



**LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE
LA CAÑA DE AZÚCAR**



**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
Y EXTENSIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

**NUTRICIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA
ZONA SUR DE COSTA RICA: EXPERIENCIAS
CONTINUADAS DURANTE EL
PERÍODO 1986-2006**

**Marco Chaves Solera
Julio C. Barrantes Mora**

**San José, Costa Rica
Setiembre, 2007**

NUTRICIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA: EXPERIENCIAS CONTINUADAS DURANTE EL PERÍODO 1986-2006¹

RESUMEN

Las características variables y limitantes de fertilidad que presentan los suelos sembrados con caña de azúcar en la región sur del país, cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires, por su condición de alta acidez, justifican realizar estudios nutricionales que permitan conocer con algún grado importante de certeza y representatividad, la respuesta aproximada de la planta de caña a la adición de los mismos. Con dicho objetivo, el presente estudio recoge, analiza e interpreta de manera integral las experiencias que en materia de nutrición y fertilización de la caña de azúcar se han desarrollado en la región ejecutadas por la *Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)* durante el período de 20 años transcurrido entre los años 1986 y el 2006. La investigación desarrollada en ese período ha sido amplia en todos los sentidos, valorando factores diferentes asociados directamente con la fertilidad del suelo, como son: Enmiendas (fuentes, dosis, interacción, granulometría, clones); Nitrógeno (fuentes, clones); Fósforo (fuentes, dosis, clones); Potasio (interacción N-K); Magnesio (dosis); Azufre (dosis); Zinc (dosis, foliar-suelo); Silicio (fuentes, interacción). Los resultados obtenidos han sido claros, consistentes y en general muy positivos por el nivel de respuestas de incrementos agroproductivos logrados, las cuales se ubican de forma aproximada según indicador de rendimiento agroindustrial como sigue: Enmiendas (aumento del 20% en caña y 21% en el azúcar para 16 y 2,2 TM, respectivamente); Nitrógeno (31% en caña y 29% en azúcar para 23 y 2,9 TM); Fósforo (39% en caña y 42% en azúcar para 20 y 2,9 TM, respectivamente); Magnesio (12% en caña y 16% en azúcar para 15 y 1,7 TM); Azufre (4,8% en caña y 5,7% en azúcar para un equivalente de 4,5 y 0,8 TM, respectivamente); Zinc (14% en caña y 17% en azúcar para 14 y 2,2 TM); Silicio (2,9% en caña y 8% en azúcar para 2,3 y 0,7 TM) y en la Interacción N-K (16% en caña y 21% en azúcar para 10,3 y 1,8 TM). Como se infiere de los resultados anteriores, el N y el P son los nutrimentos que mejores respuestas agroindustriales generan al adicionarlos al suelo. Resulta por tanto positivo, necesario y muy rentable aplicar enmiendas y fertilizar las plantaciones comerciales de caña de azúcar en la zona sur. Se recomienda la nutrición integrada y bien balanceada y no sólo parcial de las plantaciones, utilizando sólo apenas algunos nutrimentos tradicionales (N-P-K) que inducen con el tiempo a generar condiciones de deficiencia en aquellos suelos que dejan de aplicarse (Mg-S-Zn), todo en detrimento y afección directa de las expectativas de producción que se tengan establecidas como metas productivas. Resulta conveniente investigar la respuesta de los suelos de la región a la adición de K y B.

¹ **Marco Chaves Solera, Julio Cesar Barrantes Mora;** Director Ejecutivo y Funcionario de la **Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)**, teléfono (506) 284-6066, fax (506) 223-0839, E-mail: mchavez@laica.co.cr; jbarrantes@laica.co.cr; Ingenieros Agrónomos, Costa Rica. Documento presentado en el **V Congreso Nacional de Suelos**, efectuado los días 20, 30 y 31 de agosto del 2007, en el INBioparque, Heredia, Costa Rica. **VERSIÓN MEJORADA Y AMPLIADA.**

INTRODUCCIÓN

La región sur del país ha venido adquiriendo de manera creciente y sistemática gran relevancia como zona productora de caña de azúcar, destacándose por sus elevadas concentraciones de sacarosa en la planta, las más altas del país por varios años consecutivos. Durante la zafra 2006/2007 la región procesó un total de 299.078 toneladas métricas (TM) de caña (7,3% nacional) con un contenido promedio de 118,12 kg de sacarosa (96°)/tonelada métrica de caña procesada, a partir de lo cual se fabricaron 35.327 TM de azúcar (96°), que representaron el 8,5% del total nacional.

