

Evaluación del efecto de 9 diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) variedad LAICA 01-604 en un suelo Ultisol de la Región Norte de Costa Rica. Promedio de tres cosechas.

Randall Ocampo Chinchilla¹ Roberto Alfaro Portuguez² Álvaro Araya Vindas³

Resumen

El Nitrógeno es el principal responsable del rendimiento agrícola y probablemente el elemento más aplicado en la fertilización comercial del cultivo de la caña de azúcar; no obstante debe ser manejado cuidadosamente en cuanto a cantidades utilizadas, épocas y/o momentos de aplicación. Normalmente del Nitrógeno que se aplica raras veces se recupera más del 60 o 70 por ciento, siendo muy susceptible a sufrir pérdidas, entre ellas por volatilización, lixiviación o filtración de los nitratos a través de las capas del suelo. Estas pérdidas han impulsado la investigación para buscar fuentes de fertilizantes que liberen un poco más lentamente el Nitrógeno dando más tiempo a la planta para asimilarlo; o con características propias que aumenten su eficiencia, limitando dichas pérdidas en el campo. Con el objetivo de evaluar este nuevo tipo de fuentes de fertilizantes nitrogenados se estableció el presente ensayo en un suelo Ultisol de la Región Norte de Costa Rica, específicamente en la localidad de CoopeVega, Cantón de San Carlos; finca perteneciente al Ingenio Quebrada Azul. Para la investigación se utilizó un diseño estadístico de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones evaluando seis fuentes de fertilizantes con características de liberación lenta, liberación controlada o con aditivos inhibidores de la ureasa, que promovieran su eficiencia, tratando de verificar esto al disminuirles la dosis de aplicación en comparación a tres fuentes convencionales: Urea, Sulfato de Amonio y Nitrato de Amonio (Nutran). Como resultado, luego de tres cosechas evaluadas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables de producción de caña por hectárea, rendimiento industrial (kg Az/t) ni producción de azúcar por hectárea, pero sí tendencias en el comportamiento productivo. Para el rendimiento de campo los cuatro mejores tratamientos fueron, en orden de importancia, el Sulfato de Amonio, Perlka, NitroXtend, y Agrocote (37-0-0) con incrementos en la producción de caña (t/ha) del 7,87 %, 6,68 %, 5,24 % y 4,04 % respectivamente; mientras que para el rendimiento agroindustrial todos los tratamientos, a excepción del Nutran, igualaron o superaron al tratamiento testigo sin aplicación de Nitrógeno; siendo Perlka y Sulfato de Amonio los tratamientos que mayor incremento presentaron (7,26 % y 6,04 % respectivamente). Por otra parte se tiene que de las fuentes convencionales utilizadas como tratamientos testigos comerciales, el mejor fue Sulfato de Amonio, seguido por la Urea y por último el Nutran (Nitrato de Amonio). Por otro lado, los tratamientos con Perlka, Agrocote 37-0-0, NitroXtend y Last N (fuentes no convencionales) igualaron o superaron en alguna medida la productividad agroindustrial del tratamiento con Urea (fuente convencional mayormente utilizada en el país para suplir los requerimientos de Nitrógeno en el cultivo); esto a pesar de ser aplicados con una dosis menor de Nitrógeno por

¹ /Ingeniero Agrónomo, funcionario del *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)*, *Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)*. Programa Agronomía. Grecia, Costa Rica. E-mail: rocampo@laica.co.cr. Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

² /Ingeniero Agrónomo, funcionario del *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)*, *Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)*. Jefe Programa Agronomía. Grecia, Costa Rica. E-mail: ralfaro@laica.co.cr. Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

³ /Ingeniero Agrónomo, funcionario del *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)*, *Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)*. Coordinador Regional San Carlos. Alajuela, Costa Rica. E-mail: aaraya@laica.co.cr. Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

hectárea en porcentajes de disminución del 20, 28, 15 y 40 % respectivamente; además, aplicado todo en una sola fertilización, con excepción del NitroXtend el cuál si se fraccionó en dos aplicaciones igual que las fuentes convencionales incluida la Urea.

Palabras clave: Caña de azúcar, nitrógeno, pérdidas, eficiencia, lenta liberación, liberación controlada.

