Agronomía Costarricense 22(1): 89-98. 1998

UTILIZACION DE FERTILIZANTES LIQUIDOS NITROGENADOS EN TRES CICLOS DE PRODUCCION COMERCIAL DE CAÑA DE AZÚCAR EN GUANACASTE[1]

José Fermín Subirós[2]/, Floria Bertsch***

RESUMEN

Se evaluó el uso de los fertilizantes líquidos nitrogenados en el cultivo de la caña de azúcar durante tres ciclos de producción (períodos 1992-93, 93-94 y 94-95) con el fin de determinar su viabilidad técnica y económica a nivel comercial. Se comparó la fórmula 31-0-0 (11.5% N-ureico, 9.7% N-nítrico y 9.7% N-amoniacal) y el Aqua Amonia (18-0-0, constituida solo por N-amoniacal) contra la Urea granulada (46% N-ureico), utilizada normalmente a nivel comercial. La dosis empleada fue de 140 kg/ha de N. En el primer ciclo los resultados no fueron satisfactorios, debido posiblemente a la inadecuada incorporación del fertilizante líquido que propició las pérdidas por volatilización. En el segundo ciclo con los productos bien incorporados (20cm), el Aqua Amonia tuvo un comportamiento ligeramente mejor que la Urea granulada. La producción fue de 120 t de caña/ha, 99 kg de sacarosa/t de caña y 11.88 t de sacarosa/ha, comparado con 111 t/ha, 103 kg/t y 11.34 t/ha, respectivamente de la Urea granulada. Con la fórmula 31-0-0 el rendimiento fue en promedio superior a los otros dos tipos de fertilizante: 123 t de caña/ha, 105 kg de sacarosa/t de caña y 13 t de sacarosa/ha. En el ciclo de 1994-95 sólo se comparó la fórmula 31-0-0 contra la Urea granulada; el Aqua Amonia se excluyó por los problemas de emanación de vapores durante su aplicación. La fórmula 31-0-0 produjo un aumento de 11 y 17 t/ha más de caña; 7.1 y 11.4

ABSTRACT

Liquid applications of nitrogen fertilizers in three cycles of commercial sugarcane production in Guanacaste. The use of liquid forms of nitrogen fertilizers was evaluated during three sugarcane crops (cycles 1992-93, 93-94 and 94-95), to determine their technical and economic viability at a commercial scale. Formula 31-0-0 (11.5% ureic-N, 9.7% nitric-N, 9.7% ammoniacal-N) and Aqua Amonia (18-0-0, all ammoniacal-N) were tested against granulated Urea (46% ureic-N), the regular commercial product. Doses applied were all 140 kg/ha N. Results of the first cycle were unsatisfactory, possibly due to inadequate incorporation of the liquid fertilizer allowing losses by volatilization. In the second cycle the liquid fertilizers were placed deeper, about 20 cm, taking care to incorporate them well. Aqua Amonia performed slightly better than granular Urea, with yields of 120 t cane/ha, 99 kg sucrose/t cane and 11.88 t sucrose/ha; granular Urea yielded 111 t/ha, 103 kg/t and 11.43 t/ha, resp. Yields with formula 31-0-0 were higher on the average: 123 t/ha, 105 kg/t and 12.92 t sucrose/ha. In the 1994-95 cycle Aqua Amonia was excluded due to problems with vapors emitted during application. Formula 31-0-0 yielded in 2 lots 11 and 17 t/ha more cane, 7.1 and 11.4 kg/t more sucrose, and 1.9 and 2.8

1/ Recibido para publicación el 29 de mayo de 1997.