Las plantaciones de caña de la región se distribuyen en un área estimada en aproximadamente 5.350 hectáreas en los cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires, pertenecientes a las provincias de San José y Puntarenas, respectivamente. En la zafra 2005/2006 se registraron oficialmente ante LAICA un total de 3.608 entregadores de caña (Productores Independientes + Caña Propia) que representan un 30,55% del total nacional, de los cuales el 99,56% correspondiente a 3.592 productores independientes reportaron entregas de caña inferiores a 500 TM lo que implicó 187.388,4 TM (62,8% de la zona), reflejando así la importante y determinante connotación social que mantiene la agroindustria azucarera en el lugar representada por pequeños agricultores.

La variedad de caña sembrada y más difundida predominantemente de manera comercial en la región es la SP71-5574 de origen brasileño, la cual reportó en el censo varietal nacional realizado en el 2003 un área sembrada equivalente al 95,7%, seguida por la CP 87-1248 con el 3,2%, la Q96 con un 0,9% y la PINDAR con apenas el 0,1% (CHAVES *et al* 2004).

1) CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

Los suelos cultivados con caña de azúcar predominantes en la región clasifican taxonómicamente según el USDA, dentro del orden Ultisol y en menor grado Inceptisol, lo que genera y expone importantes implicaciones en materia de fertilidad, la cual se califica como limitante y por tanto de manejo prudente y cuidadoso si se pretende alcanzar y sobre todo mantener grados de productividad y competitividad elevados (CHAVES 1999ab; 2003).

Se adjuntan los Cuadros 1 y 2 con información representativa producto del análisis de muestras compuestas, que identifican y califican las características químicas aproximadas de los suelos cañeros del lugar, expresados según cantón y distrito.

Cuadro 1. Caracterización Química de los suelos de Pérez Zeledón y Buenos Aires.

DISTRITO	cmol (+)/ml					μ/ml				
	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn
San Isidro	4,2	2,93	2,78	0,51	0,24	12	174	4	3,9	17
Daniel Flores	5,3	0,15	5,1	0,84	0,40	7	129	5	2,4	12
San Pedro	4,4	1,74	0,68	0,22	0,13	12	258	6	2,4	6
General Viejo	5,3	0,55	4,41	1,51	0,36	14	164	5	3,3	7
Cajón	4,4	5,9	2,93	0,66	0,23	8	129	4	4,2	11
Volcán *	4,5	1,54	2,00	0,47	0,17	8	279	6	5,9	8
Buenos Aires *	4,8	1,64	3,02	0,34	0,39	17	248	5	2,9	5
Potrero Grande *	4,7	1,02	5,31	1,85	1,13	13	147	3	2,14	30
PROMEDIO	4,7	1,66	3,08	0,58	0,40	14	231	5	3,70	9
Desv. Estándar	0,6	1,36	1,80	0,52	0,28	6,3	88	1,9	3,49	10
Valor Máximo	5,7	5,90	7,26	2,41	1,54	28	520	9	17,0	43
Valor Mínimo	2,8	0,10	0,15	0,17	0,11	4	94	1	1,1	1
Amplitud **	2,9	5,8	7,11	2,24	1,43	24	426	8	15,9	42
Óptimo Técnico ***	5,5-6,5	0,51-1,5	4,1-20	1,1-5	0,21-0,6	11-20	11-100	3- 20	2,1-10	6- 50

* Pertenecen al cantón de Buenos Aires (Puntarenas).

** Se refiere a los valores individuales extremos (Máximo- Mínimo) identificados en el lugar.

*** Bertsch (1987).

Cuadro 2. Relaciones Catiónicas de los suelos de Pérez Zeledón y Buenos Aires.

