and water quality in the Great Lakes and Cornbelt states. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.* 121: 283-288.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

**Cuadro 3. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de las épocas de fertilización nitrogenada (EFN) y los espaciamientos de drenaje subterráneo (EDS) sobre el nitrógeno derivado del suelo (Ndds, %).**

	Fuente de variación	Pr > F	Medias de EFN <sup>†</sup>		Medias de EDS <sup>‡</sup>		
			EFN1	EFN2	E10	E20	E40
<b>Sorgo (semilla) con riego</b>							
Tallo	EFN	0.0001	76.572 a	88.664 b			
	EDS	0.0045			17.498 ab	14.262 b	20.385 a
	EFN x EDS	0.1063					
Hoja	EFN	0.0001	72.917 a	91.243 b			
	EDS	0.1056			19.473 a <sup>§</sup>	16.258 a	18.028 a
	EFN x EDS	0.7243					
Grano	EDS	0.0964			83.990 a	79.567 a	75.013 a
<b>Sorgo (soca) con lluvias</b>							
Tallo	EFN	0.0001	55.593 a	78.274 b			
	EDS	0.1078			65.713 a	69.605 a	65.483 a
	EFN x EDS	0.9438					
Hoja	EFN	0.0001	52.663 a	80.478 b			
	EDS	0.0628			63.467 a	69.547 a	66.698 a
	EFN x EDS	0.9507					
Grano	EDS	0.5174			73.917 a	75.903 a	76.197 a

<sup>§</sup> Medias con la misma letra en una hilera no son estadísticamente significativas.

<sup>†</sup> EFN1 = fertilización nitrogenada en la siembra; EFN2 = fertilización nitrogenada al término del desarrollo vegetativo.

<sup>‡</sup> Espaciamiento de drenaje subterráneo de 10 m, 20 m y 40 m, respectivamente.

- Jebellie, S. J. and S. O. Prasher. 1995. Environmental benefits of water table management. Paper 95-2711. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, USA.
- Kengni, L., G. Vachaud, J. L. Thony, R. Laty, B. Garino, H. Casabianca, P. Jame, and R. Viscogliosi. 1994. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. *J. Hydrol.* 162: 23-46.
- López, S., E. Guevara, M. Maturano, M. Melaj, J. P. Bonetto, S. Meira, O. Martín y N. Bárbaro. 2002. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra* 20: 7-15.
- Muñoz R. G., R. J. M. Powell, and K. A. Kelling. 2003. Nitrogen budget and soil N dynamics after multiple applications of unlabeled or <sup>15</sup>nitrogen-enriched dairy manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 817-825.
- Otegui, O., J. Zamalvide, C. Perdomo, R. Goyenola y A. Cerveñanasky. 2002. Momento de aplicación de nitrógeno: efecto en eficiencia de uso del fertilizante, rendimiento y concentración proteica en grano de cebada cervecera en Uruguay. *Terra* 20: 71-80.
- Peña-Cabriales, J. J., O. A. Grageda-Cabrera y J. A. Vera-Núñez. 2002. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (<sup>15</sup>N). *Terra* 20: 51-56.
- Skaggs, R. W., M. A. Breve, and J. W. Gilliam. 1995. Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 24: 1-32.
- Trujillo N., A., y J. D. Palma L. 1988 Estudio agrológico detallado del CEICADES-CP: área del trapecio km 21. Colegio de Postgraduados. Centro de Enseñanza, Investigación y Capacitación para el Desarrollo Agropecuario, Forestal y Acuícola del Sureste. Programa de Optimización y Uso del Suelo. H Cárdenas, Tabasco, México.
- Zapata, F. 1990 Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Dependencia de Edafología. Programa FAO/OIEA. Laboratorio del OIEA A-2444. Seibersdorf, Austria. pp. 57-69 y 79-171. *In:* Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. G. Hardarson (ed.). Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria.