

## Evaluación de nueve fuentes de fertilizantes nitrogenados en la región de Turrialba, Costa Rica, con las variedades de caña de azúcar B77-95. Promedio de Tres Cosechas

Gilberto Calderón Araya<sup>1</sup> Roberto Alfaro Portugal<sup>2</sup> Randall Ocampo Chinchilla<sup>3</sup>

### Resumen

Los fertilizantes nitrogenados al ser aplicados en un cultivo como la caña de azúcar están expuestos a sufrir pérdidas, mismas que reducen la eficiencia de aprovechamiento del nutrimento por parte de la planta. Esta realidad no sólo presenta implicaciones económicas para el agricultor, sino también, repercute en forma negativa al ambiente. Los procesos en donde ocurren estas pérdidas son los siguientes: lixiviación, volatilización, desnitrificación, fijación, inmovilización, remoción y quema.

Expertos en cambio climático, indican que la fertilización de la caña de azúcar con productos nitrogenados, es la responsable parcial de la emisión de gases de efecto Invernadero (GEI), concretamente del óxido nitroso. En el mercado se ha propuesto que una forma de mitigación importante para la reducción de la emisión de estos gases, es el empleo de los fertilizantes de liberación lenta y controlada. Debido a lo anterior, se estableció un ensayo en finca del Ingenio Agroatirro, en la localidad denominada Canadá, ubicada en el distrito La Suiza, cantón Turrialba. El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de la aplicación de productos nitrogenados: un grupo convencionales y otro de liberación lenta y controlada, sobre la producción agroindustrial del cultivo de la caña de azúcar.

Los resultados reflejaron que los fertilizantes convencionales nutran, urea + azufre y urea granulada, fueron los mejores tratamientos al obtener el promedio de las tres cosechas, con relación a la variable producción de azúcar (t/ha). Del grupo de fertilizantes no convencionales, el nitro xtend fue el mejor. Si bien no mostró diferencias estadísticas significativas a nivel de la tercera cosecha, con respecto a los productos Nutran + Urea+Azufre y Urea granulada, los indicadores económicos obtenidos: rentabilidad, utilidad neta y la relación beneficio respaldan su buen comportamiento, al promediar las tres cosechas. Algunas de las conclusiones obtenidas en este estudio, revelaron que los productos nitrogenados no convencionales (de liberación lenta y controlada) no mostraron un efecto determinante en la producción de azúcar. En el análisis económico realizado en esta investigación se logró determinar que cuando el precio del fertilizante es alto, afectó negativamente la utilidad y la relación beneficio costo.

### Introducción

En la región de Turrialba normalmente los productores de caña de azúcar utilizan como parte de la primera fertilización productos nitrogenados, siendo el Nitrato de Amonio (Nutran) la fuente más utilizada. La razón de esta práctica radica, en el notorio impacto del crecimiento y la coloración verde que adquiere el follaje de los tallos del

---

<sup>1</sup>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 Turrialba. Cartago, Costa Rica. E-mail: [gcalderon@laica.co.cr](mailto:gcalderon@laica.co.cr). Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

<sup>2</sup>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](mailto:ralfaro@laica.co.cr). Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

<sup>3</sup>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](mailto:rocampo@laica.co.cr). Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555.

cultivo, lo cual llama la atención del agricultor. Se sabe además, que este nutrimento incide de forma determinante en el tonelaje.

No obstante lo anterior, su empleo en forma inadecuada puede conducir a la afección de la calidad de los jugos y con ello al éxito productivo y económico del agricultor. Por el contrario, cuando se adiciona de manera racional y técnica, se convierte en un factor generador de éxito y riqueza (Chavez 1997).

La eficiencia de la aplicación de este elemento en el suelo constituye un factor importante a considerar. De acuerdo con Bertsch ( 2013 ), la eficiencia de un fertilizante se refiere aquella parte del producto aplicado que va a ser realmente disponible para el cultivo, dicho de otra forma, al porcentaje del producto que va a ser preservado de las pérdidas. Las mismas están relacionadas con las propiedades de este nutrimento, las cuales son: lixiviación, volatilización, desnitrificación, fijación, inmovilización, remoción y quema (Bertsch 2013; Chaves 1997). En el caso de los suelos Vertisoles la eficiencia es del 50-65 %, en suelos volcánicos 55-65 %, en suelos rojos 50-55 % y en suelos Inceptisoles 50-70 % (Bertsch 2013).

La aplicación del N en forma fraccionada, surge como una de las mejores prácticas que existen para evitar pérdidas significativas de fuentes muy solubles como son los nitratos, puesto que evita pérdidas por escorrentía, lixiviación, fijación y posible contaminación de las aguas por causa del fertilizante (Chavez 1997). Sin duda en el contexto de reducir pérdidas y mejorar la eficiencia de aplicación del nitrógeno, dicha práctica es una alternativa importante.

Sin embargo, la preocupación recientemente con el uso de los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de la caña de azúcar, surge por el lado de la contaminación ambiental, producto de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como el  $N_2$  (dinitrógeno),  $N_2O$  (óxido nitroso) y el  $NH_3$  (amoníaco), generados en los procesos mencionados (volatilización y denitrificación). Según Montenegro y Chaves (1984), el nitrógeno es señalado como responsable parcial del incremento del Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) en la atmósfera.

Con base en lo anterior, es oportuno mencionar que una estrategia para mitigar la emisión de GEI en el sector cañero (emisiones de óxido nitroso) lo constituye la introducción de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno en las plantaciones comerciales de caña de azúcar. Las nuevas fuentes nitrogenadas están elaboradas sobre la base de la Urea. Por lo que, la introducción de una partícula revestida con una capa permeable provoca una liberación de sus componentes de manera regulada en el tiempo. En el caso de la caña, esto resulta idóneo por tratarse de un cultivo de ciclo largo, anual y bianual (Jiménez 2012).

Debido a los aspectos expresados, fue necesario establecer una investigación para evaluar productos nitrogenados de lenta o regulada liberación y fuentes convencionales. Con base en esta justificación técnica, el objetivo general y específicos fueron los siguientes:

**Objetivo general:**

Evaluar el efecto de la aplicación de productos nitrogenados: un grupo convencionales y otro de liberación lenta y controlada, sobre la producción agroindustrial del cultivo de la caña de azúcar.

**Objetivos específicos:**

Estudiar las diferencias entre las fuentes de lenta liberación o liberación controlada del nitrógeno y las fuentes de uso común en el cultivo, aplicadas en forma fraccionada.

Realizar un análisis económico a cada uno de los tratamientos, considerando el costo del producto, así como el costo de la aplicación.

