

Respuesta productiva de la caña de azúcar a la interacción de diferentes dosis de N-K en la Región del Pacífico Sur.

Roberto Alfaro Portugal¹
Randall Ocampo Chinchilla²
Julio César Barrantes Mora³
Willy Valverde Araya⁴

Resumen

En la Región Sur, en un suelo Ultisol se estableció esta investigación, con el objetivo de evaluar en la caña de azúcar diferentes dosis de nitrógeno y potasio en interacción, enfocadas a obtener la mayor y más rentable producción de azúcar por hectárea. Para ello se establecieron parcelas de 52,5 m² cultivadas con la variedad LAICA 04-825 y distribuidas en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

Los tratamientos fueron, 4 dosis de nitrógeno (0, 50, 100 y 150 kg /ha) y las de potasio (0 100 150 y 200 kg K₂O /ha), las fuentes aplicadas fueron nitrato de amonio 33,5 % N y cloruro de potasio con 60 % K₂O. La aplicación de estos fertilizantes se realizó a los 2 y 4 meses, fraccionado en dos aplicaciones. Las demás labores de manejo del cultivo fueron realizadas en forma secuencial a las necesidades del mismo. Los resultados de cada una de las cinco cosechas fueron analizados estadísticamente (ANDEVA) y donde en dichos análisis no se presentaron diferencias estadísticas significativas en la interacción de ambos nutrimentos. En la primera cosecha la respuesta productiva en la producción de azúcar por hectárea no fue muy clara posiblemente debido a las bajas cantidades de potasio presentes en estos suelos, como lo indicaron los análisis químicos y a la baja respuesta tradicional de la caña de azúcar por parte del nitrógeno sobre todo en el ciclo de planta.

Conforme avanzaron las socas en las siguientes cosechas la respuesta productiva del potasio mejoró y fue determinante, presentando diferencias estadísticas significativas con las dosis de 200 kg por hectárea y donde evidentemente los tratamientos sin potasio fueron los responsables de la más baja producción de caña y azúcar (t /ha), por otra parte la respuesta del nitrógeno fue poco significativa en todas las cosechas principalmente entre las dosis de 50, 100 y 150 kg /ha.

Al analizar la rentabilidad de los diferentes tratamientos tomando como base los valores promedios productivos de azúcar (t/ha) y los costos variables proporcionados por un avío de la

¹ Ingeniero Agrónomo. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar DIECA-LAICA. Jefe de Programa Agronomía. Tel. (506) 24-94-11-29/24-94-75-55. E-mail: ralfaro@laica.co.cr.

² Ingeniero Agrónomo. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar DIECA-LAICA. Asistente Programa Agronomía. Tel. (506) 24-94-11-29/24-94-75-55. E-mail: rocampo@laica.co.cr.

³ Ingeniero Agrónomo. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar DIECA-LAICA. Coordinador Región Pérez Zeledón. Tel. (506) 24-94-11-29/24-94-75-55. E-mail: jbarrantes@laica.co.cr.

⁴ Ingeniero Agrónomo, funcionario de **CoopeAgri El General R.L.** Jefe Departamento Agrícola. Pérez Zeledón, Costa Rica. E-mail: wivalverde@coopeagri.co.cr. Teléfono (506) 27-38-2284.

Región Sur, se presentaron como los tratamientos más rentables en orden creciente los que se fertilizaron con 100,50 y 150 kg N todos con 200 kg K₂O. Sin embargo al analizar en cada una de las cinco cosechas la rentabilidad de estos tratamientos, se logró obtener un mayor beneficio económico, si el nitrógeno se aplica desde la siembra hasta la segunda soca con 50 kg de N /ha, y en las socas sucesivas se incrementa la dosis a 100 kg N/ha.

Introducción.

En todos los cultivos el balance en la fertilización es absolutamente esencial para optimizar la productividad y en el caso de la de la caña de azúcar, la relación adecuada entre el nitrógeno y el potasio es sumamente importante para lograr altos rendimientos industriales y una buena producción de caña.

El papel del nitrógeno en las plantas es determinante en la producción, por su respuesta directa e inmediata sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo y como consecuencia por el aporte de aminoácidos, proteínas, aminos, amidas, amino azúcares, nucleótidos, purinas, pirimidinas, alcaloides, coenzimas, vitaminas, pigmentos y moléculas de clorofila, estructura molecular de ácidos nucleicos (ADN y ARN) y citocromos según Chaves 2016^a. Por otro lado, el potasio promueve principalmente la producción de sacarosa, y como consecuencia ayuda en la recuperación de esta en la fábrica, pero también interviene en muchas otras funciones importantes para la planta, como por ejemplo en la formación de la estructura celular, en la asimilación de carbono, la fotosíntesis, la síntesis de proteína, formación de almidón, translocación de proteínas, la economía del uso del agua y el desarrollo normal de la raíz.

El potasio por su parte según Chaves 2016, participa en la formación y neutralización de ácidos orgánicos, además, juega un papel muy importante en el balance entre la formación, acumulación y consumo de azúcares por la planta durante el desarrollo vegetativo. En la caña de azúcar, se presenta un importante vínculo entre el nitrógeno y el potasio al presentar ambos nutrientes incrementos significativos en la producción de caña y concentración de azúcar. Esta importante relación se da gracias a la fuerte acción de la enzimas hidrolíticas como la invertasa ácida – neutra, encargadas de romper los disacáridos en monosacáridos indispensables en promover el crecimiento y la maduración en la caña de azúcar. También esta acción enzimática mejora la

absorción y el transporte del nitrógeno especialmente en forma de NO_3 y aminoácidos solubles en las raíces y dentro de la planta.

Afirma Chaves 2017 que existe por lo tanto una sinergia importante muy positiva entre el nitrógeno y el potasio, sin embargo cationes como el NH_4 y el K^+ al ser monovalentes generan un efecto antagónico, porque entre más alta sea la cantidad aplicada de NH_4 en el suelo, menor será la absorción de K^+ por las raíces y viceversa; por el contrario, el K^+ mejora la absorción y transporte de nitrógeno en forma de NO_3 por las raíces.

De acuerdo a Anderson y Bowen 1994, para obtener altos rendimientos y buena calidad de jugos en la caña de azúcar se requiere de igual o mayor cantidad de potasio que de nitrógeno.

En la mayoría de los países productores de caña la relación recomendada de estos dos nutrimentos debe ser de 2:3, 2:2 ó 2:1. Sin embargo muchos productores todavía no aplican la cantidad adecuada de potasio en relación a la cantidad de nitrógeno que utilizan. Esto ocasiona que la eficiencia del fertilizante nitrogenado que se está aplicando se vea disminuida y además la producción de sacarosa sea menor por tonelada de caña producida.

El manejo adecuado de la fertilidad de suelos con limitaciones nutricionales como los Ultisoles, es un aspecto básico dentro del manejo del cultivo que se debe tomar en cuenta, si se pretende obtener índices de rendimiento y productividad agroindustrial elevados y que conlleven a la vez una mayor competitividad de las empresas cañeras de la Zona Sur.

La sostenibilidad productiva del cultivo de la caña de azúcar y la búsqueda de nuevas y mejores formas para incrementar los índices de rendimiento agroindustrial, son aspectos prioritarios que deben ser constantemente revisados y estudiados. Por este motivo el conocer las exigencias nutricionales de las nuevas variedades y su respuesta productiva de los principales nutrimentos es técnicamente un asunto de alta prioridad.

Es por este motivo es importante conocer de manera independiente y en forma asociada o en interacción el accionar del nitrógeno y el potasio en la caña de azúcar en un suelo Ultisol donde ambos elementos son deficitarios, por este motivo se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivos:

- Determinar las mejores dosis del nitrógeno y potasio interactuando entre sí, para lograr los mayores rendimientos agroindustriales del cultivo en un suelo Ultisol.
- Valorar la rentabilidad de cada una de las interacciones, que permitan el mayor beneficio económico del cultivo.

Materiales y Métodos.

El ensayo se estableció en finca El Porvenir en San Pedro de Pérez Zeledón y el diseño utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas utilizadas fueron de 5 surcos de 7 metros de largo para un área total por parcela de 52,5 m². Las dosis de nitrógeno, fueron suministradas por el fertilizante Nutran (nitrato de amonio) y como fuente de potasio (K₂O) se utilizó cloruro de potasio. Cuadro 1.

La variedad cultivada fue LAICA 04 825 y al momento de la siembra se colocó al fondo del surco la fórmula 11-52-0 en dosis de 288,46 kg / ha para suplir al cultivo el equivalente a 150 kg de P₂O₅ /ha, con esta fórmula y cantidad se aplicó 31,73 kg de nitrógeno por ha, adicionados al momento de la siembra en todos los tratamientos incluyendo al testigo sin nitrógeno. Esta situación se dio, ante la imposibilidad de disponer en el país del fertilizante triple superfosfato. Todas las cantidades de nitrógeno y potasio presentes en el Cuadro1, fueron fraccionadas en dos aplicaciones, cada una con el 50 %. La mitad de la dosis a evaluar de potasio se agregó también a la siembra utilizando cloruro de potasio KCL (60 %). En la segunda fertilización del cultivo aproximadamente 3 meses después de la siembra se depositó la otra mitad de la dosis de nitrógeno y potasio utilizando las mismas fuentes.

En las socas o retoños se añadió a las parcelas las cantidades de nitrógeno y potasio indicadas también en el Cuadro 1, utilizando las fuentes de Nutran (33,5 % N) y cloruro de potasio (60 % K₂O), fraccionadas en dos aplicaciones

Cuadro 1.
Tratamientos utilizados en la evaluación de la interacción de nitrógeno y potasio en la Región Sur.

# tratamientos	Kg / ha Nitrógeno	Kg / ha Potasio (K ₂ O)
1	0	0
2	0	100
3	0	150
4	0	200
5	50	0
6	50	100
7	50	150
8	50	200
9	100	0
10	100	100
11	100	150
12	100	200
13	150	0
14	150	100
15	150	150
16	150	200

En el cuadro 2 y 3 se presenta la condición de fertilidad del suelo donde se estableció el ensayo, observándose condiciones de una alta acidez típica de estos suelos y por lo tanto bajos contenidos de bases cambiables entre ellas el potasio, por lo que es de esperar una respuesta positiva a la aplicación de este elemento en general. En las relaciones catiónicas, se observa un desbalance por una posible deficiencia de magnesio en este suelo.

Cuadro 2.

Resultado del análisis químico de suelo realizado previo al establecimiento del ensayo.

	cmol(+) / l					mg / l				
	Ph	Acidez	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn
Valores	4,3	1,92	0,89	0,16	0,11	5	262	4	2,4	3
óptimo	5,5 - 6,5	0,3	4 - 20	1 - 10	0,2 - 15	10 - 40	10 - 50	1 - 20	3 - 15	5 - 50

Cuadro 3.

Resultado de las relaciones catiónicas del suelo previo al establecimiento del ensayo.

Valores	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	Ca + Mg / K
Relación	5,56	8,09	1,45	2,34
Optimo	2 - 5	5 - 25	2,5 - 15	10 - 40



En el cuadro 4 se presentan los datos meteorológicos de temperatura, y precipitación que han imperado durante los años en que se ha llevado a cabo este estudio y de acuerdo a registros de la Región se puede afirmar que estas condiciones climáticas son normales.