Introducción

El Nitrógeno es el componente fundamental de todas las moléculas orgánicas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal, por lo tanto, participa activamente en los principales procesos metabólicos: fotosíntesis, respiración, síntesis proteica. (Bertsch, 1995)

Es por tal razón que, en el caso de la caña de azúcar al igual que en otros cultivos; como cita Chavez (1999), el Nitrógeno es probablemente, de los elementos esenciales, el que más limita su desarrollo, determina el comportamiento productivo de la planta y con ello los rendimientos agroindustriales del cultivo.

Este nutrimento se encuentra presente en los suelos principalmente bajo la forma orgánica (98%) y solamente un 2% en la forma inorgánica como iones de amonio, amoniaco, nitrato, óxido nitroso, dióxido de nitrógeno, óxido nítrico y nitrito. (Malavolta, 1976; Bertsch, 1995). De estas, las formas amónicas y nítricas son las más aprovechadas por las plantas, pues el resto corresponde a formas gaseosas que se pierden del sistema a través del proceso de desnitrificación. Las pérdidas por lixiviación, percolación y volatilización son grandes y dependen de las condiciones ambientales como clima, suelo y manejo. Según Fassbender y Bornemisza (1987), en los suelos de áreas con clima tropical, el contenido en nitrógeno varía ampliamente entre 0,02% y 0,4% mientras que en casos extremos, como en suelos muy ricos en materia orgánica su contenido podría llegar inclusive al dos por ciento.

El nitrógeno que se recupera en la cosecha raras veces excede del 60 o 70 por ciento del nitrógeno añadido en el fertilizante. Las pérdidas de nitrógeno se dan por varias vías y entre ellas sobresalen pérdidas por volatilización y, la fijación del amoniaco en las arcillas del suelo, también se da por inmovilización por parte de las bacterias del suelo, sin embargo la pérdida principal resulta de la filtración de los nitratos a través de las capas del suelo. Estas pérdidas han impulsado la investigación para hallar materiales fertilizantes que liberen su nitrógeno en un periodo de tiempo más prolongado con el fin de que los nitratos puedan ser absorbidos por el sistema radicular en expansión, durante todo el período de crecimiento de la planta. Por ser la caña de azúcar un cultivo de gran demanda de este nutrimento dada la gran cantidad de materia seca producida anualmente y además, ser un cultivo de lento crecimiento es necesario un suministro paulatino del nitrógeno de acuerdo a sus necesidades en el tiempo. Por este motivo el fraccionamiento ha sido una herramienta importante utilizada para cumplir con este objetivo, pero su costo es alto y en ocasiones resulta difícil realizar esta labor.

Durante los últimos años, diversas fuentes de fertilizantes nitrogenados con características de lenta liberación, liberación controlada y con aditivos inhibidores de la ureasa han sido desarrolladas, y algunas se han utilizado comercialmente en césped y otros cultivos en el mundo; sin embargo, en el cultivo de la caña de azúcar es poco lo investigado siendo este, motivo suficiente para investigar sobre el tema. De esta manera, se han establecido ensayos simultáneos en diferentes condiciones agro climáticas (Regiones productoras) donde se cultiva la caña de azúcar en Costa Rica, para lograr obtener resultados contundentes del beneficio que puedan brindar estas nuevas opciones de fertilizantes al cultivo según el ambiente en que se desarrolla; tanto desde el punto de vista productivo como ambiental.

Materiales y Métodos

El ensayo se estableció en Junio de 2011 en Finca La Tiburcia, perteneciente al Ingenio Quebrada Azul y ubicada en la Comunidad de CoopeVega de Cutris, Cantón de San Carlos; región ubicada, según Holdridge, en zona de Bosque Húmedo Tropical, a una altitud de 110 m.s.n.m, temperatura media de 26 °C y una precipitación media anual de alrededor de los 3000 mm, con lluvias distribuidas de Mayo a Enero, mientras que entre los meses de Febrero a Abril las lluvias disminuyen. En la Figura 1. se detalla el comportamiento de las precipitaciones en los tres años de evaluado el ensayo.