**Materiales y métodos**

El ensayo se estableció el 17 de agosto del 2011, en la Finca denominada Canadá, del Ingenio Agroatirro, ubicado en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, a una altitud de 740 msnm, con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación media anual de 2.613 mm.

Se utilizó un diseño experimental de Bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos se distribuyeron en forma aleatoria en el campo y la distancia entre bloques fue de 3 m y entre parcelas de 2 m. Cada parcela experimental estuvo constituida de 5 surcos de 9 metros de largo sembrados a 1,5 metros entre sí, para un área total por parcela de 67,5 m<sup>2</sup> la cual fue evaluada y cosechada en su totalidad.

La variedad utilizada fue B 77- 95, la cual se caracteriza por ser un material comercial de alto tonelaje y rendimiento industrial, cultivada en la zona. La primera cosecha se realizó a los 18 meses y las siguientes cada 12 meses.

Las características químicas del suelo para los estratos de profundidad de 0-20 cm y 20-40 cm, se presentan en el cuadro 1. En general, de acuerdo a las características químicas, este suelo se puede catalogar como de fertilidad media. Se observa en dicho cuadro que los contenidos de los nutrimentos potasio y fósforo, se encuentran por debajo del nivel crítico.

Los productos comerciales así como las características de los diferentes materiales nitrogenados utilizados en el ensayo, se presentan y describen en el cuadro dos. De manera similar, las cantidades de producto comercial por parcela se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 1**

**Análisis químico del suelo utilizado en el experimento de fertilizantes nitrogenados, Turrialba**

| Profundidad   | PH  | Acidez | % SA | Ca          | Mg  | K    | P    | Zn  | Mn | Cu | Fe  | CICE<br>Cmol<br>(+) / l |
|---------------|-----|--------|------|-------------|-----|------|------|-----|----|----|-----|-------------------------|
|               |     | cmol/l |      | cmol(+) / l |     |      | mg/l |     |    |    |     |                         |
| Nivel crítico | 5,5 | 0,5    |      | 4           | 1   | 0,2  | 12   | 3   | 5  | 1  | 10  | 5                       |
| 20 cm         | 5,6 | 0,2    | 2,17 | 6,8         | 1,9 | 0,29 | 10   | 3,6 | 20 | 16 | 147 | 9,19                    |
| 40 cm         | 5,6 | 0,25   | 3,6  | 5,3         | 1,3 | 0,08 | 5    | 3   | 18 | 21 | 102 | 6,93                    |

**Cuadro 2**

**Productos comerciales evaluados en el ensayo fuentes de fertilizantes nitrogenados, Turrialba**

| PRODUCTO    | COMPOSICION QUIMICA  | CARACTERISTICAS *   | EMPRESA                     |
|-------------|--|---|-----------------------------|
| NITRO XTEND | 46 % de Nitrógeno  | Urea enriquecida con AGROTAIN. El AGROTAIN retarda la hidrólisis de la Urea al inhibir el efecto de la enzima ureasa, ayudando a reducir las pérdidas por volatilización. | ABOPAC                      |
| UREA + S    | 40 % Nitrógeno total<br>6 % Azufre como Sulfato  | El recubrimiento de S disminuye las pérdidas por volatilización en más de un 35 %   | ABOPAC<br>(Línea Yara Vera) |
| PERLKA      | 19,8 % de Nitrógeno<br>Cianamídico y menos 2 %<br>Nitrógeno Nítrico)<br>Óxido de Calcio 50 % | 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%<br>N Orgánico 1%<br>N Amoniacal 3 %<br>N Ureico 24%<br>Urea como formaldehído 2%<br>Azufre (SO3) 9%<br>Carbono Orgánico 7,5 %<br>Ácidos Húmicos 3%<br>Boro (B) soluble agua 0,01%<br>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 |
| NUTRAN          | 33,5 % Nitrógeno  |  |        |
| UREA            | 46 % de Nitrógeno   |  |        |
| SULFATO AMONIO  | 21 % Nitrógeno<br>23,7 % S<br>71,1 % S SO4  |  |        |
| 0-46-0          | 46 % P2O5   |  |        |
| CLORURO POTASIO | 60 % K2O<br>47 % Cl   |  |        |

**\*Características y composición química proporcionada por cada empresa**

Por otra parte, se presentan las condiciones de clima referentes a precipitación y temperatura que prevalecieron durante el período desde la siembra hasta la última cosecha, en el Cuadro 4 y Figura 1.

**Cuadro 3**  
**Tratamientos evaluados, dosis y costo por hectárea, en el ensayo de fertilizantes nitrogenados.**

| Tratamiento          | Fertilización<br>kg / parcela (67,5 m <sup>2</sup> ) |         | Dosis<br>kg PC* /<br>ha | % Nitrógeno<br>tratamientos | Dosis<br>kg N<br>/ ha | Precio kg<br>PC<br>Dólares (\$) | Costo**<br>Tratamiento<br>Dólares (\$) /<br>ha | % Variación<br>respecto<br>Nutran*** |
|----------------------|--|---------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|
|                      | 2 meses  | 4 meses |                         |                             |                       |                                 |  |                                      |
| Nitro Xtend          | 0,87   | 0,87    | 258                     | 46,0                        | 119                   | 0,62                            | 204,3  | -14,7                                |
| Urea + S             | 1,0  | 1,0     | 296                     | 40,0                        | 119                   | 0,64                            | 233,7  | -2,4                                 |
| Perlka               | 3,78   |         | 560                     | 19,8                        | 112                   | 2,7                             | 1.528,6  | 538,5                                |
| N - Force            | 2,5  |         | 370                     | 30,0                        | 112                   | 1,36                            | 519,8  | 117,1                                |
| Agrocote<br>37-0-0   | 1,8  |         | 267                     | 37,0                        | 100                   | 0,9                             | 256,9  | 7,3                                  |
| Last N +<br>Urea     | 0,87   |         | 190                     | 43,0                        |                       | 0,90                            | 169,3  |                                      |
|                      | 0,41   |         | 129 Last N<br>61 Urea   | 46,0                        | 84                    | 0,60                            | 116,1<br>36,6                                  | -29,3                                |
| Nutran               | 1,4  | 1,4     | 415                     |                             | 140                   | 0,47                            | 239,4  | 0                                    |
| Urea                 | 1,02   | 1,02    | 302                     |                             | 140                   | 0,6                             | 225,5  | -5,8                                 |
| Sulfato de<br>Amonio | 2,24   | 2,24    | 664                     |                             | 140                   | 0,49                            | 369,7  | 54,3                                 |
| Testigo              |  |         | 0                       |                             | 0                     | 0,00                            |  | 0                                    |

Tipo de cambio al 17-07-15: 540 colones por dólar US.  
 \* Producto comercial  
 \*\* Incluye Costo de Mano Obra: 1a aplicación: US\$16,6 y 2da aplicación: US\$27,7  
 \*\*\* % Variación respecto a la fuente más usada en la zona

Los tratamientos, dosis y época de aplicación, se presentan en el Cuadro 3. En el ciclo planta se aplicó 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al momento de la siembra utilizando como fuente 0-46-0. Posteriormente se fraccionó las aplicaciones de nitrógeno convencional en dos aplicaciones (segunda y tercera aplicación) y el potasio se aplicó sin fraccionar en la tercera aplicación. En los ciclos soca, a diferencia del ciclo planta, la fertilización se restringió a dos fertilizaciones como se observa en dicho cuadro.