Cuadro 4.
Características climáticas prevalecientes durante los años del estudio.

	Temperatura °C			
Año	Minima	Media	Máxima	Precipitación mm
2014	19,64	24,76	33,5	2743,67
2015	18,6	23,6	36,6	2451,60
2016	14,4	23,8	36,8	2537,80
2017	15,4	23,3	34,5	3194,40
Promedio	17,01	23,865	35,35	2731,87

Valores climáticos tomados de estación ubicada en finca “El Guapinol”

Resultados y Discusión.

Primera Cosecha.

En el Cuadro 5 se presenta el resultado del análisis de varianza de la primera cosecha efectuada a este estudio, observándose en dicho cuadro la ausencia de diferencias estadísticas significativas en la interacción de todos los tratamientos evaluados y en las variables agroindustriales. Con la separación de los efectos por parte de los nutrimentos nitrógeno y potasio, se presentaron diferencias estadísticas significativas con el potasio en la variable rendimiento industrial, y donde según la prueba de medias (Tukey 5 %) con la dosis de 200 kg /ha de K₂O se alcanzó el mayor rendimiento de 128,18 kg azúcar/ t. Las diferencias estadísticas obtenidas por la aplicación de nitrógeno no fueron significativas en ninguna de las variables analizadas.

A pesar de no encontrarse diferencias estadísticas significativas en la interacción de estos nutrimentos dada su importancia para el cultivo, es importante analizar dichos resultados, ya que algunas de las diferencias entre tratamientos superaron las 4 toneladas de azúcar y más de 20

toneladas de caña por hectárea, además de que la probabilidad estadística en este rubro fue muy alta al 92 %.

Cuadro 5.
Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables agroindustriales en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur (Primera cosecha).

ANDEVA		PUREZA							
Fuente variación	G.L.	CM	P(f)	Kg az/t		t caña/ha		t az/ha	
				CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Repeticiones	2	21,52	0,02	197,43	0,01	1.514,25	0	28,58	0
Nitrógeno(A)	3	0,02	1	9,73	1	105,96	0,3	2,04	0,34
Potasio(B)	3	6,74	0,26	109,53	0,04	117,49	0,26	2,61	0,23
Interacción N*K	9	3,67	1	14,05	1	166,03	0,08	3,2	0,1
Error	30	4,79		36,32		83,77		1,74	
Total	47	239,98		1.968,79		7.706,31		152,18	
% CV		2,48		4,8		7,79		8,96	
Nitrógeno		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
0 kg Nitrógeno		88,08		126,27		114,87		14,51	
50 kg Nitrógeno		88,17		125,2		119,81		15,01	
100 kg Nitrógeno		88,17		124,33		114,95		14,3	
150 kg Nitrógeno		88,17		126,12		120,29		15,17	
Potasio		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
0 kg Potasio (K ₂ O)		88,58		127,27	ab	113,56		14,47	
100 kg Potasio(K ₂ O)		87,08		121,39	b	119,41		14,52	
150 kg Potasio(K ₂ O)		88,17		125,08	ab	116,45		14,55	
200 kg Potasio(K ₂ O)		88,75		128,18	a	120,51		15,44	
Interacción(N K)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
0 N, 0 K ₂ O		88,00		125,5		104,13		13,07	
0 N, 100 K ₂ O		86,33		123,65		121,71		15,01	
0 N, 150 K ₂ O		89,00		126,74		122,92		15,60	
0 N, 200 K ₂ O		89,00		129,22		110,73		14,35	
50 N, 0 K ₂ O		87,67		125,85		117,78		14,87	
50 N, 100 K ₂ O		87,67		123,57		123,68		15,30	
50 N, 150 K ₂ O		88,00		124,32		113,91		14,16	
50 N, 200 K ₂ O		89,33		127,07		123,87		15,71	
100 N, 0 K ₂ O		88,67		127,47		117,14		14,94	
100 N, 100 K ₂ O		88,67		119,29		115,62		13,89	
100 N, 150 K ₂ O		87,33		124,79		103,24		12,78	
100 N, 200 K ₂ O		88,00		125,79		123,81		15,57	
150 N, 0 K ₂ O		90,00		130,28		115,18		15,02	
150 N, 100 K ₂ O		85,67		119,06		116,63		13,88	
150 N, 150 K ₂ O		88,33		124,49		125,72		15,65	
150 N, 200 K ₂ O		88,67		130,66		123,62		16,14	

En la figura 1 se aprecia el resultado de la interacción del nitrógeno y el potasio sobre la producción de azúcar (t/ha), observándose en general una tendencia productiva poco clara, debido a que los mayores incrementos productivos fueron muy cambiantes entre las dosis de nitrógeno y potasio.

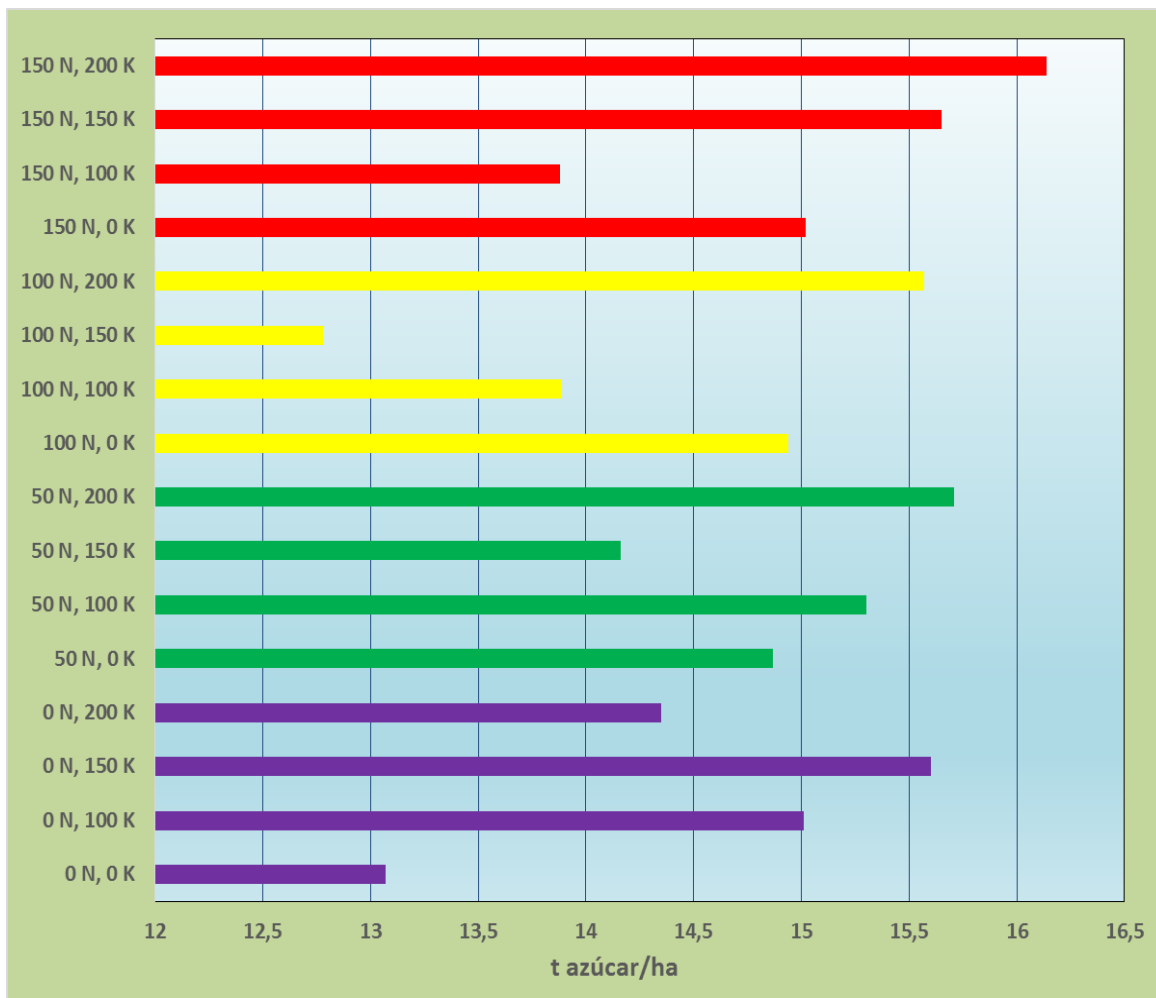


Figura 1. Resultados en la producción de azúcar (t /ha) en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. (Primera cosecha)

Sin embargo se logra visualizar un estrecho ligamen entre el nitrógeno y el potasio, ya que al incrementar las dosis de nitrógeno en 0,50 ,100 y 150 kg de nitrógeno por hectárea se alcanza una tendencia productiva muy positiva y sostenible cuando se aplica al cultivo las mayores dosis de potasio (200 kg K₂O /ha).

Esta irregular claridad en los resultados esperados en esta cosecha se justifica posiblemente debido a la poca respuesta obtenida tradicionalmente por parte del nitrógeno en el ciclo planta. También el potasio esta propenso a la fijación por los coloides del suelo así lo afirma García 1988, situación que limita su disponibilidad a la planta, sobre todo cuando se aplican dosis bajas. Para conocer en detalle el efecto de estos nutrientes sobre la producción de azúcar, se aislaron los efectos de ambos elementos, los cuales se presentan en las siguientes figuras.

En la Figura 2 se presenta el resultado en la producción de azúcar (t/ha), donde se observa que al incrementar las dosis de potasio, no se presentaron diferencias productivas importantes hasta que se aplicó la mayor cantidad de potasio 200 kg/ha, superando a los demás tratamientos en más de una tonelada de azúcar por hectárea.

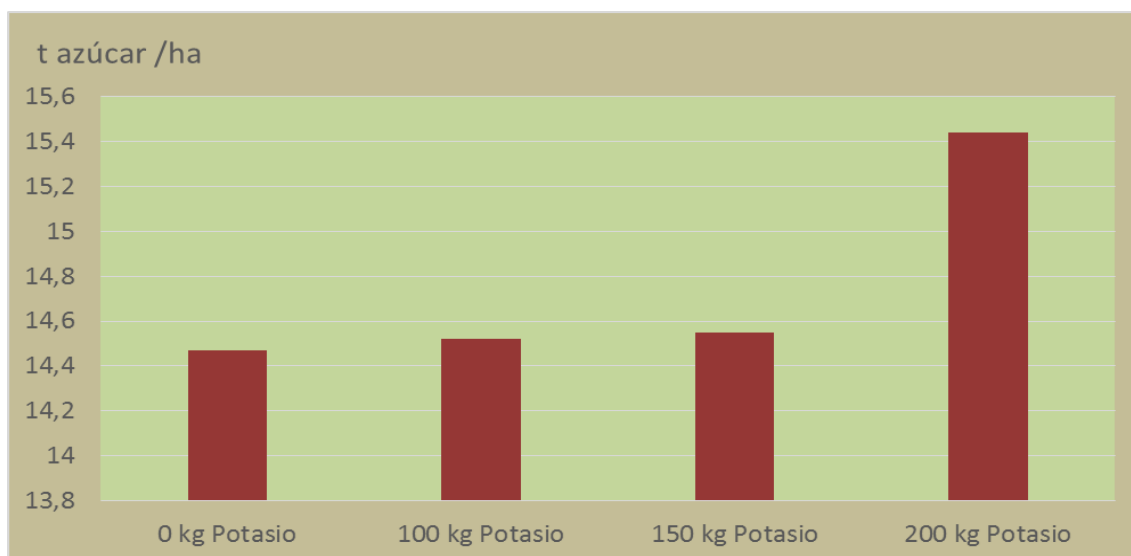


Figura 2. Resultados en la producción de azúcar (t / ha) en respuesta a las diferentes dosis potasio (Primera cosecha).