2 Autor para correspondencia.

* Departamento de Investigación, Azucarera El Viejo. Apartado 10189-1000. San José, Costa Rica.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

kg más de sacarosa/t de caña y 1.9 y 2.8 t de sacarosa/ha más en los dos lotes en que usó, comparado con la Urea granulada. Promediando los resultados de los 3 ciclos el fertilizante líquido (31-0-0) produjo más caña (10.6 t/ha), mayor contenido de sacarosa en la caña (11.1 kg) y mayor producción de azúcar por ha (1.2 t/ha) que con la Urea granulada. Los contenidos de N foliar, en la mayor parte de los casos, fueron más altos en las plantaciones aplicadas con N líquido y alcanzaron el nivel máximo antes que con la Urea granulada, lo cual sugiere que la presencia simultánea de las 3 formas (NO_3^-, NH_4^+ y ureicas) permite que el N se absorba más rápido, en una mayor cantidad, y por un período más prolongado comparado con la Urea granulada. Los costos por unidad de N proveniente del fertilizante líquido (en 1996) fueron alrededor de 28% más bajos comparados con los de Urea granulada. En la actualidad (1998), este valor puede fluctuar alrededor del 10%.

t/ha more sucrose, than granular Urea. On the 3-cycle average, the liquid (31-0-0) fertilizer produced more cane (by 10.6 t/ha), higher sucrose contents (by 11.1 kg/t) and higher sugar yields (by 1.2 t/ha) than granular Urea. In most cases foliar N contents were higher in liquid-fertilized lots, and reached their maximun level before leaves in granular Urea-treated lots: this suggests that the presence of the 3 forms (NO_3^-, NH_4^+ and ureics) favors an earlier N uptake, in greater amounts and for a longer period than from granular Urea. Costs per unit-N from the liquid fertilizer (in 1996) were about 28% lower than those from granular Urea. At 1998, this value could be 10%.

INTRODUCCION

El N es el elemento al que más responde la caña de azúcar (Subirós 1995). El momento de aplicación, la forma como se fertilice y la fuente empleada son de suma importancia en la eficiencia del mismo (Randall et al. 1985, Bertsch 1995).

Los fertilizantes líquidos han adquirido una importancia progresiva en la agricultura. En Estados Unidos se utilizan desde 1920 en una amplia diversidad de cultivos; en 1991 representaron el 23% del total de fertilizante consumido (Beaton 1992). Específicamente en caña de azúcar, Brasil los emplea desde 1970 y en 1987 se utilizaron en este cultivo cerca de 200.000 toneladas métricas (Beaton 1992).

Los fertilizantes líquidos tienen ciertas ventajas sobre los granulares: en primer lugar, aprovechan la sinergia o interacción positiva entre el agua y los elementos nutritivos (Domínguez 1993). Esto es, al ofrecerse en forma soluble y con suficiente agua para su absorción, se propicia el mejor medio para la asimilación de los nutrimentos por parte de las plantas (Amézquita 1997); también, permiten una aplicación más precisa, uniforme y oportuna (Domínguez 1993, Henley 1994. Burt 1995), lo que reduce las pérdidas, mejora la eficiencia, y por consiguiente, permite disminuir las dosis (Burt 1995). En California se reportan disminuciones en la cantidad de fertilizantes aplicados de alrededor del 25%, al implementarse el uso de productos líquidos (Burt 1995). Adicionalmente, son fáciles de manejar (Beaton 1992) y permiten un ahorro de mano de obra (Domínguez 1993) y energía (Burt 1995), por lo que resultan fuentes más baratas por unidad de N (Beaton 1992), y más sanas para el ambiente (Burt 1995).

Por otro lado, también presentan desventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes. La aplicación de fertilizantes líquidos constituye una práctica de alta tecnología que requiere productos, equipo y personal especializado

(Domínguez 1993, Amézquita 1997) tanto para la preparación como para el almacenamiento, transporte y aplicación de los productos (Beaton 1992). En general, los fertilizantes líquidos son menos concentrados que los sólidos, lo que puede representar un problema en el transporte (Beaton 1992). Para preparar las soluciones es necesario utilizar materiales solubles en agua y compatibles entre sí (Beaton 1992, Domínguez 1993, Burt 1995). También, existe riesgo de corrosión en los equipos de riego o afines, por el tipo de sales que se utilizan (Amézquita 1997).

En Costa Rica hay poca experiencia evaluada en el uso de estos productos a escala comercial.