La cantidad de nitrógeno total a aplicar por año fue de 140 kg/hectárea para las fuentes convencionales, fraccionada en la primera y segunda fertilización en partes iguales. La dosis de Potasio (K<sub>2</sub>O) fue de 150 kg/ha aplicado todo en la segunda fertilización. Seguidamente se detallan las recomendaciones dadas por las casas comerciales para dar fundamento a la dosificación de los productos nitrogenados, las cuales se ejecutaron según cada una de las casas comerciales.

**AGRIAL:** Con N-FORCE aplicar un 20% menos de la cantidad general de nitrógeno a aplicar (112 kg/ha) y aplicado todo en la primera fertilización.

**AGROCOSTA:** Con PERLKA aplicar un 20% menos de la fertilización general o sea (112 kg / ha) y todo en la primera fertilización.

**ABOPAC:** Para NITROXTEND y UREA + S, utilizar 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 a la siembra con el fertilizante fosforado y complementado con un 20% de nitrógeno (28 kg/ha) utilizando otra fuente como Urea aplicada en la primera fertilización.

**SCOTT:** Con AGROCOTE (37-0-0) aplicar 100 kg de nitrógeno (71,4% de la dosis general) y aplicarlo todo en la primera fertilización.

El tratamiento TESTIGO no recibió nitrógeno, únicamente fertilizante fosforado al momento de la siembra y a los 4 meses la aplicación de potasio.

Previo a la cosecha del ensayo, se tomó una muestra de al menos 6 tallos molederos de caña representativos de cada parcela experimental para ser analizado en el laboratorio de jugos del Ingenio Agroatirro R.L.

Se determinó en dichas muestras los valores de Brix %, Pol % Caña, Sacarosa % en Caña, Pureza % del Jugo, Fibra % Caña, y el Rendimiento Industrial dado en kilogramos de azúcar por tonelada de caña molida.

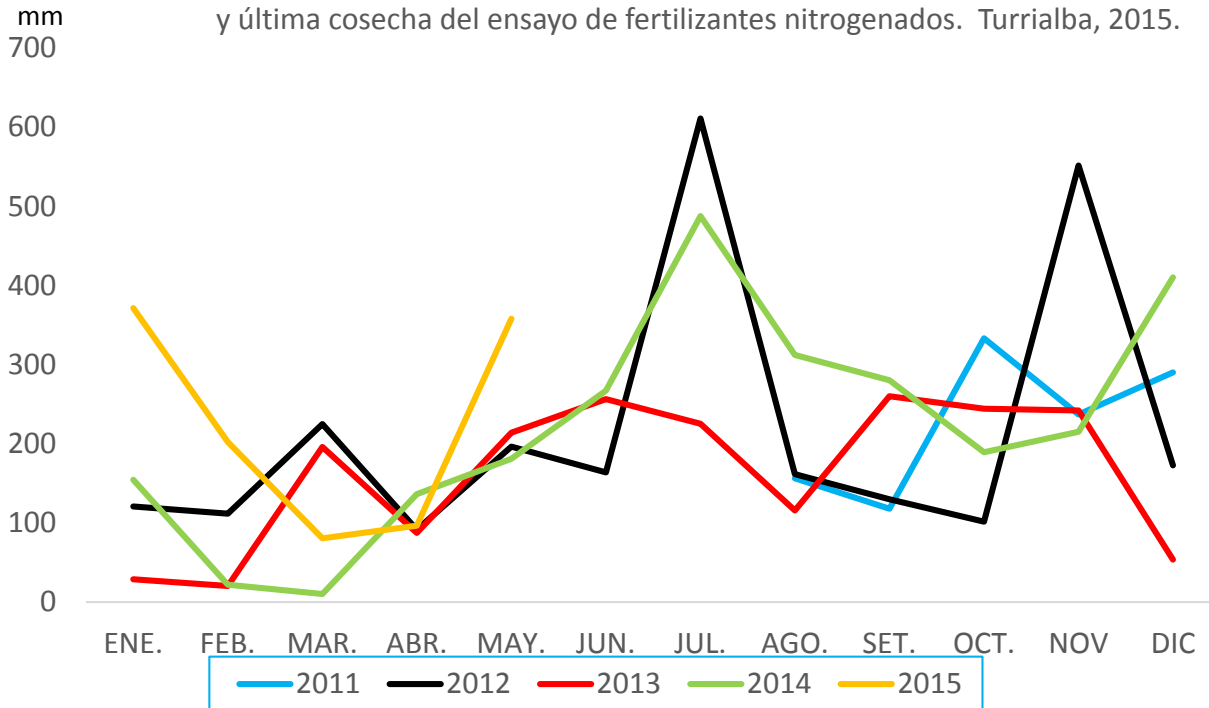
Durante la cosecha de los tratamientos, los mismos se pesaron en su totalidad de toda la caña moledera de cada parcela y se proyectó a toneladas por hectárea.