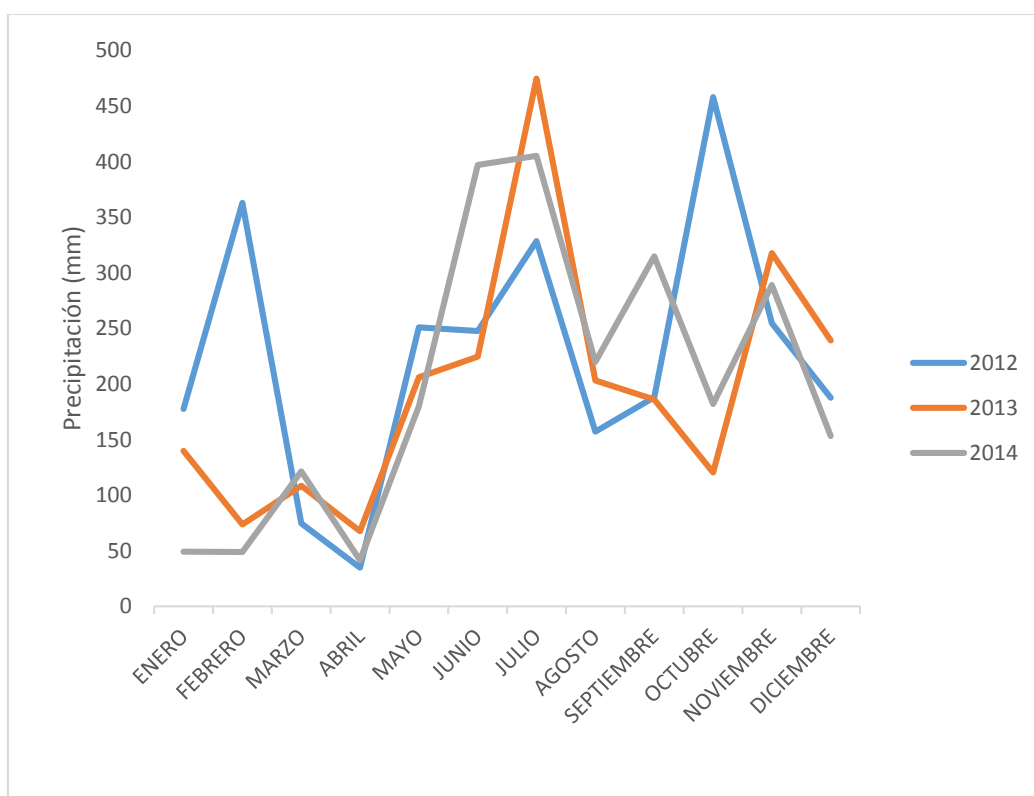


Figura 1. Comportamiento de las precipitaciones entre los años 2012 al 2014.

La parcela experimental estuvo constituida por 5 surcos de 8 metros de largo, con una distancia de siembra de 1,5 m entre surco para un área total por parcela de 60 m² las cuales, para efectos de evaluación, se cosecharon en su totalidad. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La variedad utilizada fue LAICA 01-604.

El lote donde se estableció el ensayo corresponde a un suelo del orden Ultisol con características Físicas de Textura Arcillosa y contenidos de materia Orgánica de 1,25% y 0,92% para los estratos de 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad respectivamente según se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Características texturales y Contenidos de Materia Orgánica del Suelo

PROFUNDIDAD (cm)	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	% M.O.
20	28	28	44	A	1,25
40	30	26	44	A	0,92

Por otra parte las Características químicas se detallan seguidamente en el Cuadro 2.

Cuadro 2
Propiedades Químicas del Suelo para los estratos 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad al momento de establecer el ensayo

PROFUNDIDAD (cm)	col(+)/l					mg/l				
	pH	AL	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe
20	5,6	0,3	5,6	1,4	0,2	6	1,4	22	6	121
40	5,7	0,2	2,4	0,8	0,17	5	1,4	18	7	129

Los tratamientos evaluados fueron 10 en su totalidad, incluyendo el tratamiento testigo sin aplicación de Nitrógeno. De los 10 tratamientos tres correspondieron a tratamientos testigos comerciales aplicados con tres de las fuentes comerciales convencionales utilizadas para suplir los requerimientos de Nitrógeno al cultivo, estos fueron Urea, Nitrato de Amonio (Nutran) y Sulfato de Amonio; además, seis fuentes no convencionales de más reciente desarrollo y oferta en el mercado. En el Cuadro 3 se detallan las características, composición química, así como la casa comercial distribuidora de cada uno de los fertilizantes evaluados.