Con la introducción de los fertilizantes líquidos en el mercado es posible disponer de las fórmulas sólidas tradicionales, Nitrato de amonio y Urea granulada, en forma líquida y además, se cuenta con otro producto que proviene de la mezcla de los dos anteriores en partes iguales, conocido como UAN (Domínguez 1993, Achorn 1995) que da mayor concentración de N (entre 28-32%) (Burt 1995) y a la vez permite poner a disposición de las plantas de manera conjunta las tres formas nitrogenadas (NO_3^-, NH_4^+ y las formas ureicas) (Estrada 1997).

Debido a lo anterior se consideró importante efectuar una comparación entre diferentes fuentes nitrogenadas líquidas y la fórmula granular convencional, para determinar la viabilidad técnica y económica para emplear estos productos a nivel comercial en el cultivo de la caña de azúcar en Guanacaste.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

La evaluación se llevó a cabo en Azucarera El Viejo, ubicada en Carrillo, Guanacaste a 10 msnm, durante los períodos 1992-93, 1993-94 y 1994-95.

Se tomaron tres lotes comerciales contiguos, con características edáficas y estado de la plantación parecidas (Lagarta 10, 11 y 12), sembrados con la variedad NCo 310.

Tratamientos

Los productos utilizados fueron: la fórmula 31-0-0 (constituida por 11.5% de N-ureico, 9.7% de N-nítrico y 9.7% de N-amoniacal), el Aqua Amonia (18-0-0), constituida solo por N-amoniacal y la Urea granulada (46% de N- ureico), utilizada normalmente a nivel comercial.

En el período 1992-93 dos lotes (Lagarta 10 y 11) fueron fertilizados con 140 kg/ha de N empleando la fórmula líquida 31-0-0, y el lote Lagarta 12, fertilizado con Urea granulada a la misma dosis, sirvió como testigo de la práctica que normalmente se efectúa a nivel comercial. También se tomó otro lote comercial (Chung K.5) en el cual una sección se aplicó con la fórmula 31-0-0 y el resto con Urea granulada a la misma dosis anterior.

En el período 1993-94 se repitió de nuevo la prueba en los mismos lotes, pero en esta ocasión se utilizaron las fórmulas 31-0-0 (Lagarta 11) y el Aqua Amonia (18-0-0) (Lagarta 10). La dosis empleada fue también de 140 kg/ha de N. En el lote que se tomó como testigo, la dosis y la fuente fueron las mismas del primer período.

La tercera evaluación se llevó a cabo en el período 1994-95, y se utilizó sólo la fórmula 31-0-0 (Lagarta lotes 10 y 11) y el tratamiento testigo con Urea granular (Lagarta 12).

Variables evaluadas

En cada período se efectuaron muestreos foliares para observar la variación estacional de los nutrimentos, para lo cual se recolectó en diferentes partes de la plantación la hoja TVD, sin vaina y vena media. Las mismas se secaron en la estufa a una temperatura entre 60 y 70°C y se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis.

A la cosecha se determinó la producción de cada plantación pesando cada entrega en la romana (incertidumbre de 100 kg) que para este fin dispone el ingenio. Las entregas de caña de cada lote se muestrearon y analizaron en el laboratorio para medir las variables industriales según el mismo procedimiento que se realiza a nivel comercial (LAICA, s.f.). Al final de las entregas se estimó la producción de caña y sacarosa por ha de cada lote.

Técnica de aplicación

Para la aplicación del fertilizante líquido, se adaptó a la fertilizadora mecánica 2 recipientes plásticos, con una capacidad de 200 L cada uno. Ambos recipientes se conectaron por la parte inferior mediante una tubería plástica a la cual se le colocó una llave de paso. El fertilizante depositado en esos recipientes era pasado a otro contenedor plástico más pequeño, del cual salían 4 mangueras plásticas. Las salidas de cada manguera se colocaron en la parte trasera de los subsoladores de la abonadora. El recipiente plástico pequeño tenía una marca a la cual debía mantenerse el líquido (al mismo nivel) para que la descarga fuera lo más constante posible (Figura 1). Mediante la modificación de la velocidad de avance del tractor se ajustó el volumen de fertilizante que debía aplicarse por ha.