Por su parte con el incremento en las dosis de nitrógeno, no se lograron diferencias productivas importantes como se observa en la figura 3, donde los mejores tratamientos desde

el punto de vista técnico – económico fueron con la aplicación de 0 y 50 kg N /ha.

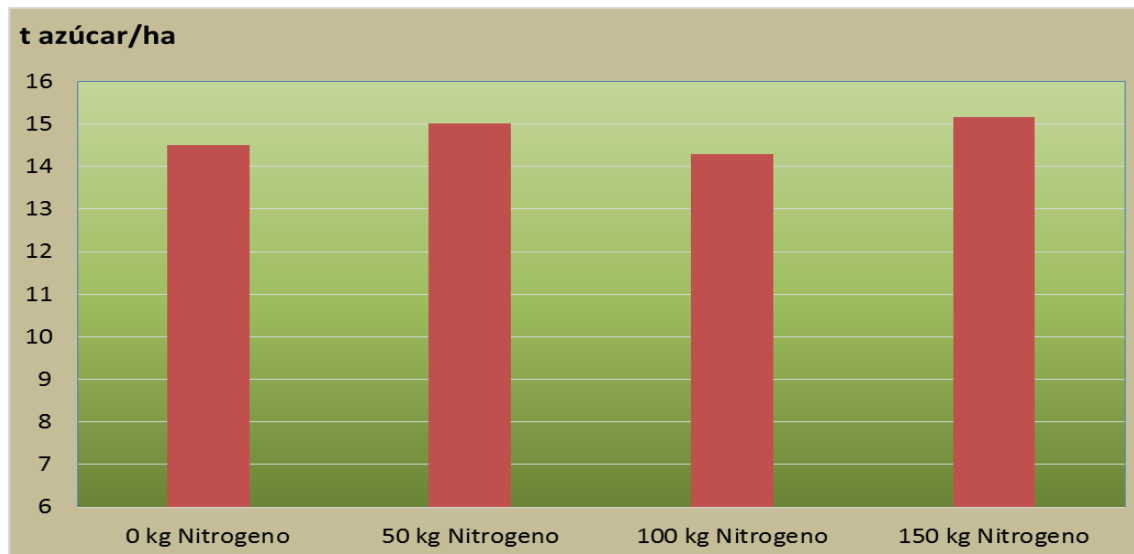


Figura 3. Resultados en la producción de azúcar (t / ha) en respuesta a las diferentes dosis nitrógeno (Primera cosecha).

SEGUNDA COSECHA.

En el Cuadro 6 se presenta el resultado del análisis de varianza de la segunda cosecha efectuada a este estudio, observándose en dicho cuadro la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y variables evaluadas, con excepción de las dosis de potasio, en las variables producción de caña y azúcar (t/ha).

Con la aplicación de la prueba de medias Tukey 5 % se presentaron diferencias con la aplicación de 150 y 200 kg de K_2O /ha, pero sin mostrar ambas dosis, diferencias estadísticas significativas con el tratamiento de 100 kg de K_2O /ha.

Es importante recordar que en la primera cosecha, únicamente se presentaron diferencias estadísticas con este nutrimento en la variable rendimiento industrial (kg az/t caña), donde la mejor dosis fue de 200 kg K_2O /ha.

En la figura 4 se presenta el resultado de la producción de azúcar (t/ ha) en la interacción del nitrógeno y el potasio, observándose en la misma lo determinante de la relación adecuada de estos dos nutrimentos para la obtención de rendimientos satisfactorios. Como se visualiza en



Cuadro 6.

Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables agroindustriales en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. Segunda cosecha.

ANDEVA		% Pureza		Rend.Ind		t caña /ha		t az/ha	
Fuente variación	G.L.	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Repeticiones	2	4,16	0,27	16,43	1	698,17	0	14,26	0,01
Nitrógeno(A)	3	2,37	1	1,97	1	176,5	0,16	2,95	0,34
Potasio(B)	3	1,74	1	10,02	1	783,05	0	10,4	0,01
Interacción N*K	9	3,87	0,3	59,49	0,38	131,42	0,24	2,71	0,41
Error	30	3,07		53,37		95,93		2,54	
Total	47	147,44		2.205,33		8.335,54		169,16	
% CV		1,94		5,74		8,76		11,2	
Nitrógeno		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
0 kg Nitrógeno		90,19		127		106,83		13,55	
50 kg Nitrógeno		90,18		127,72		110,59		14,16	
100 kg Nitrógeno		90,96		127,52		114,57		14,59	
150 kg Nitrógeno		89,93		126,87		115		14,61	
Potasio		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
0 kg Potasio (K ₂ O)		90,74		128,3		101,03	b	12,98	b
100 kg Potasio(K ₂ O)		90,48		127,79		110,02	ab	14,07	ab
150 kg Potasio(K ₂ O)		90,19		126,38		117,46	a	14,84	a
200 kg Potasio(K ₂ O)		89,85		126,65		118,48	a	15,02	a
Interacción(N K)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
0 N, 0 K ₂ O		90,65		131,01		101,4		13,30	
0 N, 100 K ₂ O		90,10		122,97		110,03		13,52	
0 N, 150 K ₂ O		90,45		129,05		115,43		14,86	
0 N, 200 K ₂ O		89,58		124,97		100,45		12,53	
50 N, 0 K ₂ O		91,10		128,53		99,05		12,78	
50 N, 100 K ₂ O		89,53		125,42		109,27		13,75	
50 N, 150 K ₂ O		90,75		127,9		109,71		14,05	
50 N, 200 K ₂ O		89,36		129,01		124,32		16,05	
100 N, 0 K ₂ O		92,54		131,34		99,17		13,00	
100 N, 100 K ₂ O		91,04		130,52		111,81		14,60	
100 N, 150 K ₂ O		90,77		126,24		122,92		15,55	
100 N, 200 K ₂ O		89,48		121,99		124,38		15,21	
150 N, 0 K ₂ O		88,68		122,31		104,51		12,81	
150 N, 100 K ₂ O		91,24		132,23		108,95		14,41	
150 N, 150 K ₂ O		88,80		122,33		121,78		14,90	
150 N, 200 K ₂ O		91,00		130,63		124,76		16,31	

Valores con igual letra no presentan diferencias estadísticas entre sí, según Tukey 5%.

dicha figura cuando no se agregó nitrógeno (0 kg/ha) la producción fue baja y más aún cuando se aumentó la dosis de potasio a 200 kg/ha. Por otra parte como se observa en dicha figura que, al incrementar las dosis nitrógeno la respuesta productiva del potasio fue creciente, principalmente cuando se aplicó 50 y 150 kg /ha de nitrógeno , alcanzándose la mayor producción de azúcar con el tratamiento de 150 kg N + 200 Kg K₂O.

Consecuentemente pareciera que en esta cosecha un adecuado balance entre estos nutrimentos se logró también con el tratamiento de 50 kg N y 200 kg de K₂O. Es importante recalcar a la luz de estos resultados, la importancia del potasio en la producción de azúcar en esta segunda cosecha, ya que como se observa todos los tratamientos sin potasio, presentaron los rendimientos más bajos aunque se aplicaran altas dosis de nitrógeno, confirmando con esto lo señalado por Chaves 2017, donde el potasio interviene gracias a su actividad enzimática en el transporte y aprovechamiento del NH³ y otros compuestos nitrogenados importantes para la planta.

La diferencia productiva obtenida en esta cosecha reveló que entre los tratamientos de 150 kg y 50 kg de N, ambos con 200 kg K₂O fue mínima, por lo que agregar 150 kg de N con 200 kg de K₂O pareciera no ser la mejor alternativa desde el punto de vista económico.

De acuerdo a las recomendaciones comerciales de fertilización ,el tratamiento de 100 kg N + 150 kg de K₂O se puede considerar para este estudio como el tratamiento testigo aplicado por los productores de la Región Sur ,el cual en esta cosecha presento rendimientos bastantes satisfactorios ,superado levemente por los mejores tratamientos mencionados con anterioridad.

Contrario a la primera cosecha las recomendaciones de ambos nutrimentos dadas a los productores de la región son las correctas al repercutir positivamente en la producción del cultivo.

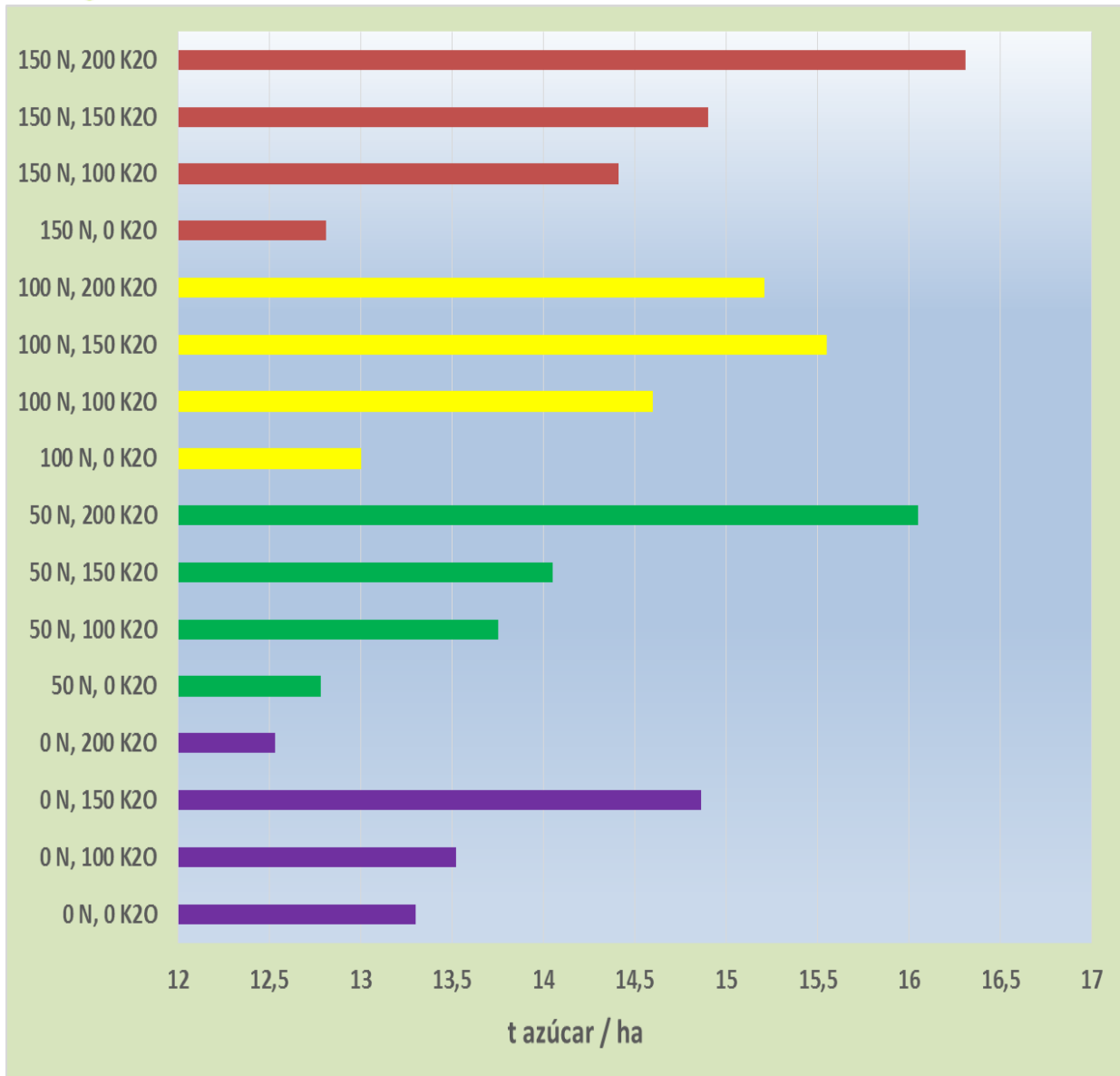


Figura 4. Resultados en la producción de azúcar (t/ha) en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur,(Segunda cosecha).