Cuadro 3
Características generales de los Fertilizantes evaluados

Producto	* Composición Química	* Características	Empresa
Nitro Xtend	46 % Nitrógeno	Urea enriquecida con Agrotain. Este retarda la hidrólisis de la Urea al inhibir el efecto de la enzima ureasa, ayudando a reducir las pérdidas por volatilización.	Abopac
Perlka	19,8 % Nitrógeno Total (más de 15 % Nitrógeno Cianamídico y menos 2 % Nitrógeno Nítrico)	Fertilizante nitrogenado de liberación lenta. Por procesos químicos el nitrógeno va progresivamente haciéndose disponible para la planta.	Agrocosta
Last N	43 % Nitrógeno	Fertilizante nitrogenado de liberación controlada	Abopac
N-Force	Nitrógeno Total 30%: N Orgánico 1% N Amoniacal 3% N Ureico 24 % Urea como Formaldehido 2% Azufre (SO ₃) 9 % Carbono Orgánico 7,5% Ácidos Húmicos 3% Boro (B) soluble agua 0,01 % Zinc (Zn) soluble agua 0,01 %	El Nitrógeno del N-Force se divide en 4 formas para dar una mejor nutrición evitando las pérdidas por volatilización y lixiviación en el perfil del suelo. Reduce la lixiviación de Nitrógeno (hasta 110 días dependiendo de la Precipitación y Temperatura.	Agrial
Agrocote 37-0-0	37 % Nitrógeno	Fertilizante de liberación controlada recubierto por capa interna de azufre y capa externa de polímeros.	Scotts
Urea + S	40 % Nitrógeno total 6,0 % Azufre como Sulfato	El recubrimiento de S disminuye las pérdidas por volatilización en más de un 35%	Abopac
Nutrán	33,5 % Nitrógeno		
Urea	46 % Nitrógeno		
Sulfato de amonio	21 % Nitrógeno 23.7 % S 71,1 % S-SO ₄		

*Características y composición química proporcionada por cada empresa.

Cada tratamiento (dosis y época de aplicación) se discutió y consensuó previamente con los representantes de cada casa comercial, tomando como punto de partida una dosis estándar de 140 kg/ha de Nitrógeno a aplicar para las fuentes convencionales (Urea, Sulfato de Amonio y Nitrato de Amonio), fraccionado en dos aplicaciones (2 y 4 meses de edad del cultivo). En base a esto, se definieron los tratamientos de la siguiente forma:

Compañía Agrial: El N-Force se debe aplicar con un 20 % menos de la cantidad general de nitrógeno a aplicar (112 kg/ha) y aplicado todo en la primera fertilización.

Compañía Agrocosta: Con el Perlka se debe aplicar con un 20% menos de la fertilización general o sea (112 kg/ha) y todo en la primera fertilización.

Compañía Abopac: El NitroXtend y la UREA + S, se debe reducir en un 15% menos de la dosis general de nitrógeno (119 kg/ha), fraccionado en dos aplicaciones. Para el Last N utilizar un 40 % de la dosis de nitrógeno (56 Kg/ha) aplicado todo en la primera fertilización y complementado con un 20% de nitrógeno (28 kg/ha) utilizando otra fuente como Urea. En total 84 kg N/ha.

Compañía Scott: El Agrocote (37-0-0) se recomienda aplicar 100 kg de nitrógeno (71,4% de la dosis general) y aplicarlo todo en la primera fertilización.

El costo de los tratamientos incluyendo insumo mas mano de obra de aplicación se detalla en el Cuadro 4. Se toma en cuenta en el costo de mano de obra si se realizaba una sola aplicación o si fue fraccionada en dos aplicaciones según el caso.

Cuadro 4
Costo de tratamientos incluyendo insumo más mano de obra para aplicación

Tratamiento	% Total de Nitrógeno	Dosis aplicada (kg N/ha)	Dosis aplicada (kg PC/ha)	Precio (1) (kg PC) (\$)	Costo Fertilizante (\$)	Costo (2) Aplicación (\$)	Costo Total Tratamiento (\$)
Last N	43	84	195	0,9	176	17,6	193
NitroXtend	46	119	259	0,62	160	39,6	200
Urea	46	140	304	0,6	183	39,6	222
Urea + S	40	119	298	0,64	190	39,6	230
Nutran	33,5	140	418	0,47	196	39,6	236
Agrocote (37-0-0)	37	100	270	0,9	243	17,6	261
Sulfato de Amonio	21	140	667	0,49	327	39,6	366
N - Force	30	112	373	1,36	508	17,6	525
Perlka	19,8	112	566	2,7	1527	17,6	1545

Tipo de cambio al 17 de Julio de 2015: 540 colones por dólar US.