Fig. 1. Equipo para aplicación de líquidos en caña de azúcar. a, b, c) Diseño utilizado para aplicación a nivel comercial. El fertilizante se inyecta a cada costado del surco, mediante una bomba de presión, acoplada a la toma de fuerza, lo que permite mantener el flujo del fertilizante de manera constante y homogénea en cada inyector. En a) se presenta el sistema de reabastecimiento del fertilizante líquido en el campo. d, e) Equipo empleado para la aplicación de fertilizante líquido a nivel experimental.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las pruebas realizadas previamente a la aplicación, el flujo del producto fue bastante constante y los coeficientes de variación (Cuadro 1) fueron menores al 2%, con lo cual, es posible asegurar que hubo una buena distribución del producto.

Aplicación del período 1992-93

La experiencia del primer año no llenó las expectativas. Alrededor de 2 meses después de la aplicación nitrogenada, el follaje de las secciones aplicadas con la fórmula 31-0-0 mostró una coloración amarillenta generalizada, síntoma característico de la deficiencia de N (Subirós 1995), mientras que el follaje de la plantación en que se usó Urea granulada mostró un verde intenso. Esta situación de clorosis también se observó en la sección de la otra plantación comercial que había sido igualmente aplicada con líquidos (Chung K. 5). Para confirmar la observación anterior se colectaron hojas en ambas condiciones y se determinó el contenido de N foliar. La concentración en las parcelas fertilizadas con la fórmula líquida 31-0-0 fue significativamente inferior (1.66% y 1.61%), a las de la parcela fertilizada con Urea granulada (1.91%, Cuadro 2). Debido a lo anterior, y para salvar la utilidad comercial de esos lotes, se decidió efectuar una fertilización complementaria con N, cercana a los 40 kg/ha de N empleando Urea granulada, para corregir la deficiencia.

A pesar que el terreno disponía de suficiente humedad en el momento de la aplicación de los líquidos, se estimó que el principal factor que pudo haber interferido en la efectividad de la operación, fue la incorporación inapropiada del fertilizante líquido, debido a que durante la aplicación se observó que algunas secciones no

Cuadro 1. Volumen de fertilizante descargado durante la calibración del implemento, empleando la fórmula 31-0-0.

	Descarga en cada una de las cuatro salidas (ml/2 min)				
Período	1	2	3	4	Promedio
1992-93	4580	4420	4540	4320	
	4560	4430	4580	4320	
	4520	4440	4560	4340	
Promedio	4553	4430	4560	4327	4468
C.V. (%)	0.67	0.23	0.44	0.27	0.40
1993-94	4200	4200	4240	4210	
	4230	4220	4170	4190	
	4220	4320	4240	4210	
	4180	4320	4310	4160	
	4200	4300	4250	4180	
	4180	4350	4320	4160	
Promedio	4202	4285	4255	4185	4232
C.V. (%)	0.49	1.41	1.29	0.54	0.93
1994-95	3980	4110	4050	4160	
	4070	4140	4050	4180	
	4020	4110	4070	4090	
	4000	4090	3990	4100	
Promedio	4018	4113	4040	4133	4076
C.V. (%)	0.96	0.50	0.86	1.07	0.85

Cuadro 2. Concentración foliar de elementos en la hoja TVD observada durante el período 1992-93.

Fuente	Finca	%					ppm				
		N	P	Ca	K	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
31-0-0	Lagarta 11	1.66	0.21	0.18	2.05	0.09	13	15	18	221	15
31-0-0	Chung. K.5	1.61	0.21	0.28	1.54	0.11	15	15	62	334	17
Urea granulada	Lagarta 10	1.91	0.20	0.24	1.69	0.11	18	17	44	253	12

Fecha de muestreo: julio de 1992.
Los valores proceden de una sola repetición.

quedaron completamente cubiertas con suelo. Condiciones de alta temperatura y las características del pH del suelo, que por lo general tienden a ser neutras o ligeramente alcalinas, pudieron haber favorecido la pérdida de N, sobretodo por volatización (Estrada 1997), al formase amoníaco.