**Cuadro 4**  
**Datos de precipitación mensual total y temperatura promedio mensual durante el período de establecimiento del ensayo hasta la tercera cosecha**

| Año                                     | ENE.  | FEB.  | MAR.  | ABR.  | MAY.  | JUN.  | JUL.  | AGO.  | SET.  | OCT.  | NOV   | DIC   |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2011                                    |       |       |       |       |       |       |       | 156,4 | 118,0 | 333,3 | 237,2 | 290,4 |
| 2012                                    | 120,8 | 111,7 | 225,1 | 91,6  | 196,5 | 163,9 | 611,2 | 161,7 | 130,0 | 101,6 | 551,8 | 172,8 |
| 2013                                    | 28,8  | 20,5  | 196,0 | 87,6  | 214,0 | 256,6 | 225,4 | 115,9 | 260,1 | 244,5 | 242,2 | 53,7  |
| 2014                                    | 154,6 | 22,1  | 10,3  | 136,5 | 181,2 | 267,3 | 487,9 | 312,3 | 280,4 | 189,4 | 215,4 | 410,4 |
| 2015                                    | 371,6 | 202,4 | 80,6  | 96,7  | 358,0 |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>TEMPERATURA MEDIA (°C)</b>           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2011                                    |       |       |       |       |       |       |       | 22,8  | 23,0  | 22,0  | 21,5  | 20,6  |
| 2012                                    | 20,3  | 20,8  | 20,8  | 22,1  | 23,1  | 23,1  | 22,2  | 22,8  | 22,6  | 22,4  | 21,1  | 21,4  |
| 2013                                    | 21,2  | 21,0  | 21,4  | 22,7  | 22,6  | 22,7  | 22,7  | 22,9  | 23,3  | 23,0  | 22,7  | 21,7  |
| 2014                                    | 21,2  | 21,4  | 22,1  | 22,9  | 23,4  | 23,8  | 23,8  | 23,7  | 22,8  | 24,0  | 23,7  | 23,3  |
| 2015                                    | 22,7  | 22,6  | 22,6  | 23,7  | 22,4  |       |       |       |       |       |       |       |

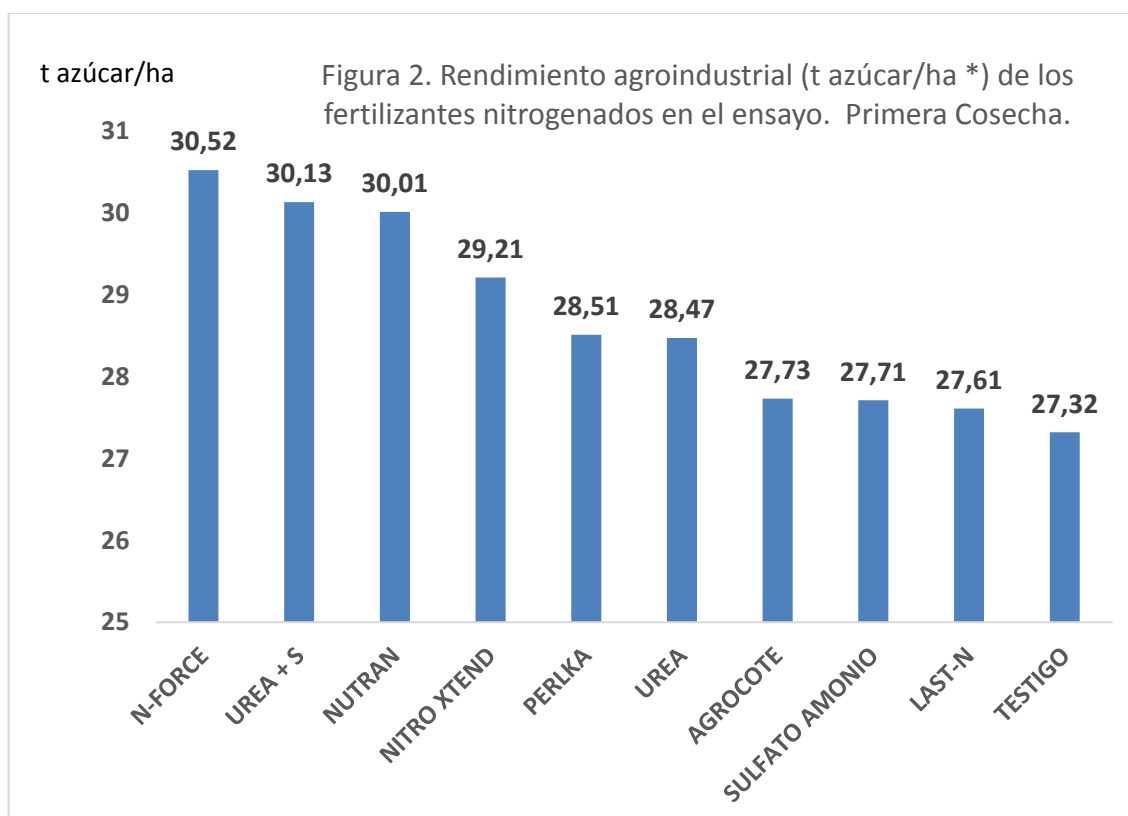
**Fuente: Datos obtenidos de la Estación Meteorológica automática CATIE. Turrialba, 2015.**

Figura 1. Precipitación total mensual durante el período de establecimiento y última cosecha del ensayo de fertilizantes nitrogenados. Turrialba, 2015.