DISTRITO	cmol (+)/ml		Saturac. Acidez (%)	RELACIÓN CATIONICA				
	Suma Bases	CICE		Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	100 x K Ca+Mg+K	Ca + Mg K
San Isidro	3,60	6,54	43,5	14,4	6,3	2,7	7,6	17,1
Daniel Flores	6,34	6,49	2,3	12,7	6,1	2,1	6,3	14,9
San Pedro	1,04	2,78	62,6	5,3	3,1	1,7	12,7	7,0
General Viejo	6,30	6,85	8,7	15,9	2,8	4,9	7,4	20,8
Cajón	3,82	9,72	60,7	12,7	4,4	2,9	6,0	15,6
Volcán	2,64	4,18	39,4	11,2	4,1	2,7	9,3	14,0
Buenos Aires	3,75	5,39	32,7	8,4	9,0	1,1	12,3	9,5
Potrero Grande	8,28	9,30	10,6	4,8	3,0	1,7	13,5	6,5
PROMEDIO	4,06	5,71	32,40	9,2	6,8	1,7	11,2	10,9
Desv. Estándar	2,36	2,06	23,4	6,7	3,9	1,5	5,9	7,9
Valor Máximo	9,13	11,13	83,1	27,4	17,3	7,2	33,3	34,3
Valor Mínimo	0,51	1,69	1,20	0,9	0,8	0,4	2,8	2,0
Amplitud *	8,62	9,44	81,9	26,5	16,6	6,8	30,5	32,3
Óptimo Técnico **	5,01-25	5,01-25	10,1 - 50	5,1-25	2,1 - 5	2,6-15	-	10,1 - 40

* Se refiere a los valores individuales extremos (Máximo- Mínimo) identificados.

** Bertsch (1987).

Se infiere y ratifica a partir de la información anterior la condición distrófica, de alta acidez e insuficiencia de algunos nutrimentos esenciales presente en los suelos de la

región, en las formas absorbibles y cantidades requeridas para mantener grados de productividad altos y sostenibles en el tiempo.

El relieve predominante de los campos cañeros es plano-ondulado permitiendo en algunas áreas la mecanización de labores y de la cosecha, lo cual se da desde el año 2006. Hay también áreas quebradas muy limitantes para producción de caña.

2) INVESTIGACIÓN REALIZADA

La investigación realizada en la región sur ha sido amplia, profusa y muy diversa en todos los sentidos, valorando diferentes tópicos del cultivo. En materia nutricional se han investigado la mayoría de los componentes y factores que determinan, establecen y definen una condición balanceada en función de las condiciones y limitantes del medio. Seguidamente se exponen de manera resumida según tópico, algunos de los principales y más representativos resultados obtenidos con la investigación desarrollada por la *Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)* en materia de fertilización en el lugar, durante los 20 años transcurridos en el período 1986-2006 .

2.1) ENCALADO (Ca)

En virtud de las características químicas mayoritariamente limitantes de los suelos de la región debido a su grado de acidez variable, baja concentración de Ca, Mg, K, P, y su relativa alta disponibilidad de Fe, se ha dado especial énfasis en valorar los efectos y el impacto productivo de realizar la corrección de los mismos mediante la práctica del encalado (CHAVES 2000).

En un estudio donde se evaluó comparativamente seis **Fuentes Comerciales de Cal** empleadas como enmiendas, realizado en La Fortuna de San Pedro (560 msnm) con la variedad SP 71-5574; CHAVES y BARRANTES (2006a) encontraron diferencias determinantes en la composición granulométrica de las mismas, lo que se proyectó y reflejó luego de 4 cosechas en la productividad agroindustrial, aunque sin alcanzar efecto estadístico significativo, como lo revela el Cuadro 3. La Cal incrementó genéricamente la producción de caña en un promedio del 9,0% (8,87 TM/ha), un 10,3% (1,38 TM) en el caso del azúcar y un 1,21% (1,65 kg/TM) en la concentración de sacarosa contenida en los tallos, respecto a no encalar. La DOLOMITA fue muy productiva y económicamente calificada como la mejor fuente al superar al Testigo Sin Cal en 15,62 (15,6%) y 2,02 (15,1%) TM de caña y azúcar/ha, respectivamente. Le siguieron como mejores fuentes CARBOAZUL y PATARRÁ. El efecto de mejoramiento agroindustrial fue mayor durante las dos primeras cosechas, percibiendo posteriormente una aparente pérdida de residualidad. La DOLOMITA demostró ser una excelente fuente virtud de contar en su composición con Carbonatos de Calcio y Magnesio, lo que le otorga según CHAVES (1988) grandes ventajas.

Cuadro 3: Resultados del Estudio de 6 Fuentes Comerciales para Encalar.