Cuadro 7.
Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables agroindustriales en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. (Tercera cosecha.)

ANDEVA		% Pureza		Kg az/t		t caña /ha		t az/ha	
Fuente variación	G.L.	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Repeticiones	2	8,92	0,36	237,43	0,02	196,52	0,22	0,34	1,00
Nitrógeno(A)	3	7,31	1,00	68,17	0,29	240,07	0,14	1,92	1,00
Potasio(B)	3	2,28	1,00	1,68	1,00	737,49	0,00	12,91	0,01
Interacción N*K	9	5,28	1,00	48,03	1,00	122,40	1,00	1,92	1,00
Error	30	8,31		51,95		123,54		3,02	
Total	47	343,35		2675,24		8133,48		152,88	
% CV		3,26		5,42		11,28		13,27	
Nitrógeno		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
0 kg Nitrógeno		88,90		135,93		92,86		12,58	
50 kg Nitrógeno		88,64		132,95		100,83		13,40	
100 kg Nitrógeno		87,18		130,09		103,11		13,42	
150 kg Nitrógeno		88,60		133,16		97,27		12,96	
Potasio		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
0 kg Potasio (K ₂ O)		88,82		132,98		86,84	b	11,56	b
100 kg Potasio(K ₂ O)		88,42		132,57		101,14	a	13,36	ab
150 kg Potasio(K ₂ O)		88,32		133,48		102,72	a	13,74	a
200 kg Potasio(K ₂ O)		87,76		133,10		103,37	a	13,71	a
Interacción(N K)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
0 N, 0 K ₂ O		88,51		136,17		83,17		11,32	
0 N, 100 K ₂ O		89,56		138,12		96,25		13,19	
0 N, 150 K ₂ O		88,17		132,74		104,64		13,91	
0 N, 200 K ₂ O		89,36		136,67		87,37		11,90	
50 N, 0 K ₂ O		89,27		136,28		92,00		12,54	
50 N, 100 K ₂ O		88,75		130,82		104,00		13,62	
50 N, 150 K ₂ O		88,40		132,85		97,71		12,99	
50 N, 200 K ₂ O		88,13		131,86		109,59		14,45	
100 N, 0 K ₂ O		88,65		128,74		91,62		11,80	
100 N, 100 K ₂ O		87,90		133,14		99,49		13,25	
100 N, 150 K ₂ O		88,16		133,44		107,81		14,43	
100 N, 200 K ₂ O		83,99		125,05		113,52		14,20	
150 N, 0 K ₂ O		88,83		130,73		80,57		10,56	
150 N, 100 K ₂ O		87,47		128,20		104,82		13,40	
150 N, 150 K ₂ O		88,56		134,87		100,70		13,61	
150 N, 200 K ₂ O		89,56		138,83		102,98		14,29	

Valores con igual letra no presentan diferencias estadísticas entre sí, según Tukey 5%.

TERCERA COSECHA.

En el Cuadro 7 se presenta el resultado del análisis de varianza de la tercera cosecha efectuada a este estudio, observándose en dicho cuadro, la presencia de diferencias estadísticas significativas solamente con las variables productivas de caña y azúcar (t/ha), en respuesta a los tratamientos con potasio, condición muy similar a lo ocurrido en la cosecha anterior, donde en la producción de caña las mejores dosis fueron 100,150 y 200 kg K₂O/ha, superando al testigo sin potasio en más de 14 t/ha, diferencia señalada como significativa según Tukey 5 %.

En la producción de azúcar (t/ha), la prueba de medias presentó diferencias estadísticas entre las dosis de 150 y 200 kg de K₂O /ha respecto al testigo (0 kg K₂O), sin ofrecer diferencias con el tratamiento en la dosis de 100 kg /ha.

En la Figura 5 se presenta el resultado de la producción de azúcar (t/ha), observándose en la misma nuevamente la importancia del potasio, ya que con excepción del testigo sin nitrógeno la producción de azúcar se incrementó en forma lineal al incrementar las dosis de este nutriente; por otra parte a diferencia de la primera cosecha el nitrógeno aparentemente es requerido para que la producción de azúcar sea sostenible.

Con los resultados de esta nueva cosecha, es posible afirmar que la respuesta al potasio se ha incrementado positivamente desde la primera cosecha, posiblemente en virtud de los aportes anuales de este nutriente al suelo, mejorando con ello, los contenidos y su disponibilidad en la planta. Esta buena respuesta, se ha reflejado al punto que estadísticamente hasta con 100 kg de este elemento por hectárea es suficiente para mantener rendimientos agroindustriales satisfactorios. Resulta nuevamente evidente la importancia que tiene el potasio para la caña de azúcar, sobre todo al superar ampliamente a las pocas exigencias del nitrógeno en estos suelos, donde el mejor tratamiento desde el punto de vista técnico-económico señaló en esta cosecha a la interacción con 50 kg N +200 kg K₂O /ha.

Tomando en consideración los buenos rendimientos de azúcar (t/ha) obtenidos con el tratamiento testigo comercial de 100 kg de N y 150 kg de K₂O por hectárea y al ser estas las dosis más recomendadas tradicionalmente a los productores en forma general, se confirma que las

investigaciones realizadas en el pasado con diferentes ambientes y variedades fueron bien fundamentadas.

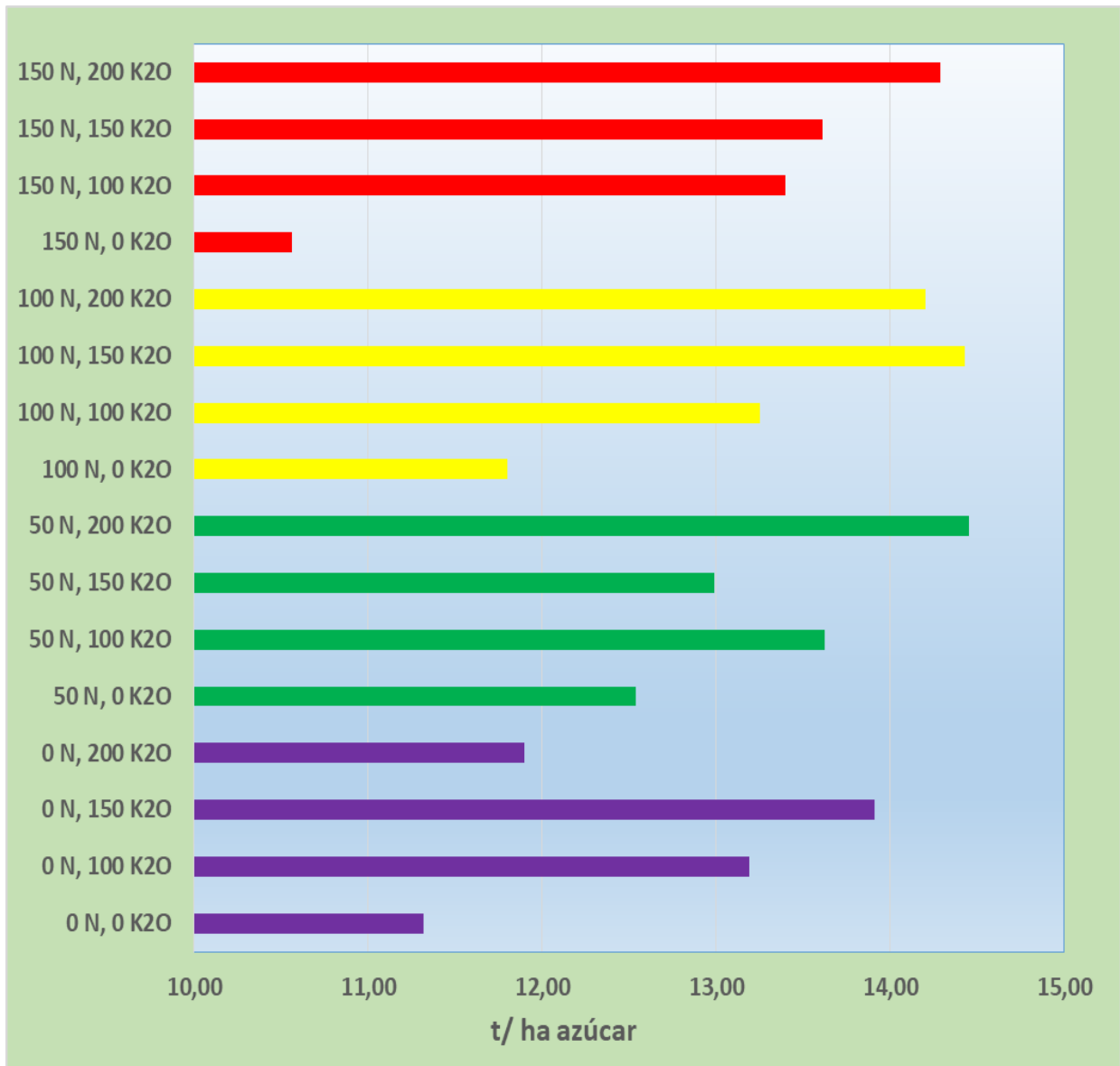


Figura 5. Resultados en la producción de azúcar (t/ha) en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. (Tercera cosecha).



CUARTA COSECHA.

En el Cuadro 8, se presenta el resultado del análisis de varianza de la cuarta cosecha, observándose en dicho cuadro diferencias estadísticas significativas en las variables productivas de caña y azúcar (t/ ha) y por primera ocasión con las dosis de nitrógeno. Según la prueba de medias Tukey 5 %, estas diferencias señalaron a los tratamientos con 50, 100 y 150 kg de N como las de mayor productividad respecto al testigo sin nitrógeno.

El potasio por su parte también presentó diferencias estadísticas significativas en casi todas las variables, sobresaliendo el porcentaje de pureza con la cual las dosis de 150 y 200 kg K₂O /ha, presentaron los valores más altos en esta variable y consecuentemente en el rendimiento industrial (kg azúcar/t caña).

Cuadro 8.
Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables agroindustriales en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. (Cuarta cosecha).