^{1/} PC: Producto comercial de la fuente Nitrogenada

^{2/} Costo de Mano de Obra: 1a. Aplicación: US\$17,6 y 2da. Aplicación: US\$22,0

Se definió una dosis estándar de 150 kg/ha de P2O5 aplicado todo a la siembra y 150 kg/ha de Potasio aplicado todo en la segunda fertilización (cuatro meses edad del cultivo) utilizando como fuente de P2O5 el fertilizante 0-46-0 y como fuente de Potasio el KCL granular.

El tratamiento testigo absoluto no recibió fertilización nitrogenada, mientras que las dosis de potasio y P2O5 aplicadas fueron iguales a los demás tratamientos.

Luego de la siembra se trazaron canales de desagüe en las divisiones entre parcelas para evitar la contaminación por escorrentía entre tratamientos.

Al momento de la cosecha de los tratamientos se pesaron las parcelas completas para estimar el Rendimiento Agrícola o de Campo (t caña/ha) y se tomaron las muestras correspondientes para determinar, en laboratorio del Ingenio, mediante la metodología de Pago por calidad de LAICA, el Rendimiento Industrial (kg Az/t). Estos indicadores productivos luego se integraron para tener el estimado del rendimiento agroindustrial (t Az/ha).

Resultados y Discusión

Según los resultados que se muestran en el Cuadro 5, para la variable de Rendimiento Agrícola (t caña/ha), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para ninguna de las tres cosechas; sin embargo, se nota como para la primera cosecha, en caña planta, los tratamientos con los fertilizantes Perlka y NitroXtend fueron los más sobresalientes con incrementos en la productividad de campo en un 12 % y un 6,35 % con respecto al tratamiento testigo sin Nitrógeno, seguidos por los tratamientos aplicados con Sulfato de Amonio y Urea + S que generaron incrementos ambos de un 5 %.

Para la segunda cosecha, correspondiente a la primera soca o retoño los tratamientos más sobresalientes fueron los fertilizados con Agrocote (37-0-0), Perlka y Sulfato de Amonio sin embargo el rendimiento Agrícola en los tres casos no superó en más de un 2% la producción del tratamiento testigo sin aplicación alguna de Nitrógeno.

Por último, en la tercer cosecha, correspondiente a la segunda soca o retoño; sobresale el tratamiento con Sulfato de Amonio con un incremento en el rendimiento agrícola o de campo del 16.83 %, seguido por el NitroXtend con un incremento del 9 % y muy similar la Urea con un incremento del 8,5 % con respecto al tratamiento testigo.

Cuadro 5
Resultados de Rendimiento Agrícola (t caña/ha) obtenidos durante las tres cosechas

Tratamiento	1a. Cosecha	2da. Cosecha	3a. Cosecha	Promedio 3 cosechas
	t/ha	t/ha	t/ha	
Sulfato Amonio	111,77	109,49	118,68	113,31
Perlka	119,05	109,3	107,83	112,06
Nitro xtend	113,35	107,47	110,81	110,54
Agrocote 37 - 0 - 0	110,48	109,01	108,38	109,29
Urea	109,01	107,54	110,22	108,92
Urea + S	111,03	106,55	107,47	108,35
N Force	102,94	108,09	113,6	108,21
Last N	108,38	107,25	108,42	108,02
Nutran	107,87	104,78	105,66	106,10
Testigo	106,25	107,28	101,58	105,04
CV %	7,72	5,75	6,1	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tuckey al 5%

Comparando el Rendimiento Agrícola o de Campo (t caña/ha) promedio obtenido durante las tres cosechas, según se ilustra en la Figura 2; se observa como los cuatro mejores tratamientos fueron, en orden de importancia, el Sulfato de Amonio, Perlka, NitroXtend, y Agrocote (37-0-0) con incrementos en la producción de campo del 7,87 %, 6,68 %, 5,24 % y 4,04 % respectivamente. Cabe resaltar que el Sulfato de Amonio fue una de las fuentes convencionales

utilizada como testigo comercial en el ensayo, aplicado a una dosis de producto comercial equivalente a 140 kg/ha de N. ; mientras que el Perlka, NitroXtend y el Agrocote son tres de las fuentes evaluadas como posibles nuevas alternativas a utilizar como fertilizantes fuente de Nitrógeno para el cultivo, y la dosis de estos fertilizante se redujo en un equivalente a 20%, 15% y 28% respectivamente menos de Nitrógeno por hectárea, asumiendo que por ser más eficientes esto compensaría en función de las menores pérdidas por volatilización o lixiviación en el campo.