TRATAMIENTO	Porcentaje		Rendimiento (kg azuc./TM)	Producción (TM/ha)		Relación Caña/Azúcar	PRT (%)
	Pureza	Fibra		Caña	Azúcar		
DOLOMITA	90,31	14,15	134,88	<u>114,00</u>	<u>15,38</u>	<u>7,41</u>	<u>101</u>
CARBOAZUL	90,97	14,22	<u>139,29</u>	109,71	15,28	7,18	100
PATARRÁ	90,77	<u>14,60</u>	138,07	107,80	14,88	7,24	97
CARBOCAL	91,03	14,34	136,41	108,37	14,78	7,33	97
CALERA N. J.	<u>91,14</u>	14,40	138,28	102,98	14,24	7,23	93
FILA DE CAL	90,64	14,40	137,83	100,67	13,88	7,26	91
TESTIGO (- CAL)	90,31	14,19	135,81	98,38	13,36	7,36	87
PROMEDIO	90,74	14,33	137,22	105,99	14,54	7,29	95
C.V. (%)	1,85	4,71	4,10	9,90	11,74	-	-

Promedio de 3 repeticiones y 4 cosechas.

PRT: Diferencia (%) respecto al Testigo (- Cal) para cada para la variable TM azúcar/ha.

Relación Caña/Azúcar: TM de caña necesarias moler para fabricar una TM de azúcar.

En otro estudio de campo realizado en el mismo lugar por CHAVES y BARRANTES (2006b), no se encontró (Cuadro 4) diferencias estadísticamente significativas al evaluar el impacto de la **Granulometría de la Cal** sobre los rendimientos y variables agroindustriales. La adición de cal mejoró en promedio la concentración de sacarosa (2,7% = 3,62 kg/TM) respecto a su no uso, aunque sin efecto estadístico, siendo la Fracción Granulométrica 40 la que mejor concentración alcanzó (137,61 kg/TM). En caña la mejor productividad se obtuvo con cal con una granulometría (abertura de malla dada en mm) perteneciente a la Fracción 60 con 93,72 TM/ha; en azúcar fue la Fracción 40 con 12,82 TM/ha.

Se verificó un mayor efecto en las dos primeras cosechas (reactividad) por parte de las fracciones más finas (40 y 60) respecto a las más gruesas (10 y 14). La fuente comercial sin fraccionar (Testigo) generó también un buen efecto en esos ciclos vegetativos. Las fracciones más gruesas no mostraron en las cosechas 3 y 4 alguna evidencia importante de residualidad, ratificando con ello un mayor impacto durante los dos primeros ciclos vegetativos, y el poco efecto que como correctoras de acidez poseen para los suelos de esa región.

Las Fracciones 14, 40 y 60 y el tratamiento con cal presentaron un incremento lineal tanto en producción de caña como de azúcar (TM/ha) hasta la tercera cosecha, cayendo en la última de ellas por presunta falta de residualidad. La fracción más gruesa (10) mostró por el contrario sus mayores rendimientos durante las dos últimas cosechas. Se infiere de los resultados que la condición granulométrica del material disponible y dispuesto en el comercio para uso del agricultor es adecuado.

Cuadro 4. Efecto Agroindustrial de la Granulometría de la Cal.

TRATAMIENTO	Porcentaje		Rendimiento (kg azuc./TM)	Producción (TM/ha)				Relación Caña/Azúcar	% PRT
	Pureza	Fibra		Caña		Azúcar			
FRACCION 10 *	90,55	14,23	134,75	87,37	ab	11,75	ab	7,43	105
FRACCION 14	90,43	14,11	136,18	79,08	b	10,72	b	7,37	95
FRACCION 40	90,53	14,17	<u>137,61</u>	93,20	ab	<u>12,82</u>	a	7,27	<u>114</u>
FRACCION 60	90,49	<u>14,25</u>	136,41	<u>93,72</u>	a	12,79	ab	7,33	114
SIN CAL (T)	89,91	14,21	132,85	84,72	ab	11,24	ab	<u>7,54</u>	100
CON CAL (T) **	<u>90,80</u>	13,94	137,56	91,99	ab	12,62	ab	7,29	112
PROMEDIO	90,45	14,15	135,90	88,35	-	11,99	-	7,37	88
C.V.(%)	1,74	4,37	4,97	8,0	-	7,8	-	-	-

Promedio de 3 repeticiones y 4 cosechas de la variedad SP 71-5574.