ANDEVA		% Pureza		Kg Az / t		t caña /ha		t az/ha	
Fuente variación	G.L.	CM	p(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Repeticiones	2	8,62	0,27	510,44	0	74,04	0,33	5,33	0,03
Nitrógeno(A)	3	5,72	1,00	83,91	0,14	350,05	0,00	3,58	0,07
Potasio(B)	3	15,51	0,08	353,91	0,00	991,90	0,00	22,46	0,00
Interacción N*K	9	16,65	0,02	85,08	0,07	69,08	0,40	2,02	0,20
Error	30	6,29		42,10		63,59		1,36	
Total	47	419,63		4363,13		6703,37		147,65	
% CV		3,00		5,95		9,96		13,26	
Nitrógeno		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
0 kg Nitrógeno		84,30		110,59		72,35	b	8,01	b
50 kg Nitrógeno		83,42		110,70		80,22	ab	8,92	ab
100 kg Nitrógeno		83,68		110,00		83,76	a	9,31	a
150 kg Nitrógeno		82,63		105,18		83,84	a	8,88	ab
Potasio		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
0 kg Potasio (K ₂ O)		82,10	ab	102,97	b	67,33	b	6,95	c
100 kg Potasio(K ₂ O)		83,11	ab	106,13	b	80,99	a	8,61	b
150 kg Potasio(K ₂ O)		84,62	a	113,94	a	88,78	a	10,12	a
200 kg Potasio(K ₂ O)		84,21	ab	113,42	a	83,08	a	9,44	ab
Interacción(N K)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
0 N, 0 K ₂ O		84,18		104,54		64,38		6,74	
0 N, 100 K ₂ O		85,45		113,34		75,36		8,56	
0 N, 150 K ₂ O		85,44		115,09		80,13		9,16	
0 N, 200 K ₂ O		82,12		109,39		69,52		7,60	
50 N, 0 K ₂ O		82,39		105,44		64,82		6,84	
50 N, 100 K ₂ O		84,54		111,48		85,84		9,58	
50 N, 150 K ₂ O		84,40		116,15		84,38		9,84	
50 N, 200 K ₂ O		82,34		109,73		85,84		9,40	
100 N, 0 K ₂ O		83,33		106,33		69,78		7,43	
100 N, 100 K ₂ O		79,78		98,63		80,57		7,98	
100 N, 150 K ₂ O		84,79		114,72		92,57		10,75	
100 N, 200 K ₂ O		86,83		120,32		92,13		11,08	
150 N, 0 K ₂ O		78,49		95,59		70,35		6,78	
150 N, 100 K ₂ O		82,65		101,06		82,16		8,31	
150 N, 150 K ₂ O		83,83		109,79		98,03		10,72	
150 N, 200 K ₂ O		85,56		114,26		84,83		9,69	

En la producción de caña y azúcar (t/ha), la dosis de 150 y 200 kg de K_2O presentaron la mayor productividad, reafirmando este resultado a lo obtenido en las cosechas anteriores.

Posiblemente con la declinación natural productiva que se da en el cultivo a partir de la cuarta cosecha, las necesidades nutricionales cambian, así se aprecia en la Figura 6, donde se presenta el resultado de interactuar el nitrógeno y potasio en la producción de azúcar (t/ha), observándose en la misma como los tratamientos sin nitrógeno y sin potasio o con bajas cantidades de los mismos presentaron una importante reducción en esta cosecha respecto a la cosecha anterior. El mejor tratamiento como se observa en dicha figura se logró con la aplicación 100 kg de nitrógeno por hectárea y con 150 o 200 Kg de K_2O /ha.

Este resultado revela y confirma como se mencionó la importancia de la interacción de estos dos nutrimentos para la caña de azúcar, en la reacción 2:3 o 2:4, confirmándolo señalado en este aspecto por Anderson y Bowen 1994, los cuales indican que “para obtener altos rendimientos y buena calidad de jugos, la planta de caña de azúcar requiere de igual o mayor cantidad de potasio que de nitrógeno”

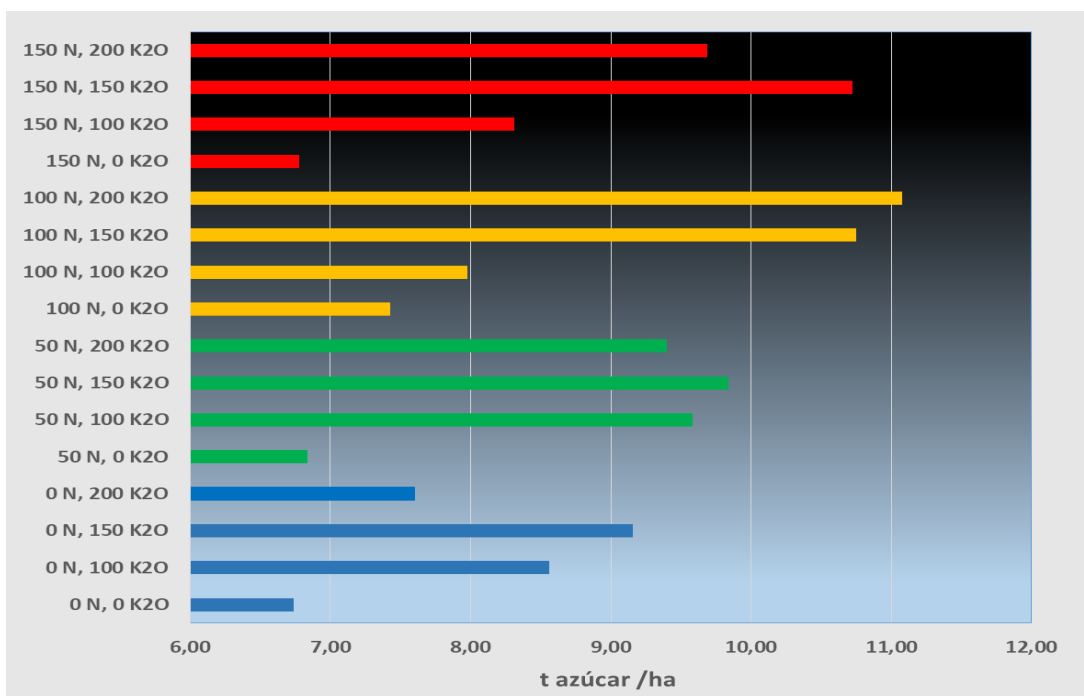


Figura 6. Producción de azúcar (t/ha) aportada por los diferentes tratamientos de nitrógeno y potasio en interacción con diferentes dosis en la Región Sur (Cuarta cosecha).

QUINTA COSECHA.

En el cuadro 9 se presenta el resultado del análisis de varianza aplicado a los resultados de la quinta cosecha de este estudio, observándose diferencias estadísticas significativas al 2 y 1 % respectivamente en las variables producción de caña y azúcar (t /ha) entre las diferentes dosis de nitrógeno evaluadas. De acuerdo a la prueba de medias Tukey 5% los menores rendimientos productivos se presentaron en ambas variables con el testigo sin nitrógeno, sin presentar diferencias estadísticas con la dosis de 50 y 100 kg N en la producción de caña y azúcar(t/ha) respectivamente.

En el caso del potasio de nuevo en esta cosecha se presentaron diferencias altamente significativas en las variables: % Pureza, Rendimiento industrial (kg Azúcar /t caña), y producción de caña y azúcar (t/ha). Según la prueba de medias Tukey 5%, dichas diferencias fueron significativas entre las diferentes dosis de este nutrimento (100,150y 200 kg K₂O) y el tratamiento testigo sin potasio (0 kg K₂O /ha).

Se observa en el mismo Cuadro 9, una relación directa en las variables % pureza y rendimiento industrial (kg az/t) con las dosis crecientes de potasio (100, 150 y 200 kg de K₂O /ha), las cuales fueron determinantes para lograr una producción creciente de azúcar en esta cosecha. Al igual que en las cosechas anteriores no se presentó diferencias estadísticas significativas en la interacción entre las dosis de nitrógeno y potasio evaluados.

En la figura 7 se presenta el resultado de la interacción de estos dos nutrimentos en la variable producción de azúcar (t / ha), observándose primero la respuesta del cultivo a la aplicación de potasio, al comparar todos los tratamientos sin potasio (0 kg K₂O) independientemente de las dosis de nitrógeno aplicadas con los demás tratamientos.

En esta quinta cosecha los tratamientos con mayor producción de azúcar (t/ha) fueron 50 kg N + 150 Kg K₂O con valores muy similares a los tratamientos de 100 kg N + 150 kg K₂O y 150 kg N + 200 kg K₂O , donde por aspectos económicos indudablemente la dosis más baja de nitrógeno es la de mayor rentabilidad.

Queda por lo tanto muy claro que el potasio más que el nitrógeno en la interacción es el responsable directo de las diferencias en producción de azúcar por hectárea obtenidas en esta cosecha, ya que al comparar por ejemplo todos los tratamientos que contienen 150 kg de potasio con las dosis crecientes de nitrógeno 0,100, 150 y 200 kg, es factible apreciar que el aporte del nitrógeno fue mínimo.

Con respecto al tratamiento similar al utilizado por los productores de la región (100 kg N + 150 Kg K₂O) es importante indicar que con base en los resultados obtenidos, se debe validar la reducción del nitrógeno de 100 kg a 50 kg, con el objetivo de reducir costos y obtener mayores dividendos en esta última cosecha



Cuadro 9.
Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables agroindustriales en la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la Región Sur. (Quinta cosecha).

ANDEVA		% Pureza		Rend.Ind		t caña /ha		t az/ha	
Fuente variación	G.L.	CM	p(f)	CM	p(f)	CM	p(f)	CM	p(f)
Repeticiones	2	0,74	1	12,19	1	182,75	0,09	3,16	0,1
Nitrógeno(A)	3	1,65	1,00	40,40	0,39	276,62	0,02	5,43	0,01
Potasio(B)	3	8,14	0,08	222,78	0,00	822,03	0,00	18,26	0,00
Interacción N*K	9	1,82	1,00	19,34	1,00	63,31	1,00	1,38	0,42
Error	30	3,29		38,45		68,87		1,30	
Total	47	145,83		2141,48		6297,42		128,86	
% CV		1,99		4,91		11,71		12,71	
Nitrógeno		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
0 kg Nitrógeno		90,95		125,13		63,73	b	7,97	b
50 kg Nitrógeno		91,74		128,15		72,41	ab	9,30	a
100 kg Nitrógeno		90,97		124,38		74,05	a	9,22	ab
150 kg Nitrógeno		91,16		127,58		73,26	a	9,40	a
Potasio		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
0 kg Potasio (K ₂ O)		90,74	a	122,41	b	58,57	b	7,18	b
100 kg Potasio(K ₂ O)		90,77	a	124,34	b	73,73	a	9,18	a
150 kg Potasio(K ₂ O)		90,87	a	126,15	ab	76,54	a	9,65	a
200 kg Potasio(K ₂ O)		92,44	a	132,35	a	74,60	a	9,89	a
Interacción(N K)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
0 N, 0 K ₂ O		90,74		120,32		59,05		7,07	
0 N, 100 K ₂ O		90,29		125,74		68,57		8,64	
0 N, 150 K ₂ O		90,33		123,98		65,40		8,08	
0 N, 200 K ₂ O		92,43		130,48		61,90		8,09	
50 N, 0 K ₂ O		91,24		125,85		57,78		7,27	
50 N, 100 K ₂ O		91,19		124,87		73,97		9,25	
50 N, 150 K ₂ O		92,24		129,77		83,30		10,81	
50 N, 200 K ₂ O		92,30		132,12		74,60		9,88	
100 N, 0 K ₂ O		90,44		122,64		60,00		7,36	
100 N, 100 K ₂ O		90,51		118,95		75,87		9,03	
100 N, 150 K ₂ O		89,50		123,05		79,68		9,78	
100 N, 200 K ₂ O		93,45		132,89		80,64		10,70	
150 N, 0 K ₂ O		90,54		120,81		57,46		7,00	
150 N, 100 K ₂ O		91,11		127,79		76,51		9,79	
150 N, 150 K ₂ O		91,41		127,78		77,78		9,94	
150 N, 200 K ₂ O		91,58		133,92		81,27		10,88	