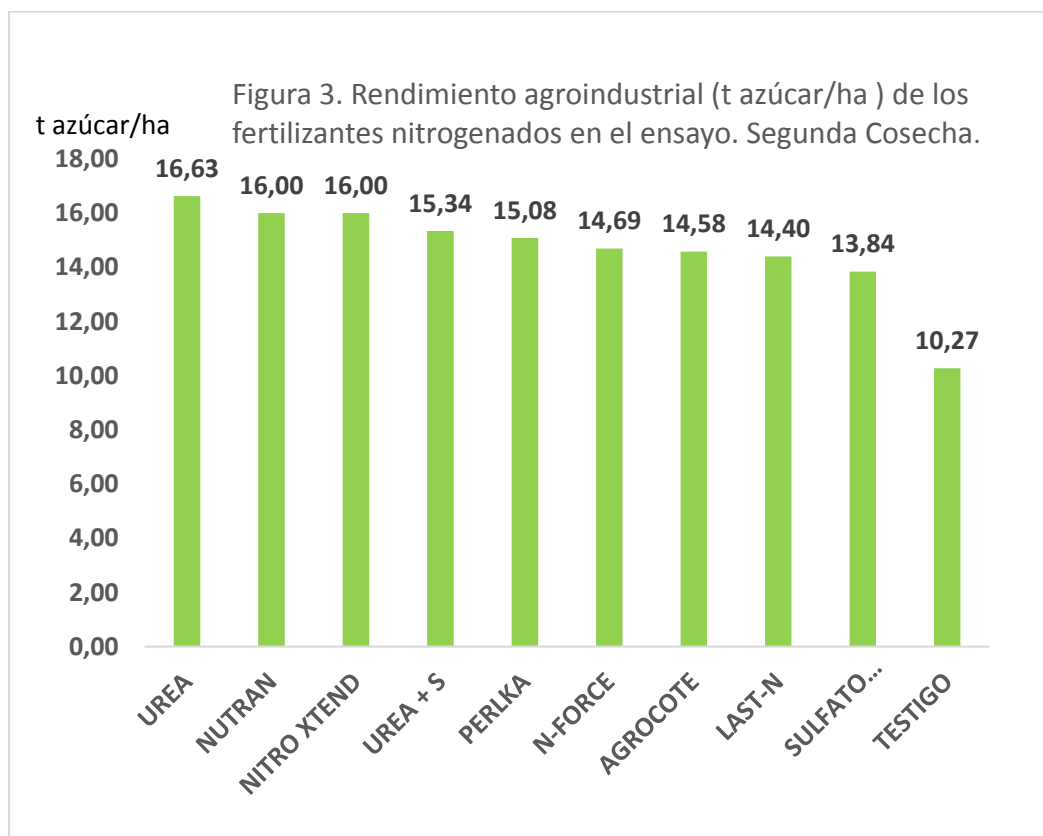
## Resultados y discusión

Los resultados del ensayo respecto a las variables agroindustriales evaluadas durante las tres cosechas se presentan en las Figuras 2, 3, 4, 5, 6 y Cuadros 5, 6 y 7. Con relación al promedio de las tres cosechas (Cuadro 6, Figura 5) se observa que los fertilizantes nitrogenados convencionales: Nitrato de Amonio (nutran), Urea + Azufre y Urea granulada, produjeron respectivamente los mejores rendimientos agroindustriales (t azúcar/ha), seguido del grupo Nitro xtend, N-force, Perlka, Last-N y Agrocote.



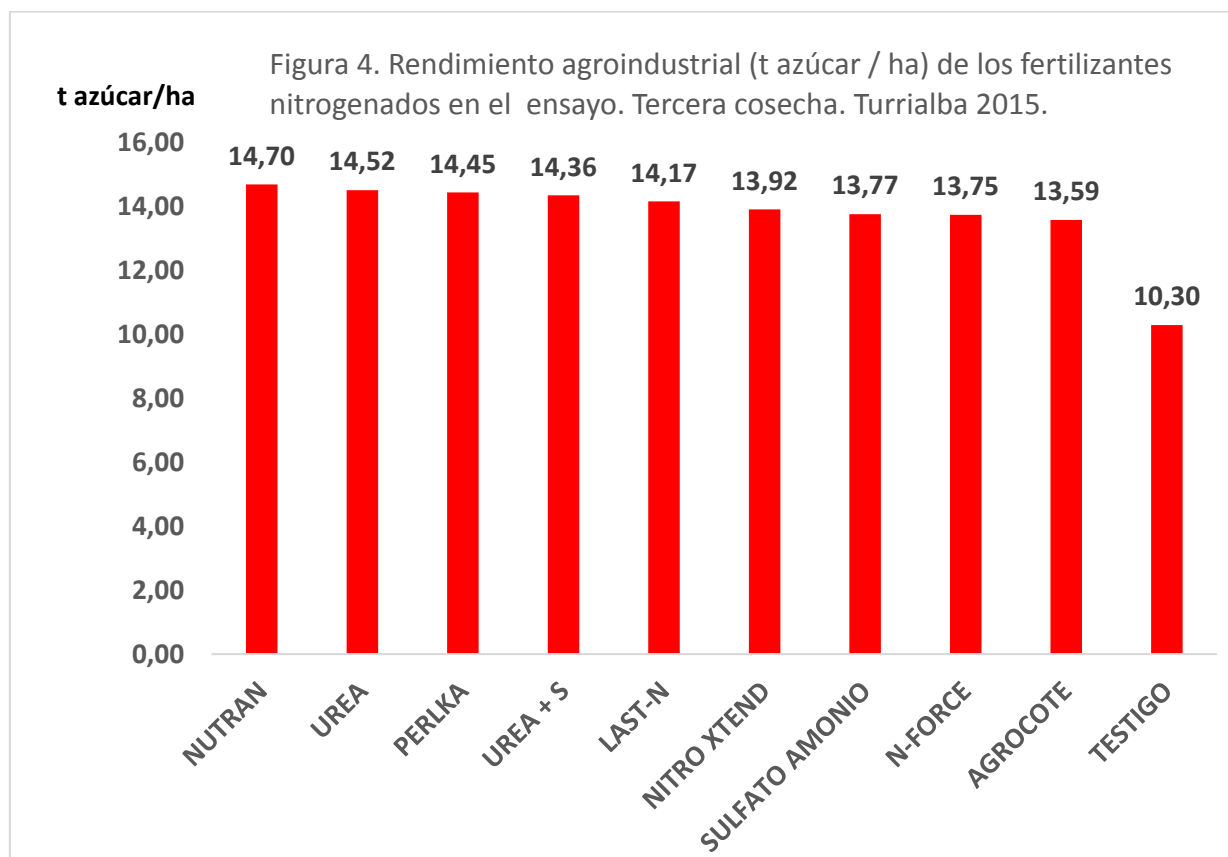
\*La primera cosecha se realizó a los 18 meses después de la siembra (caña planta)

De los fertilizantes nitrogenados no convencionales, el Nitro Xtend resultó ser el mejor tratamiento, sin embargo, no parece tener un comportamiento productivo estable en las tres cosechas, pues en la primera y segunda ocupó el cuarto y tercer lugar respectivamente, con respecto a la producción de azúcar (t/ha).



**Cuadro 5**  
**Resultados agroindustriales de la evaluación de productos nitrogenados evaluados en finca del Ingenio**  
**Agroতির – LAICA, Turrialba. Tercera cosecha. 2015**

| Tratamiento    | %     |       |        |       | Rend. Ind.<br>Kg Az / t | t / ha    |          |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------------------------|-----------|----------|
|                | Brix  | Sac   | Pureza | Fibra |                         | Caña      | Azúcar   |
| Nutran         | 21,08 | 19,07 | 90,54  | 13,03 | 129,70                  | 113,33 a  | 14,70 a  |
| Urea           | 21,50 | 19,19 | 91,57  | 12,79 | 135,50                  | 107,15 a  | 14,52 a  |
| Perlka         | 21,80 | 19,74 | 90,53  | 12,78 | 135,24                  | 106,67 a  | 14,45 a  |
| Urea + azufre  | 21,48 | 19,12 | 88,58  | 12,54 | 129,31                  | 111,30 a  | 14,36 a  |
| Last -N        | 21,48 | 19,67 | 91,59  | 12,61 | 136,02                  | 104,19 ab | 14,17 a  |
| Nitro Xtend    | 20,93 | 19,01 | 90,82  | 12,48 | 131,45                  | 106,45 a  | 13,92 ab |
| Sulfato Amonio | 21,55 | 19,39 | 89,99  | 12,73 | 132,54                  | 103,89 ab | 13,77 ab |
| N - Force      | 21,43 | 19,60 | 91,44  | 12,86 | 130,01                  | 105,74 ab | 13,75 ab |
| Agrocote       | 21,50 | 19,62 | 91,24  | 12,73 | 135,02                  | 100,56 ab | 13,59 ab |
| Testigo        | 21,05 | 19,17 | 91,04  | 12,79 | 131,58                  | 78,26 b   | 10,30 b  |
| CV:            | 2,7   | 2,27  | 1,85   | 5,3   | 4,05                    | 10,82     | 11,14    |