Los valores de producción al final del ciclo en los 3 lotes fueron muy similares. En promedio, la producción de caña fue de 138.8 ± 1.7 t/ha/año, el rendimiento industrial de 91.4 ± 1.5 kg/t y la producción de sacarosa 12.7 ± 0.4 t/ha (Cuadros 3 y 4).

Aunque los resultados de este ciclo no fueron válidos para evaluar el comportamiento de los fertilizantes líquidos, demostraron que la condición de las plantaciones era bastante semejante entre sí, lo que ofrecía una situación ideal para continuar el estudio en el ciclo siguiente.

Aplicación del período 1993-94

En la prueba realizada en el período 1993-94 el fertilizante líquido se colocó a una profundidad un poco mayor, alrededor de 20 cm y se aseguró que quedara bien incorporado.

En promedio la fórmula líquida 31-0-0 mostró un rendimiento superior en producción de caña (123 t/ha), rendimiento industrial (105 kg/t)

Cuadro 3. Producción de caña y sacarosa obtenidos con el uso de N líquido y granulado durante tres ciclos de cultivo. Azucarera El Viejo, Guanacaste.

Período	Lote	Fuente usada	Edad de cosecha (meses)	Producción de caña		Rendimiento industrial (kg/t)	Producción de sacarosa (t/ha/año)
				(t/ha)	(t/ha/año)		
1992-93	Lagarta 10	31-0-0*	11.6	135.8	139.9	92.4	12.93
	Lagarta 11	31-0-0*	11.9	135.8	136.8	89.7	12.27
	Lagarta 12	Urea granular	10.4	121.2	139.6	92.2	12.87
1993-94	Lagarta 10	18-0-0	12.5	124.5	119.8	99.1	11.88
	Lagarta 11	31-0-0	12.6	129.8	123.3	105.5	13.01
	Lagarta 12	Urea granular	12.6	116.1	110.6	102.6	11.34
1994-95	Lagarta 10	31-0-0	10.4	118.7	135.8	87.6	11.89
	Lagarta 11	31-0-0	10.2	121.4	141.6	91.8	13.00
	Lagarta 12	Urea granular	10.2	106.8	124.6	80.5	10.02

* A estas plantaciones hubo que adicionarle fertilizante nitrogenado adicional debido a que el follaje mostró síntomas de deficiencia de este elemento y el análisis foliar también lo indicaba.

Cuadro 4. Variables industriales obtenidas con el uso de N líquido y granulado durante tres ciclos de cultivo. Azucarera El Viejo, Guanacaste.

Período	Lote	Fuente usada	Brix	Pol% en caña	Pureza% del jugo	Fibra% en caña	Miel (kg/t)
1992-93	Lagarta 10	31-0-0	18.04	14.05	77.84	15.41	43.82
	Lagarta 11	31-0-0	17.63	13.30	76.23	15.57	42.26
	Lagarta 12	Urea granular	18.39	14.29	76.23	15.92	44.59
1993-94	Lagarta 10	18-0-0	20.12	15.86	78.79	15.82	48.65
	Lagarta 11	31-0-0	20.71	16.50	79.67	15.18	49.69
	Lagarta 12	Urea granular	21.29	16.60	78.01	15.97	54.57
1994-95	Lagarta 10	31-0-0	17.98	13.88	77.20	13.97	47.06
	Lagarta 11	31-0-0	17.65	14.09	79.84	13.73	40.45
	Lagarta 12	Urea granular	17.02	12.97	76.22	14.24	44.90