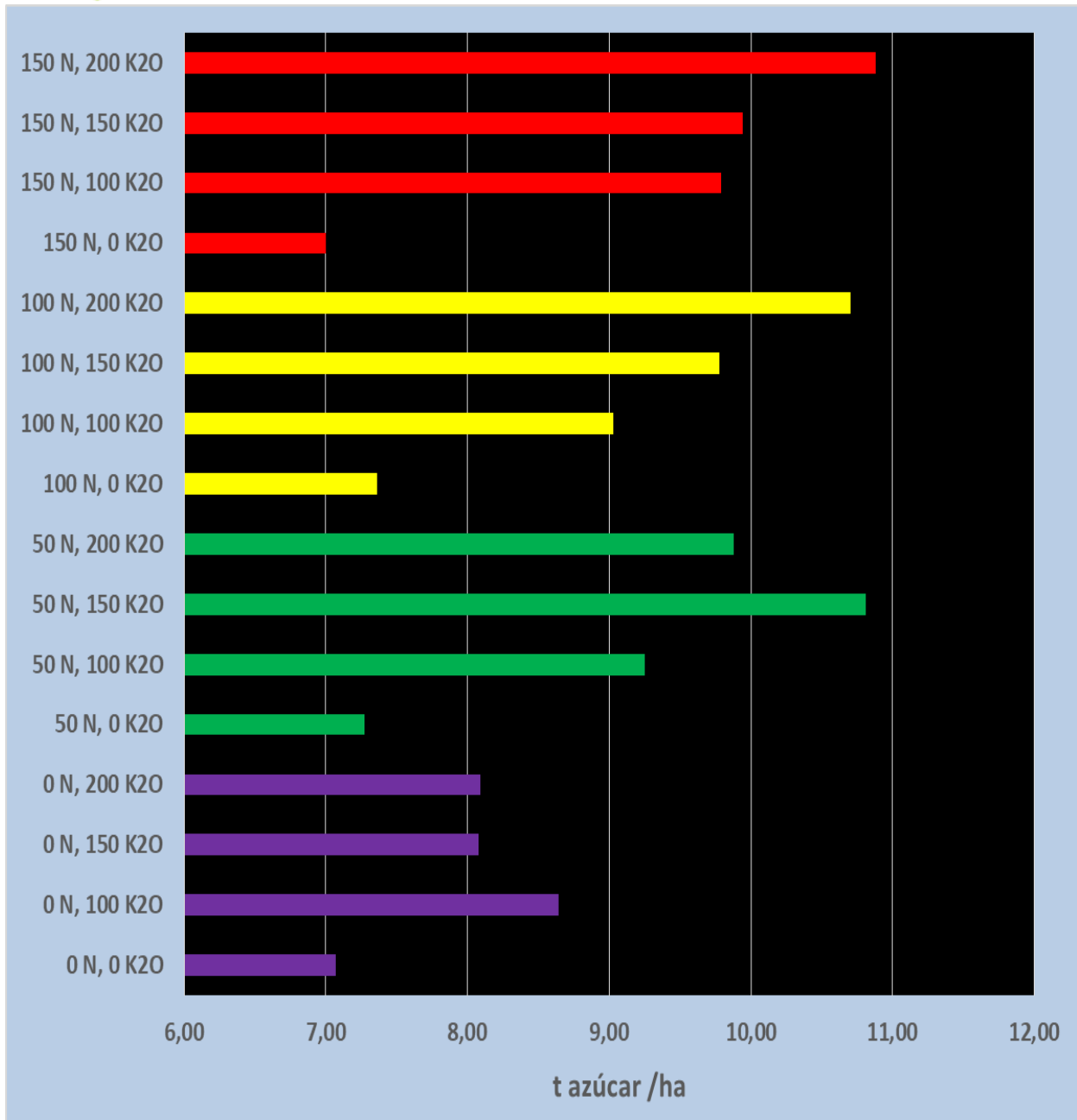


Figura 7. Producción de azúcar (t /ha) aportada por los diferentes tratamientos de nitrógeno y potasio en interacción con diferentes dosis en la Región Sur (Quinta cosecha).



Promedio de 5 Cosechas.

En el promedio de las cinco cosechas realizadas a esta investigación y con el objetivo de obtener mejores conclusiones se presenta en la siguiente figura 8, el aporte independiente del nitrógeno en la producción de azúcar (t/ha), observándose que con excepción del tratamiento sin nitrógeno las diferencias entre los tratamientos de 50 ,100 y 150 kg fueron mínimas o casi iguales, por lo que en este sentido es posible afirmar que 50 kg de nitrógeno por hectárea aplicados a lo largo del ciclo del cultivo es suficiente para obtener rendimientos de azúcar importantes y satisfactorios. Llama la atención este resultado, porque en general los suelos Ultisoles se caracterizan por presentar bajos contenidos de materia orgánica, una buena permeabilidad y además una baja retención de los aniones como los nitratos, por lo que es de esperar que una buena parte del nitrógeno agregado puede ser lixiviado y posiblemente poco aprovechado por el cultivo.

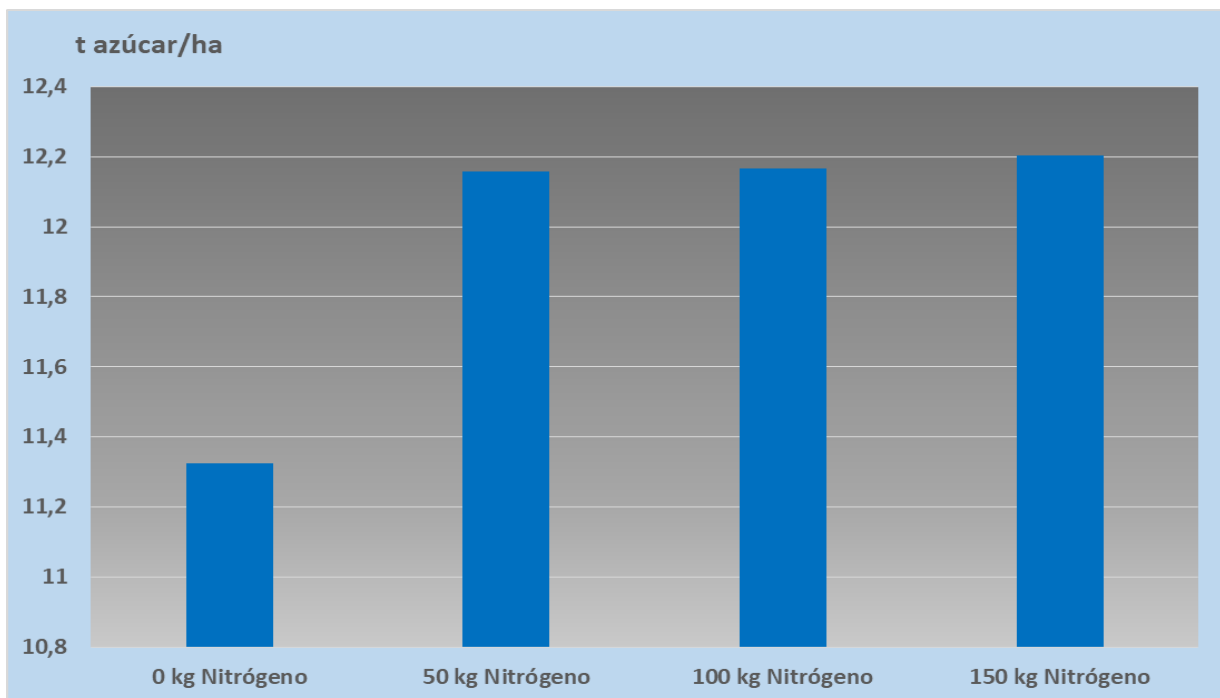


Figura 8 . Producción de azúcar por hectárea obtenida por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno. (Promedio 5 cosechas).

Por otra parte el comportamiento del potasio durante estas cinco cosechas se presenta en la figura 8, donde se observa una respuesta creciente a las dosis evaluadas, alcanzando la mayor producción de azúcar (t/ha) con 150 kg /ha, sin presentar diferencia importante con la dosis de 200 kg de K₂O /ha.

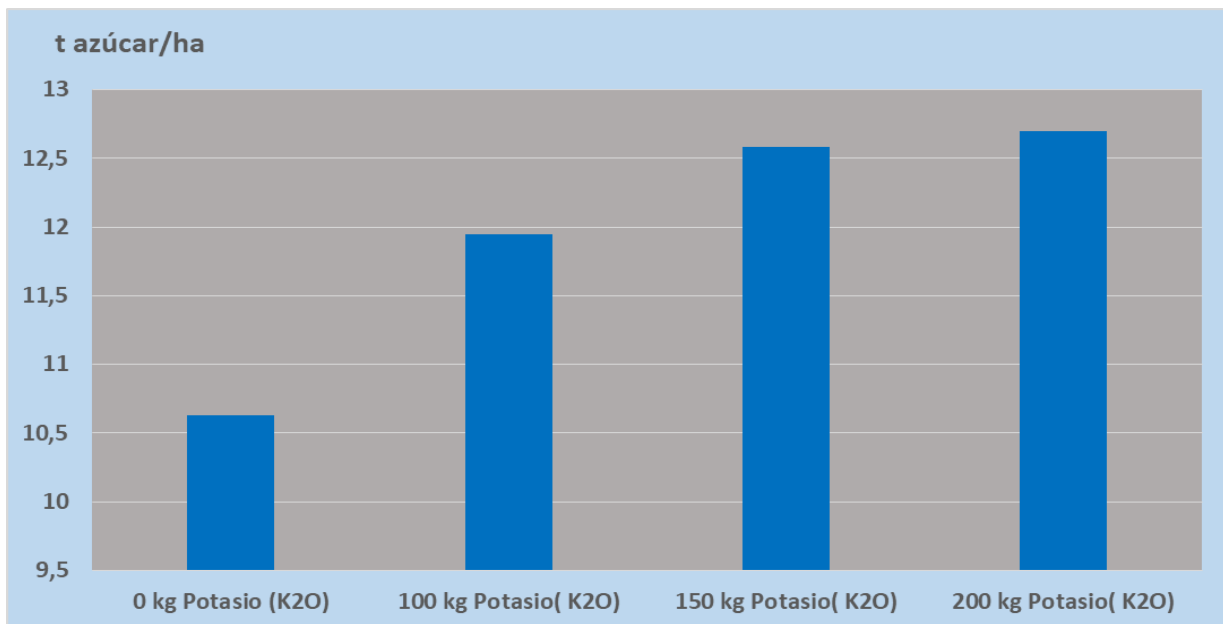


Figura 9. Producción de azúcar por hectárea obtenida por la aplicación de diferentes dosis de Potasio. (Promedio 5 cosechas).