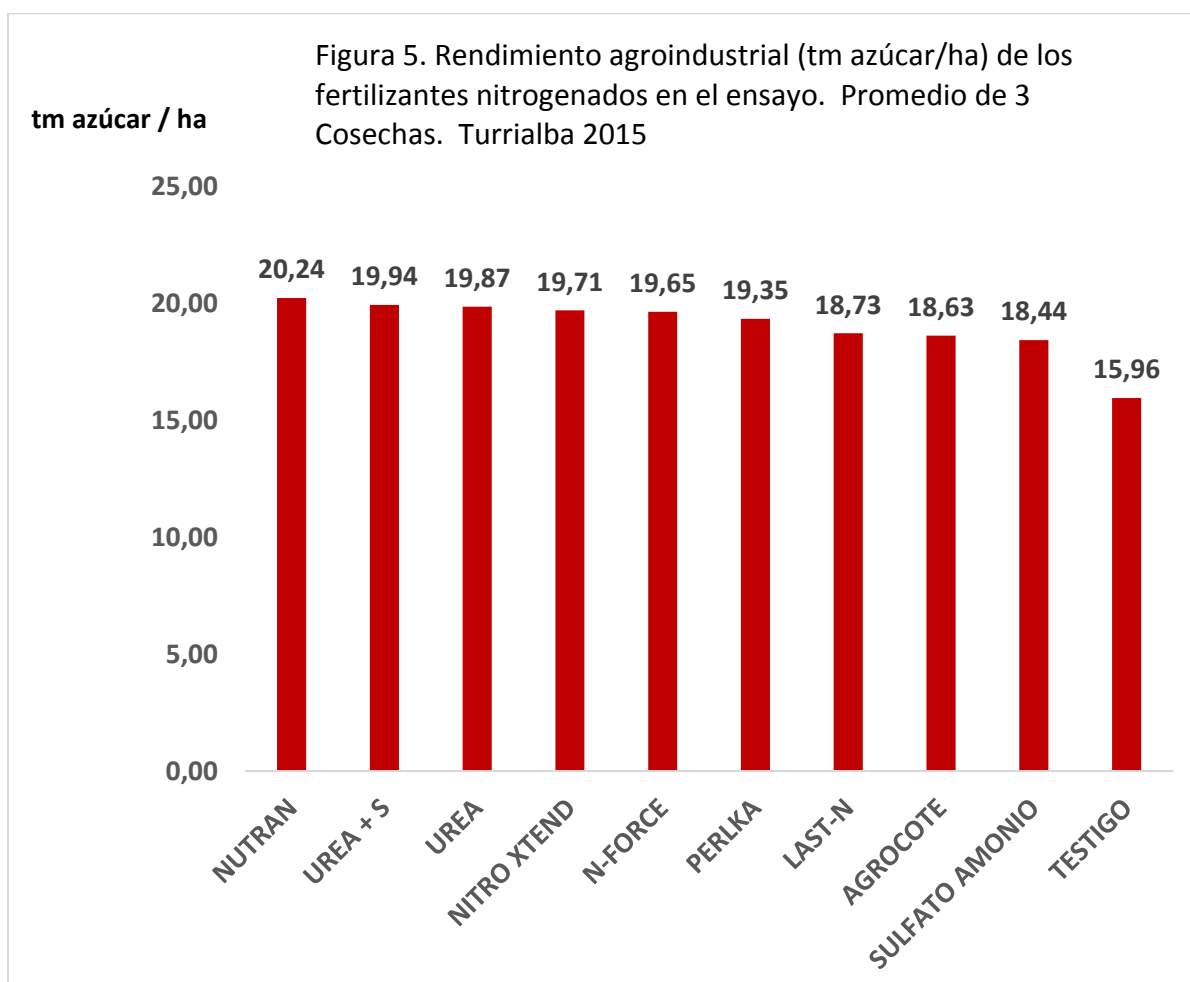


**Cuadro 6**  
**Resultados agroindustriales de la evaluación de productos nitrogenados en finca del**  
**Ingenio Agroatirro, Turrialba. Promedio de tres cosechas. 2015**

| Tratamiento    | %     |       |        |       | Rend. Ind.<br>Kg Az / t | t / ha |        |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------------------------|--------|--------|
|                | Brix  | Sac   | Pureza | Fibra |                         | Caña   | Azúcar |
| Nutran         | 21,31 | 19,62 | 92,04  | 12,45 | 136,26                  | 149,96 | 20,24  |
| Urea + S       | 21,64 | 19,92 | 91,89  | 12,57 | 138,09                  | 144,35 | 19,94  |
| Urea           | 21,53 | 20,02 | 92,99  | 12,75 | 138,88                  | 144,29 | 19,87  |
| Nitro Xtend    | 21,38 | 19,78 | 92,49  | 12,29 | 138,59                  | 143,57 | 19,71  |
| N - Force      | 21,55 | 19,95 | 92,60  | 12,52 | 136,44                  | 144,06 | 19,65  |
| Perlka         | 21,49 | 19,67 | 91,51  | 12,18 | 137,55                  | 141,58 | 19,35  |
| Last - N       | 21,54 | 20,00 | 92,88  | 12,87 | 138,19                  | 136,09 | 18,73  |
| Agrocote       | 21,50 | 20,00 | 92,97  | 12,50 | 139,61                  | 134,25 | 18,63  |
| Sulfato Amonio | 21,57 | 19,93 | 92,39  | 12,60 | 138,37                  | 133,37 | 18,44  |
| Testigo        | 21,48 | 19,92 | 92,67  | 12,74 | 137,88                  | 115,96 | 15,96  |

En contraste, en la tercera cosecha ocupó el sexto lugar con respecto a la misma variable, a pesar de no existir diferencias estadísticas significativas con relación a los mejores productos de esa cosecha (Cuadro 5).