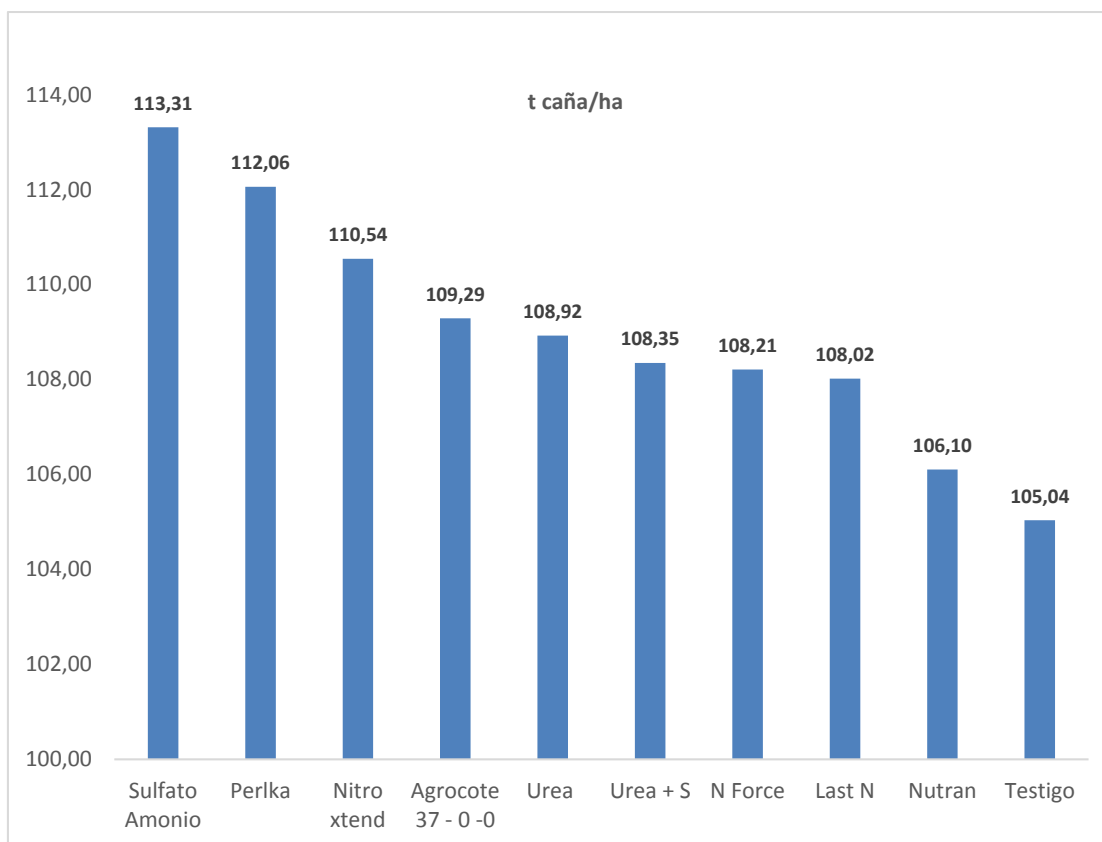


Figura 2. Rendimiento Agrícola (t caña/ha) promedio de tres cosechas

Comparando estas tres fuentes alternativas (Perlka, NitroXtend y Agrocote) con respecto a la Urea que es el fertilizante comercial más utilizado para suplir los requerimientos de N del cultivo se obtuvo una diferencia en la productividad de campo no superior al 3 % de incremento para los tres fertilizantes citados; siendo importante recalcar que a pesar de aplicarse una menor dosis de Nitrógeno con estas tres fuentes no disminuyeron la productividad o rendimiento de campo.