En la figura 9 se observa el comportamiento promedio de las cinco cosechas en la producción de azúcar (t/ha) a la interacción de las dosis de nitrógeno y potasio, presentándose una tendencia al incremento en la producción al aumentar las dosis de potasio en cada dosis de nitrógeno, excepto cuando no se aplicó nitrógeno (0 kg N /ha). Por lo tanto la mayor producción de azúcar (t /ha), se logró con las dosis de 200 kg de potasio por hectárea y combinado con las alternativas de 50 ,100 y 150 kg de nitrógeno por hectárea.

Es importante resaltar de nuevo la importancia del potasio en la producción de azúcar en estos suelos, situación que se evidencia, al observar los tratamientos con las diferentes dosis de nitrógeno sin potasio (0 kg /ha), los cuales son superados en forma significativa por lo demás tratamientos que contienen potasio.

Por otra parte también se observa en la misma figura la participación e importancia que tiene el nitrógeno pero necesariamente en la interacción de ambos nutrimentos, ya que al incrementar paulatinamente las dosis de nitrógeno de 0 kg a 150 kg, se evidencia una tendencia creciente y más consistente del potasio en la producción.

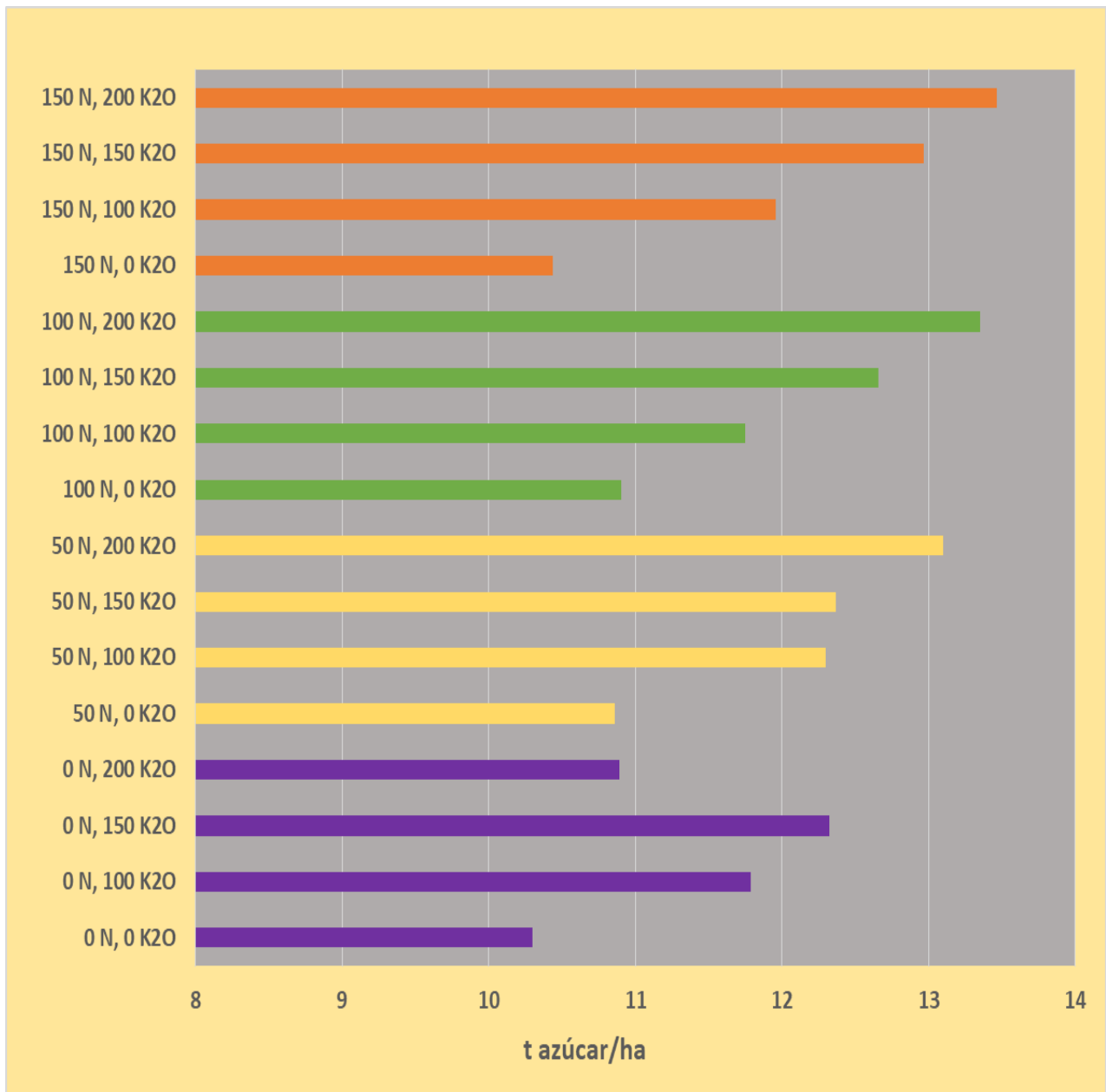


Figura 10. Producción de azúcar por hectárea obtenida por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno y potasio. (Promedio 5 cosechas).



Análisis Económico.

Es importante y necesario que al final de una investigación, se realice un análisis económico que ayude a confirmar y seleccionar entre los mejores tratamientos evaluados aquellos que aseguren a los productores de caña la mayor rentabilidad en la aplicación de los mismos y con ello su aceptación. En este análisis se seleccionaron los costos variables y promedios que fueron afectados directamente por los tratamientos valorados en este estudio. En el siguiente cuadro 10 se presentan dichos costos y sus valores para cada tratamiento.

Cuadro 10.
Beneficio neto anual obtenido con la aplicación de los diferentes tratamientos en el promedio de cinco cosechas.

Tratamientos	Producción t/ha Azúcar	Ingreso ¢/ha	Producción Caña t/ha	Cosecha costo /t	Costo fertilizante / ha	Total costos variables	Costos fijos	Beneficio neto
0 N, 0 K ₂ O	10,30	¢1.874.600,00	82,43	¢626.437,60	¢0,00	¢626.437,60	¢686.626,80	¢561.535,60
0 N, 100 K ₂ O	11,78	¢2.144.688,00	94,38	¢717.318,40	¢43.000,00	¢760.318,40	¢686.626,80	¢697.742,80
0 N, 150 K ₂ O	12,32	¢2.242.604,00	97,70	¢742.550,40	¢64.500,00	¢807.050,40	¢686.626,80	¢748.926,80
0 N, 200 K ₂ O	10,89	¢1.982.708,00	85,99	¢653.554,40	¢86.000,00	¢739.554,40	¢686.626,80	¢556.526,80
50 N, 0 K ₂ O	10,86	¢1.976.520,00	86,29	¢655.773,60	¢27.350,00	¢683.123,60	¢686.626,80	¢606.769,60
50 N, 100 K ₂ O	12,30	¢2.238.600,00	99,35	¢755.075,20	¢70.350,00	¢825.425,20	¢686.626,80	¢726.548,00
50 N, 150 K ₂ O	12,37	¢2.251.340,00	97,80	¢743.295,20	¢91.850,00	¢835.145,20	¢686.626,80	¢729.568,00
50 N, 200 K ₂ O	13,10	¢2.383.836,00	103,64	¢787.694,40	¢113.350,00	¢901.044,40	¢686.626,80	¢796.164,80
100 N, 0 K ₂ O	10,91	¢1.984.892,00	87,54	¢665.319,20	¢54.700,00	¢720.019,20	¢686.626,80	¢578.246,00
100 N, 100 K ₂ O	11,75	¢2.138.500,00	96,67	¢734.707,20	¢97.700,00	¢832.407,20	¢686.626,80	¢619.466,00
100 N, 150 K ₂ O	12,66	¢2.303.756,00	101,24	¢769.454,40	¢119.200,00	¢888.654,40	¢686.626,80	¢728.474,80
100 N, 200 K ₂ O	13,35	¢2.430.064,00	106,90	¢812.409,60	¢140.700,00	¢953.109,60	¢686.626,80	¢790.327,60
150 N, 0 K ₂ O	10,43	¢1.898.988,00	85,61	¢650.666,40	¢82.050,00	¢732.716,40	¢686.626,80	¢479.644,80
150 N, 100 K ₂ O	11,96	¢2.176.356,00	97,81	¢743.386,40	¢125.050,00	¢868.436,40	¢686.626,80	¢621.292,80
150 N, 150 K ₂ O	12,96	¢2.359.448,00	104,80	¢796.495,20	¢146.550,00	¢943.045,20	¢686.626,80	¢729.776,00
150 N, 200 K ₂ O	13,46	¢2.450.084,00	103,49	¢786.539,20	¢168.050,00	¢954.589,20	¢686.626,80	¢808.868,00

Precio Fertilizante Kg nitrógeno = ¢547
kg Potasio = ¢430

Costo cosecha /t = ¢7600 Tipo cambio \$ US = ¢567
Precio azúcar / kg = ¢182

Como se observa se utilizaron los valores promedio de producción de caña (t/ha) para obtener los gastos de cosecha y los de producción de azúcar (t/ha), para fijar el ingreso bruto y finalmente los costos variables por las diferentes dosis de los fertilizantes.

En la figura 10 se presenta el resultado del beneficio neto (¢/ha por año), donde se observa que se obtuvo los mayores ingresos con las dosis de 150 kg N +200 kg de K₂O con ¢808. 868, seguido por los tratamientos correspondientes a 50 kg N +200 kg K₂O y 100 kg N +200 kg K₂O, con ¢796. 164 y ¢790 .377 respectivamente.