y producción de sacarosa (13 t/ha), comparado con el Aqua Amonia (120 t/ha, 99 kg/t y 11.9 t/ha, respectivamente) y la Urea granulada (111 t/ha, 103 kg/t y 11.3 t/ha, respectivamente) (Cuadro 3). La diferencia en producción de sacarosa fue cerca de 1.6 t/ha respecto a la Urea granulada y 1 t/ha con el Aqua Amonia. Los valores de producción de sacarosa entre estas dos últimas fuentes fueron similares. En lo que respecta a las variables industriales, la fórmula 31-0-0 también mostró en general mejor comportamiento comparada con el Aqua Amonia y la Urea granulada (Cuadro 4). Esto se puede atribuir a la mayor diversidad de formas de N que suministra el 31-0-0, en relación con las otras fórmulas líquidas (Burt 1995, Estrada 1997). Al haber tanto NO_3^- como NH_4^+ y formas ureicas a disposición de las raíces de la caña, las posibilidades de absorber el nutrimento se elevaron.

La variación estacional de los elementos a nivel foliar se anota en la Figura 2. Los valores más altos de N foliar (2.3-2.4%) se presentaron con los tratamientos líquidos en las primeras etapas de desarrollo (76 días). Con Urea granulada el nivel más alto de N (1.87%) se alcanzó a los 106 días y fue un valor bastante inferior al alcanzado por los otros dos tratamientos. Esto sugiere que la disponibilidad de NO_3^- y el paso de amoníaco a NH_4^+ o a NO_3^- a partir de los productos líquidos fue rápido y favoreció la absorción más temprana de N. El proceso de oxidación de la Urea granulada a NH_4^+ y a NO_3^- requiere del algún tiempo y la disponibilidad de N pudo haber sido más tardía y a una concentración baja. En todos los casos el N mostró una tendencia a decrecer con el tiempo.

El Aqua Amonia es un fertilizante que se prepara al disolver el amoníaco con agua. Presenta una presión de vapor suficiente para que el amoníaco se volatilice cuando es colocado en recipientes abiertos (Primo y Carrasco, 1973). Lo anterior hizo algo dificultosa la aplicación de este producto debido a que con frecuencia los vapores que emanaban fueron inhalados por el personal que laboró en la aplicación, lo que ocasionó la irritación de la fosas nasales y provocó también mareos. Para utilizar este tipo de fertilizante se requiere de mejor equipo y evitar el contacto directo y sus vapores.

Debido a la situación anterior y considerando que el rendimiento en producción de caña y sacarosa fue inferior a la fórmula 31-0-0 y apenas similar a la Urea granulada, se decidió eliminar esa fuente de la evaluación y en su lugar fertilizar de nuevo el lote Lagarta 10 en el ciclo siguiente con la fórmula 31-0-0.

Aplicación del período 1994-95

Al igual que en el período anterior, la 2 plantaciones fertilizadas con la fórmula 31-0-0