Desde el punto de vista de estabilidad productiva durante las tres cosechas del ensayo, las fuentes Urea y Nutran muestran un comportamiento estable, debido a que tanto en la segunda como en la tercera cosecha (Figuras 3 y 4) ambas fuentes obtuvieron el primer y segundo lugar en producción de azúcar (t/ha), en forma alterna. Como consecuencia de ello, dicho comportamiento se reflejó de manera similar en el promedio de las tres cosechas de esa misma variable, pues el nutran fue el mejor fertilizante nitrogenado y la urea ocupó el tercer lugar.



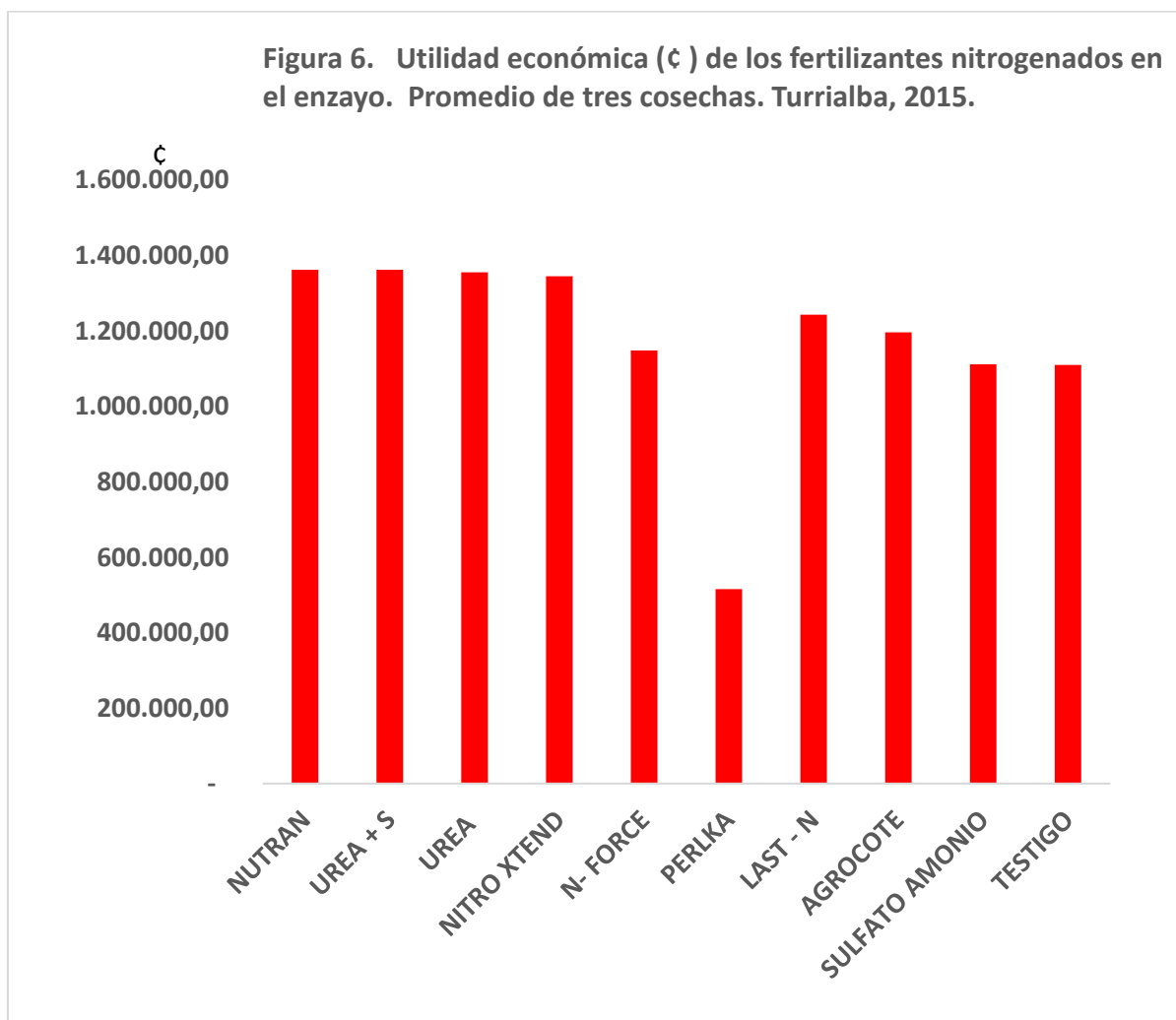
Por otra parte, llama la atención el comportamiento del fertilizante de liberación lenta N-Force (Figura 2), pues fue el mejor tratamiento en caña planta con un ciclo de 18 meses, con relación a la variable producción de azúcar, t / ha. Sin embargo, en los ciclos primera y segunda soca, fue relegado al sexto y octavo lugar (Figuras 3 y 4). Podría pensarse de manera hipotética con respecto a este comportamiento irregular, que este fertilizante requiere de un periodo de tiempo más prolongado para liberar las cantidades de nitrógeno suficientes para cumplir con la demanda del cultivo.

**Cuadro 7**  
**Impacto económico de los productos nitrogenados evaluados en finca del ingenio Agroatirro, Turrialba.**  
**Promedio de tres cosechas**

| Tratamiento       | Rend.<br>Ind. Kg<br>Az/t | t / ha |        | Ingreso total | Costo total  | Utilidad<br>Neta | %<br>Rent. | B / C |
|-------------------|--------------------------|--------|--------|---------------|--------------|------------------|------------|-------|
|                   |                          | Caña   | Azúcar |               |              |                  |            |       |
| Nutran            | 136,26                   | 149,96 | 20,24  | 3.643.200,00  | 2.280.931,00 | 1.362.269,00     | 159,7      | 1,60  |
| Urea + S          | 138,09                   | 144,35 | 19,94  | 3.589.200,00  | 2.227.080,00 | 1.362.120,00     | 161,1      | 1,61  |
| Urea              | 138,88                   | 144,29 | 19,87  | 3.576.600,00  | 2.221.339,00 | 1.355.261,00     | 161,0      | 1,61  |
| Nitro Xtend       | 138,59                   | 143,57 | 19,71  | 3.547.800,00  | 2.202.678,00 | 1.345.122,00     | 161,0      | 1,61  |
| N - Force         | 137,44                   | 144,06 | 19,65  | 3.537.000,00  | 2.388.764,00 | 1.148.236,00     | 148,0      | 1,48  |
| Perlka            | 137,55                   | 141,58 | 19,35  | 3.483.000,00  | 2.967.665,00 | 515.335,00       | 117,0      | 1,17  |
| Last - N          | 138,19                   | 136,09 | 18,73  | 3.371.400,00  | 2.128.332,00 | 1.243.068,00     | 158,4      | 1,58  |
| Agrocote          | 139,61                   | 134,25 | 18,63  | 3.353.400,00  | 2.156.999,00 | 1.196.401,00     | 155,5      | 1,55  |
| Sulfato<br>Amonio | 138,37                   | 133,37 | 18,44  | 3.319.200,00  | 2.207.671,00 | 1.111.529,00     | 150,3      | 1,50  |
| Testigo           | 137,88                   | 115,96 | 15,96  | 2.872.800,00  | 1.843.836,00 | 1.028.964,00     | 155,81     | 1,56  |

**Tipo de cambio: 540,00 ¢ / \$**

Figura 6. Utilidad económica (¢) de los fertilizantes nitrogenados en el ensayo. Promedio de tres cosechas. Turrialba, 2015.