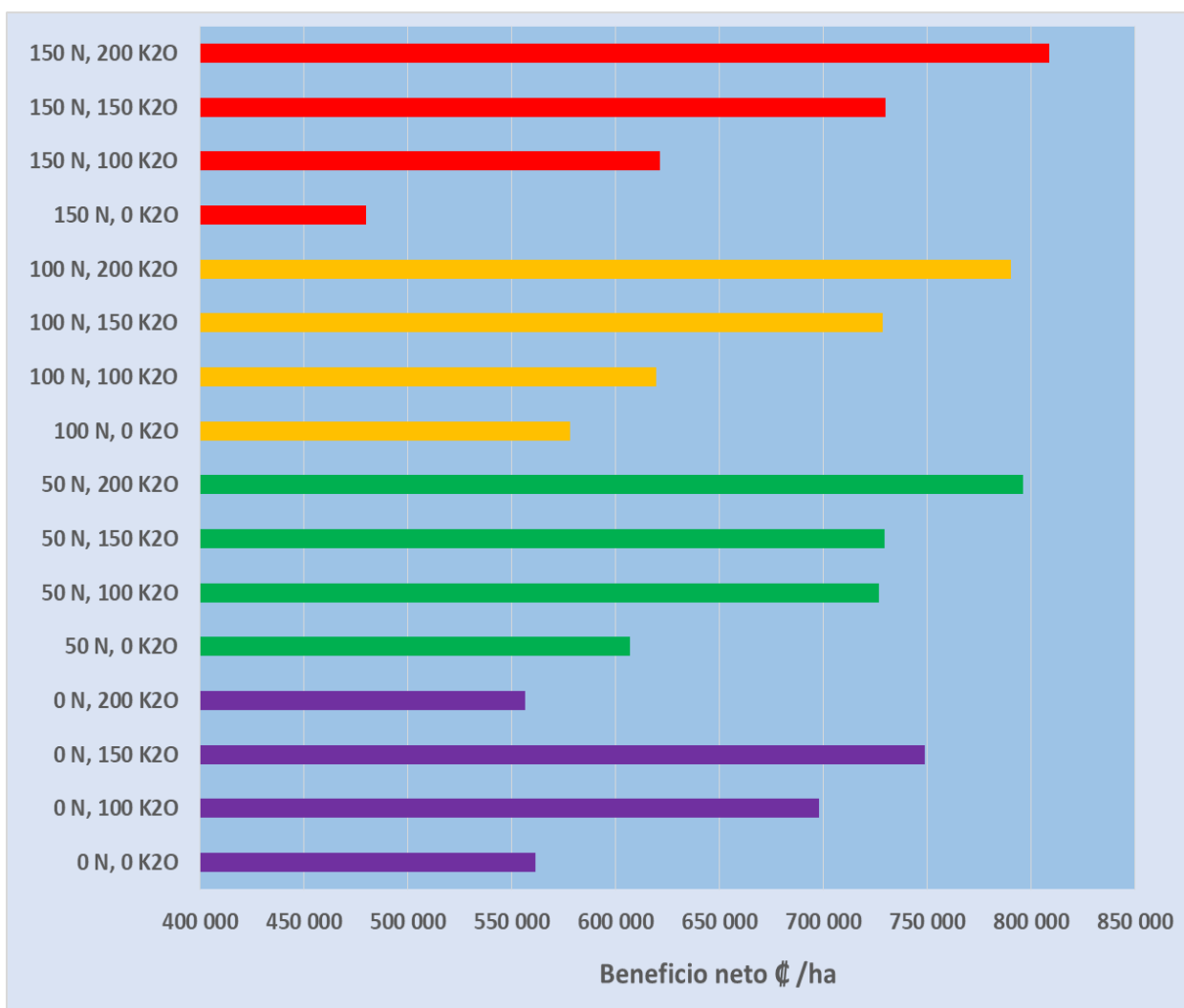


Figura 11. Beneficio neto (¢/ha por año) obtenido por la aplicación de los diferentes tratamientos durante cinco cosechas.



Considerando que las diferencias económicas entre los tres tratamientos con mayor rentabilidad en el promedio de las cinco cosechas fueron mínimas, resulta importante ver el comportamiento productivo y económico de estos tratamientos en forma individual en cada cosecha, lo cual se presenta en el cuadro 11, donde se señalan los mayores beneficios económicos producto de la aplicación de los tratamientos.

En la figura 12 se puede observar, como en las tres primeras cosechas y con pocas diferencias entre sí, el tratamiento con 50 kg de nitrógeno y 200 kg de potasio proporcionaron los mayores beneficios económicos. A partir de la tercera cosecha se da un abrupto y normal descenso en la producción de azúcar (t/ha), lo que repercutió posiblemente en una mayor necesidad del nitrógeno por parte del cultivo, y en una mayor rentabilidad si se logra en la cuarta y quinta cosecha incrementar las dosis de nitrógeno a 100 kg /ha.

Cuadro 11.
Beneficio Neto (¢ /ha) obtenido con los mejores tratamientos en cada una de las cosechas.

Tratamientos	1 Cosecha	2 Cosecha	3 Cosecha	4 Cosecha	5 Cosecha
50 N,200 K ₂ O	¢1.117.831,20	¢1.176.291,20	¢997.039,20	¢258.439,20	¢431.223,20
100 N, 200 K ₂ O	¢1.065.457,20	¢995.605,20	¢894.321,20	¢489.045,20	¢507.209,20
150 N, 200 K ₂ O	¢1.142.911,20	¢1.165.567,20	¢963.455,20	¢264.195,20	¢507.831,20

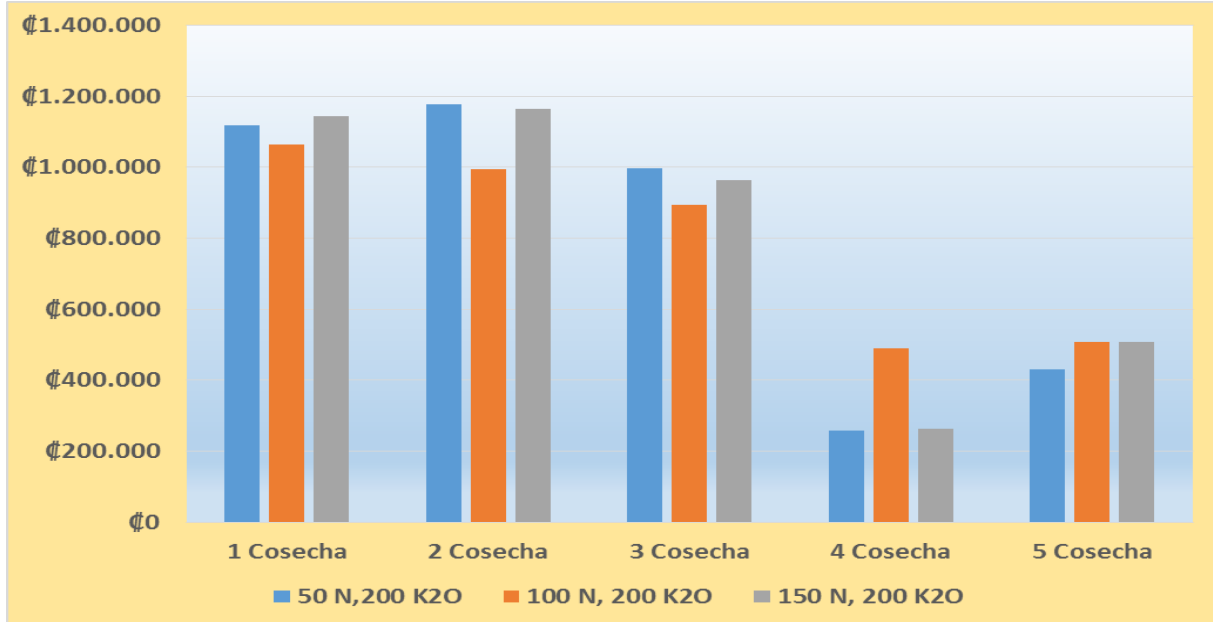


Figura 12 .Comportamiento productivo de los tratamientos más rentables en el promedio de las cinco cosechas.

Conclusiones.

- En ninguna de las cinco cosechas se obtuvo diferencias estadísticas significativas en la interacción de las diferentes dosis de nitrógeno y potasio evaluadas en este estudio.
- Con excepción de la primera cosecha, en las demás cosechas se presentaron diferencias estadísticas significativas en la producción de caña y azúcar (t/ha) a la aplicación de 200 kg /ha de potasio.
- La variable industriales % pureza y Kg azúcar/t, fueron significativamente diferentes en las dos últimas cosechas y en relación estrecha con el declive productivo del cultivo.
- Por su parte el nitrógeno presentó diferencias estadísticas significativas en las variables producción de caña y azúcar, únicamente en las dos últimas cosechas con la dosis de (100 kg N /ha).
- De acuerdo al análisis económico efectuado a los tratamientos en estudio, en el promedio de las cinco cosechas, la mayor rentabilidad se obtuvo con los tratamientos: 50 ,100 y 150 kg N /ha, todos combinados con 200 kg K₂O /ha.
- Analizando la rentabilidad de los mejores tratamientos individualmente en cada cosecha se encontró que para lograr los mayores beneficios económicos se debe aplicar en las tres

primeras cosechas 50 kg de nitrógeno por ha y en la cuarta y quinta cosecha incrementar la dosis de nitrógeno a 100 kg /ha.

Recomendaciones.


Con base en los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

Establecer parcelas de validación en diferentes localidades y variedades comparando la recomendación actual con base en nitrógeno y potasio con los resultados obtenidos en esta investigación.

Literatura citada.

- 1) Anderson, D.L.; Bowen , J.E. 1994. Nutrición de la caña de azúcar. Quito Ecuador. Instituto de La Potasa y El Fósforo, IMPOFOS A.C.40 pag.
- 2) Angulo Marchena, A.; Chaves S., M.; Guzmán S., G.2006. Dosis interactivas de Nitrógeno y Potasio en la fertilización de la caña de azúcar y su efecto sobre los rendimientos agroindustriales. Promedio de tres cosechas. Cañas, Guanacaste. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 786-797.
- 3) Chaves Solera, M.A. 2017a. Importancia del Potasio en la producción comercial de la caña de azúcar en Costa Rica. Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 22 p.
- 4) Chaves Solera, M.A. 2016a. El Nitrógeno como factor de productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica. Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 9 p.
- 5) Chaves Solera, M.A. 2016b. Resultados de investigación con el uso del nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 26 p.

- 6) Chaves Solera, M. 2012a. Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. Revista Especializada Ventana Lechera, Dos Pinos. Fertilización: Práctica para mejorar la calidad y producción de forraje. San José, Costa Rica. Edición N° 18, Año 6, febrero 2012. p: 10-20.
- 7) Chaves Solera, M.; Barrantes Mora, J.C. 2007. Nutrición de la caña de azúcar en la zona sur de Costa Rica: experiencias continuadas durante el periodo 1986-2006. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 30 p.
- 8) Chaves Solera, M. 2003. Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica: experiencias de los Últimos 20 Años (Periodo 1980-2000). Congreso de ATACORI "Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez", 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 49-54.
- 9) Chaves Solera, M. 1999b. El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- 10) Chaves S., M.A.; Salazar, J.; Guzmán, G.; Madriz, T. 1989. Respuesta de la caña de azúcar, variedad "H 44-3098" a la interacción N-K en Hacienda Juan Viñas, promedio de dos cosechas. Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica, 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 124-125.
- 11) LAICA-DIECA. 2017. Informe de Resultados. Programa de Agronomía. Año 2016. Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 95 p.
- 12) LAICA-DIECA. 2016. Resultados de las investigaciones ejecutadas por el Programa de Agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, durante el año 2015. Grecia Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 90 p.
- 13) LAICA-DIECA. 2015. Resultado de las investigaciones ejecutadas por el Programa de Agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2014. Grecia Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 94 p.
- 14) LAICA-DIECA. 2013. Resultados de las investigaciones ejecutadas por el Programa de Agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2013. Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 105 p.



15) Pérez, O. 2001. Fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Síntesis de resultados de investigación en la zona cañera de Guatemala. En: Memoria del X Congreso Nacional de ATAGUA, Guatemala, Gt. 98-104 p.

16) Pérez, O. et al. 1999. Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización con potasio en plantilla en suelos de la región cañera de Guatemala, Memoria Presentación de resultados de investigación zafra 1998/1999. Guatemala, Gt. CENGICAÑA. p. 138-139. Tomado en :
www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_4/.../2.pd

17) Pérez, O. et al. 2001. Evaluación de la respuesta a potasio en caña de azúcar en suelos con diferentes contenidos de K, segunda soca. Memoria de Labores. Guatemala, Gt. CENGICAÑA. p. 91-95.