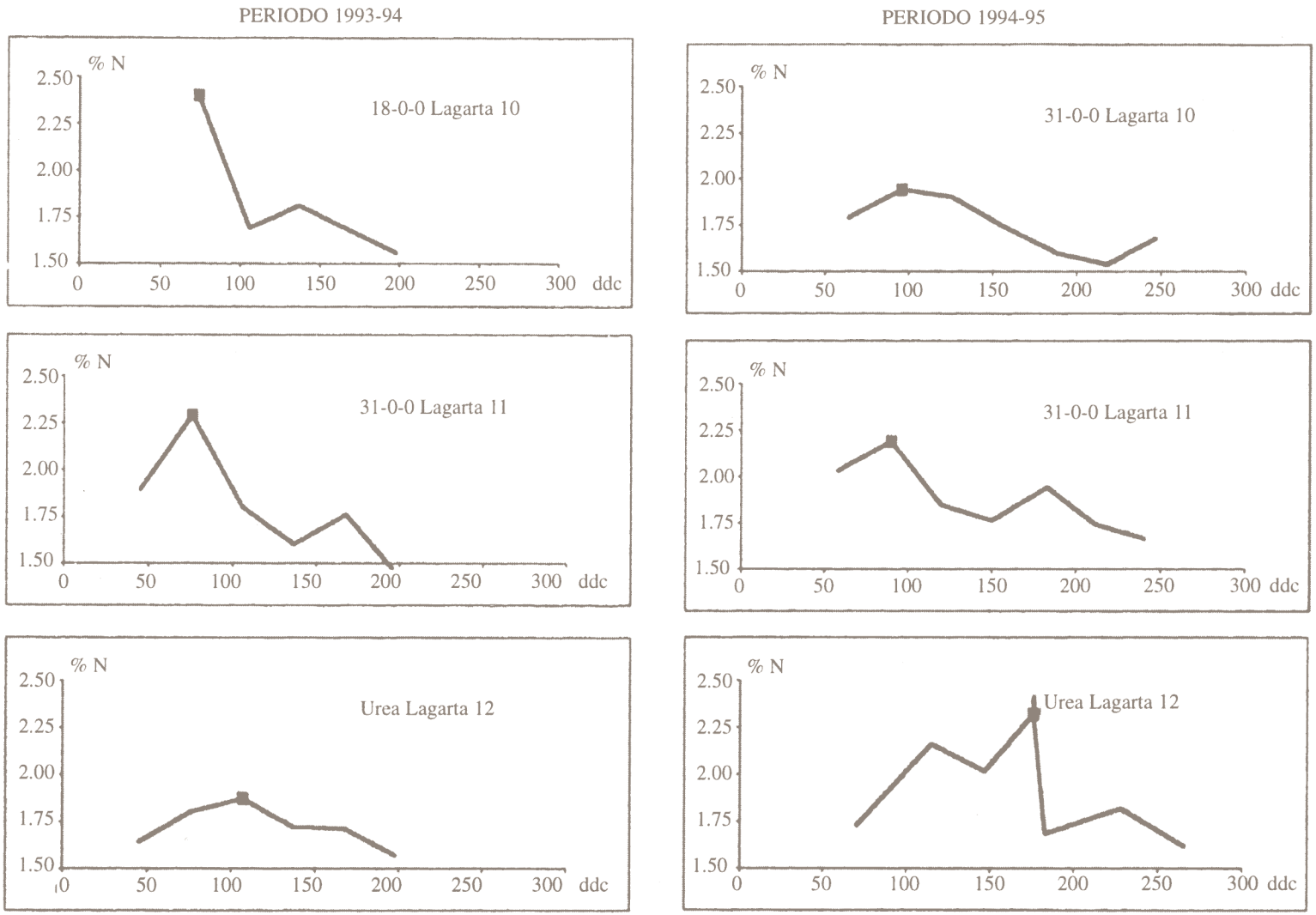

Fig. 2. Variación estacional de N en la hoja TVD, en lotes aplicados con fertilizante líquido y granulado, períodos 1993/94 y 1994/95.
■ Momento de máximo concentración de N foliar.

mostraron mejor comportamiento que la plantación en la que se utilizó Urea granulada. Hubo un aumento de 11 y 17 t/ha de caña; 7.1 y 11.4 kg de sacarosa/t de caña y un aumento de producción de azúcar de 1.9 y 2.8 t/ha (Cuadro 3); también las variables industriales mostraron mejor comportamiento (Cuadro 4).

La variación estacional del N foliar fue bastante similar entre una de las plantaciones fertilizadas con la fórmula 31-0-0 (Lagarta 11) y la de Urea granulada, pero en la otra (Lagarta 10) fue ligeramente inferior (Figura 2). Tal como se observó en el análisis de N foliar del período anterior, el nivel máximo de N se alcanzó más temprano con las fórmulas líquidas comparado con las secciones fertilizadas con Urea granulada, aspecto que sugiere una absorción más rápida de N, debida posiblemente a la presencia de nitratos desde un inicio.