Desde el punto de vista estadístico, los resultados obtenidos con los mejores fertilizantes nitrogenados (Nutran, Urea + Azufre y Urea), mostraron que el comportamiento productivo alcanzado, no presentó diferencias estadísticas significativas con respecto a los fertilizantes de liberación lenta y controlada, tal como se observa en la tercera cosecha (cuadro 5). La única diferencia estadística significativa que se encontró fue entre todos los fertilizantes evaluados y el tratamiento testigo, el cual no llevó aplicaciones de nitrógeno. Por otro lado, es importante destacar que los rendimientos agroindustriales obtenidos en las tres cosechas fueron altos. A nivel comercial, es poco frecuente en la zona este comportamiento. Significa que la variedad B77-95 utilizada en el ensayo, se adaptó bien a las condiciones edáficas y climáticas del lugar.

Lo expresado anteriormente también repercutió de manera positiva en el análisis económico practicado (cuadro 7, figura 6), pues se obtuvieron indicadores económicos elevados tanto en los fertilizantes convencionales (utilidad,

rentabilidad y relación beneficio costo), como en los de liberación lenta y controlada. El fertilizante Perlka fue el que expresó los indicadores económicos más bajos de todos los fertilizantes evaluados, incluso mostró resultados económicos muy inferiores al tratamiento testigo sin nitrógeno, según lo muestran la figura 6 y el cuadro 7. La utilidad neta obtenida en este tratamiento fue de quinientos quince mil trescientos treinta y cinco colones con 00/100 (¢515.335,00), la rentabilidad de un 117 % y la relación beneficio costo de 1,17. Lo anterior se debe a que el costo de fertilización por hectárea con este tratamiento fue el más caro de todos (¢1.001.251,26 / ha, incluyendo la fertilización adicional), seguido por el N-Force con un costo de fertilización por hectárea de ¢400.029,63.

Por el contrario, el grupo de los fertilizantes convencionales que expresaron los mejores rendimientos agroindustriales (t azúcar / ha), igualmente lo hicieron con los indicadores económicos mencionados (figura 6, cuadro 7). Cabe destacar que el fertilizante Nitro Xtend, la Urea + Azufre y la Urea granulada, presentaron la misma rentabilidad de 161% y 1,61 en la relación beneficio costo , respectivamente. Los indicadores muestran valores absolutos altos, pues tal como se mencionó anteriormente los rendimientos agroindustriales fueron elevados.

A la luz de los comentarios realizados, se infiere que es necesario una cuarta cosecha en este ensayo para esperar que se definan tendencias desde el punto de vista productivo y económico. El costo del fertilizante, juega un papel importante en su empleo y aceptación del mismo, pues la rentabilidad, utilidad y beneficio costo fueron sensibles al mismo.

### **Conclusiones**

1. Los fertilizantes nitrato de amonio (nutran), urea + azufre y la urea granulada, alcanzaron los mejores rendimientos agroindustriales (tm azúcar / ha), comparados con los fertilizantes de liberación lenta y controlada, con respecto al promedio de las tres cosechas, aunque a nivel del tercer corte, no existieron diferencias estadísticas entre ambos grupos.
2. El fertilizante Nitro Stend de liberación controlada fue el mejor del segundo grupo (no convencionales) con respecto a la variable rendimiento agroindustrial (t azúcar / ha) y obtuvo indicadores económicos iguales a la Urea + Azufre y la Urea granulada.
3. En esta investigación se demostró que costos altos de los tratamientos, se reflejaron en indicadores económicos bajos. Por tanto, aquellas fuentes no convencionales que superaron en costo por hectárea a la fuente tradicional más usada en la zona, es decir, al nitrato de amonio, no tienen viabilidad económica, puesto que este fue uno de los mejores en productividad.

4. El fertilizante Perlka y N-Force fueron los productos nitrogenados no convencionales que mostraron el costo por hectárea más alto, respectivamente 1.528,6 y 519,8 dólares por hectárea, razón por la cual este comportamiento hizo que de manera similar, la utilidad económica fuera la más baja.
5. Desde el punto de vista económico y con base al promedio de las tres cosechas realizadas respecto a la variable producción de azúcar (tm azúcar/ha), el grupo de los fertilizantes no convencionales no muestra una clara ventaja competitiva, con los productos tradicionales, a pesar de que se dice que tienen un objetivo importante de mitigar la acumulación de GEI en la atmósfera, tal como se plantea en un trabajo realizado por Jimenez (2012).
6. Es probable que las condiciones de clima durante el período de las tres cosechas del experimento fueran favorables al cultivo, lo cual redujo el impacto positivo de los fertilizantes no convencionales.
7. Conviene realizar una cuarta cosecha en esta investigación, para que los resultados de las fuentes nitrogenadas tradicionales y no convencionales, consoliden las tendencias mostradas hasta el momento.

#### **Literatura citada**

Bertsch, F. 2013. Criterios para afinar recomendaciones de dosis de fertilización. In Curso de Capacitación Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), (2, 2013, San José, CR). Charla en Power Point.

Chaves, SM. 1997. El Nitrógeno y la Caña de Azúcar. In Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), (11, 1997, San Carlos, CR). Memoria, Ed. Saenz, CE. San Carlos, CR. p. 39-65.

Jiménez, PG. 2012. Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: Caña de azúcar (en línea). Consultado el 07 jul. 2015. Disponible en <http://www.laica.co.cr/biblioteca2/buscar.do> (Informe Final).

Montenegro, BJ; Chaves, SM. 2012. Estimación de la emisión Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) por región productora de caña de azúcar en Costa Rica: Primera Aproximación (en línea). In Congreso Tecnológico DIECA. V, Grecia, CR. Consultado el 07 jul. 2015. Disponible en <http://www.laica.co.cr/biblioteca2/buscar.co>.