Cuadro 6
Rendimiento industrial (kg Az/t) para las tres cosechas evaluadas

Tratamientos	1a. Cosecha	2da. Cosecha	3a. Cosecha	Promedio 3 cosechas
	kg Az/t	kg Az/t	kg Az/t	
Agrocote 37 - 0 -0	101,68	122,7	126,58	116,99
Last N	100,51	127,43	126,46	118,13
N Force	94,48	123,03	124,05	113,85
Nitro xtend	101,36	118,64	127,84	115,95
Nutran	92,84	126,62	125,53	115,00
Perlka	101,59	129,53	122,18	117,77
Sulfato Amonio	98,75	125,61	119,94	114,77
Testigo	97,19	125,2	125,87	116,09
Urea	95,11	126,51	126,46	116,03
Urea + S	91,74	124	127,54	114,43
CV %	6,84	6,7	5,03	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tuckey al 5%

En la Variable Rendimiento Industrial (kg Az/t), según se muestra en el Cuadro 6, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las cosechas ni tendencia alguna de disminución o incremento por parte de alguno de los tratamientos, presentándose la variabilidad normal respectiva al muestreo lo que hace inferir que los resultados en el Rendimiento Agroindustrial (kg Az/t) están determinados básicamente por el rendimiento de campo obtenido en cada tratamiento y no por el Rendimiento Industrial.

Cuadro 7
Rendimiento Agroindustrial (t Az/ha) para las tres cosechas evaluadas

Tratamiento	1er Cosecha	2da. Cosecha	3a. Cosecha	Promedio 3 cosechas
	t Az/ha	t Az/ha	t Az/ha	
Perlka	12,06	14,19	13,16	13,14
Sulfato Amonio	10,99	13,76	14,23	12,99
Agrocote 37 - 0 -0	11,29	13,4	13,71	12,80
Nitro xtend	11,44	12,68	14,15	12,76
Last N	10,88	13,61	13,73	12,74
Urea	10,36	13,61	13,94	12,64
N Force	9,79	13,32	14,1	12,40
Urea + S	10,22	13,22	13,73	12,39
Testigo	10,31	13,48	12,96	12,25
Nutran	10,01	13,28	13,27	12,19
CV %	10,54	8,08	8,91	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tuckey al 5%

Como se muestra en el Cuadro 7, para la variable Rendimiento Agroindustrial (t Az/ha), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo; al observar los resultados para la primera y segunda cosecha sobresale levemente el tratamiento con Perlka con el mayor incremento con respecto al testigo absoluto (16,97 % en la primer cosecha y 6,88 % en la segunda cosecha), seguido por el NitroXtend en la primer cosecha (10,91% incremento) y el Sulfato de Amonio en la segunda cosecha con un 2 % de incremento; mientras que para la tercer cosecha es precisamente el Sulfato de Amonio el que mayor incremento en el rendimiento agroindustrial reportó con respecto al testigo (9,8 % incremento), seguido del NitroXtend (9,18 %) y el N Force (8,79 %)

Curiosamente no se presentó ninguna respuesta productiva en el rendimiento agroindustrial a la aplicación de Nutran en las dos primeras cosechas y solo muy levemente en la tercera (2,3%) a pesar de haberse aplicado la dosis equivalente a los 140 kg/ha de N. y haber presentado incrementos importantes en otras regiones para esta variable.