Aplicación comercial

Con base en los resultados preliminares obtenidos en el presente trabajo, durante el período 1994-95 se fertilizaron alrededor de 100 ha con la fórmula 31-0-0, para lo cual se utilizó un equipo que la compañía Fertica adquirió para este fin (Figura 1). De esta aplicación comercial el precio estimado de la unidad de N líquido (densidad 1.34 g/cm^3 y 31% de N) fue de ¢84.17/kg comparado con ¢117.93 de la Urea granulada, lo cual proporciona una diferencia de ¢33.76 (US$0.179), puesta en la finca. De acuerdo a la información proporcionada por la compañía Fertica, para el período 1996 el costo del fertilizante líquido sería cerca del 10% más barato comparado con el granulado. Lo anterior significa aproximadamente una reducción del 28% en los costos, debido a la disminución en el precio de la unidad de N (1 US$= ¢189, noviembre de 1995). La razón por la cual resultan más baratos los fertilizantes líquidos es que no necesitan ser secados, lo cual representa un ahorro considerable de energía industrial. Otra ventaja que se tuvo fue las facilidades que proporcionó la empresa suplidora que proporcionó los tanques de almacenamiento y el envío del producto a la finca, lo cual es un beneficio, debido a que no fue necesario incurrir en inversiones de infraestructura ni equipo. Evidentemente, de establecerse esta práctica a una escala mayor lo conveniente sería disponer del equipo propio.

En conclusión, se determinó que es técnicamente viable la utilización de este fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar. La correcta incorporación para evitar pérdidas por volatilización pareciera ser lo fundamental para el aprovechamiento adecuado de estos productos.

Finalmente, las mejorías en producción logradas con la formulación líquida propuesta (31-0-0) parecieran estar ligadas, principalmente, a la disponibilidad temprana de NO_3^- junto a la combinación de NH_4^+ y Urea en el fertilizante líquido, pues aparentemente, con estas 3 formas se mejoró la absorción, los niveles de N foliar fueron mayores y alcanzaron su máximo más tempranamente, en comparación con la Urea granulada.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la colaboración brindada por la compañía Fertica al proporcionar el fertilizante y a su personal técnico, en especial al Ing. Luis Fernando Quesada y al Ing. Jorge Mario Rodríguez, por las facilidades dadas para que este trabajo pudiera llevarse a cabo. Asimismo al Sr. Fernando Torres, a la Sra. Herminia Angulo y al resto del personal del Departamento de Investigación de Azucarera el Viejo por su ayuda.

LITERATURA CITADA

ACHORN, F.P. 1994. A.R.A. Professional dealer manual: fluid fertilizers. Volume 2. St. Louis, Missouri, U.S.A., A.R.A. 213 p.

AMEZQUITA, E. 1997. Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores. *In* Fertirrigación. Ed. por F. Silva. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 107-126.

BEATON, J. 1992. Avances y tendencias en las técnicas de fertilización, con énfasis en los fertilizantes líquidos. *In* Seminario de Fertilización Balanceada. Palmaven-Inpofos. 34 p.

BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, ACCS. 164 p.

BURT, C.; O´CONNOR, K.; RUEHR, T. 1995. Fertigation. California, U.S.A., Irrigation Training & Research Center.

DOMINGUEZ, A. 1993. Fertirrigación. Madrid, España, Ediciones Mundi-prensa. 217 p.

ESTRADA, G. 1997. Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación. *In* Fertirrigación. Ed. por F. Silva. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo p. 61-72.

HENLEY, D. 1994. A.R.A. Professional Dealer Manual. Fluid Fertilizers. Volume 1. St. Louis, Missouri, U.S.A., A.R.A. 160 p.

LAICA (LIGA AGRICOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZUCAR). s.f. Reglamento para el pago de la caña de azúcar de acuerdo a su calidad. San José, Costa Rica. 24 p.

ORTEGA, D. 1997. Fertirrigación en cultivos de flores. In Fertirrigación. Ed. por F. Silva. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 135-148.

PRIMO, E.; CARRASCO, J.M. 1973. Química agrícola; suelos y fertilizantes. Madrid, España. Alhambra. 472 p.

RANDALL, G.W.; WELLS, K.L.; HANWAY, J.J. 1985. Modern techniques in fertilizer application. *In* Fertilizer technology and use. Ed. por P.P. Engelstad. 3 ed. Madison, Wisconsin, EE.UU, Soil Science Society of America. p. 521-559.

SUBIROS, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, EUNED. 448 p.