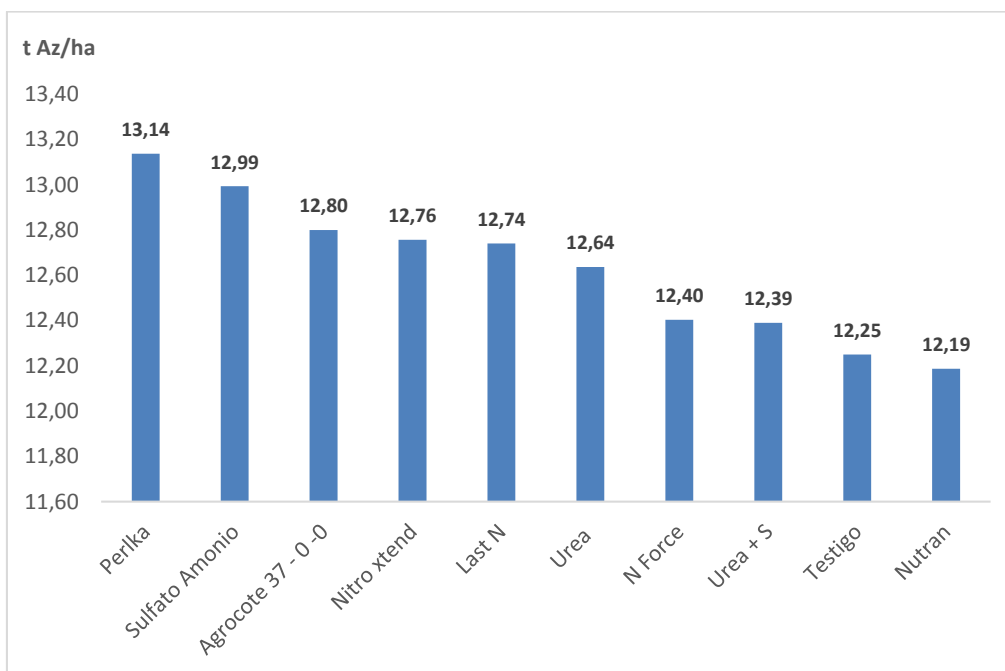


Figura 3. Rendimiento Agroindustrial (t Az/ ha) promedio de tres cosechas

Tomando la producción promedio de las tres cosechas, como se observa en la Figura 3, se tiene que todos los tratamientos a excepción del Nutran igualaron o superaron la producción agroindustrial (t. Az/ha) del tratamiento testigo sin aplicación de Nitrógeno, siendo Perlka y Sulfato de Amonio los tratamientos que mayor incremento presentaron con un 7,26 % y 6,04 % respectivamente. Por otra parte se tiene que de las fuentes convencionales utilizadas como testigos comerciales, recordando que todos tienen la misma cantidad equivalente de Nitrógeno (140 kg N./ha), el mejor fue Sulfato de Amonio, seguido por la Urea y por último el Nutran (Nitrato de Amonio). Por otra parte, los tratamientos con Perlka, Agrocote 37-0-0, NitroXtend y Last N (fuentes no convencionales) igualaron o superaron en alguna medida la productividad agroindustrial del tratamiento con Urea (fuente convencional mayormente utilizada en el país para suplir los requerimientos de Nitrógeno en el cultivo); esto a pesar de ser aplicados con una dosis menor de Nitrógeno por hectárea en porcentajes de disminución del 20, 28, 15 y 40 % respectivamente; además, aplicado todo en una sola fertilización, con excepción del NitroXtend el cuál si se fraccionó en dos aplicaciones igual que las fuentes convencionales incluida la Urea.

Conclusiones y Recomendaciones

1. De los tres fertilizantes utilizados como testigos convencionales: Urea, Nutran y Sulfato de Amonio, fue este último el que mejores resultados productivos generó. Mientras que no hubo respuesta productiva a la aplicación de Nutran.
2. En promedio, para las tres cosechas, ninguno de los seis fertilizantes evaluados lograron igualar o superar a la mejor fuente convencional, Sulfato de Amonio, sin embargo no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ningún tratamiento.

3. Los tratamientos fertilizados con Perlka, Agrocote 37-0-0, NitroXtend y Last N igualaron o superaron la productividad obtenida por el tratamiento fertilizado con Urea a pesar de haberles reducido la dosis equivalente de kg Nitrógeno/ha en porcentajes del 20%, 28%, 15% respectivamente para los tres primeros y un notorio 40% en el caso del Last N. Siendo el costo total del insumo por hectárea levemente menor, con respecto a la Urea, para el caso del NitroXtend y el Last N; 17% mayor para el Agrocote y un 545% mayor en el caso del Perlka, dejando este último con pocas posibilidades para su uso a nivel comercial.
4. Comparando, en costo, estos cuatro fertilizantes mencionados anteriormente con respecto al Sulfato de Amonio, a excepción del Perlka, tendrían un costo menor por hectárea sin haber obtenido diferencias estadísticamente significativas a nivel productivo.
5. Desde el punto de vista productivo, ambiental y económico los tratamientos NitroXtend y Last N presentaron ser las mejores alternativas para disminuir las emisiones principalmente de Óxido Nitroso y con ello la contaminación generada por las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.
6. Según los resultados obtenidos en la presente evaluación, tomando en cuenta que es la primer investigación formal realizada con este nuevo tipo de fuentes de fertilizantes nitrogenados, el peso que tiene la fertilización sobre los costos de producción y las implicaciones en el tema ambiental; resulta importante y necesario continuar con la investigación en este campo.

Bibliografía

- Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Chaves, M. 1999. El nitrógeno, fosforo y potasio en la caña de azúcar. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar.
- Fassbender, H; Bornemisza, E. 1977. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª. Edición. IICA. San José, Costa Rica. 1987.
- Malavolta, E. 1976. Manual de Química Agrícola: Nutrição Mineral de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo. Ed. Agronómica Ceres. 528 p.