* Se refiere al % de Cal que pasó la Fracción indicada según abertura de la malla dada en mm.

** Tratamiento de Cal Comercial integral sin fraccionar.

PRT: Diferencia (%) respecto al Testigo (- Cal) para la variable TM azúcar/ha.

Relación Caña/Azúcar: TM de caña necesarias moler para fabricar una TM de azúcar.

Tratamientos con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí, según prueba de Tuckey (5%).

Se exponen en el Cuadro 5 los resultados del estudio realizado en La Fortuna de San Pedro con la variedad PINDAR (DIECA 1989 y CHINCHILLA 1988a), en donde quedó evidenciado el beneficio que aporta el uso del CaCO₃, al superar en todas las dosis evaluadas (excepto la de 2 TM/ha) al Testigo Sin Cal. En esas condiciones la incorporación de 3 TM/ha fue en promedio luego de dos cosechas, la que mejor productividad agroindustrial aportó; sin embargo, la adición de 1 TM resulta productivamente suficiente virtud de su eficiencia técnico-económica.

Cuadro 5. Resultados Agroindustriales Estudio de 7 Dosis Crecientes de Cal.

Dosis TM/ha CaCO ₃	kg azúcar/TM *			Producción (TM/ha) *						
	Rendimiento Industrial			Caña			Azúcar			
	I	III	Prom.	I	III	Prom.	I	III	Prom.	PRT
0	119,51	145,52	132,52	76,00	39,65	57,82	9,08	5,77	7,42	100
0,5	120,00	148,74	<u>134,37</u>	81,67	46,64	64,16	<u>9,80</u>	6,94	8,37	113
1,0	119,56	143,63	131,60	82,00	45,58	63,79	9,80	6,54	8,17	110
1,5	<u>120,58</u>	141,74	131,16	79,00	42,51	60,76	9,53	6,03	7,78	105
2,0	117,97	144,72	131,35	69,67	44,66	57,17	8,22	6,46	7,34	99
2,5	114,28	140,80	127,54	77,00	53,94	65,47	8,80	7,59	8,20	111
3,0	116,99	<u>149,31</u>	133,15	<u>82,33</u>	<u>57,60</u>	<u>69,97</u>	9,63	<u>8,60</u>	<u>9,12</u>	<u>123</u>
PROMEDIO	118,41	144,92	131,67	78,23	47,23	62,73	9,26	6,85	8,06	109
C.V. (%)	1,86	2,24	1,63	5,79	13,45	7,19	6,41	14,24	7,61	-

* No fue posible ubicar los datos de la segunda cosecha.

Promedio de 4 repeticiones y 2 Cosechas.

Concientes de las condiciones limitantes de fertilidad que poseen los suelos de la región y la necesidad de inducir cambios integrales en el manejo de las plantaciones, que favorezcan y permitan alcanzar un grado de productividad significativo, perdurable y sostenible en el tiempo, es común incorporar de forma complementaria varios productos sin muchas veces conocer de previo si existen o se generan sinergismos o en su caso antagonismos entre los mismos. Con el fin de valorar la **Interacción Cal - Cachaza**, se estableció un estudio en La Fortuna de San Pedro (CHAVES *et al* 1996) donde se evaluó en interacción 3 dosis de Cal (CaCO_3) y 4 de Cachaza. De acuerdo con los resultados del Cuadro 6, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aunque sí productivamente importantes. Al individualizar efectos se nota un leve incremento lineal en la producción de caña y azúcar (TM/ha) en las dosis de Cal y hasta las 4 TM/ha en las de cachaza; la concentración de sacarosa siempre fue mayor en los testigos y muy errática en los tratamientos.

El tratamiento más eficiente fue la adición de 4 TM de cachaza/ha sin aplicación complementaria de Cal, el cual aumentó la productividad en 15,1 (16,4%) y 1,91 (13,3%) TM de caña y azúcar/ha, respectivamente; seguido por la interacción de 2 TM de Cal y 2 de Cachaza/ha que aumentó las mismas variables en 18,1 (18,2%) y 1,84 (12,8%), respectivamente. Se concluye que el empleo de materias orgánicas como cachaza, favorecen los rendimientos agroindustriales del cultivo de la caña por lo que se recomienda su empleo.

Cuadro 6. Evaluación Agroindustrial de la Interacción CaCO_3 – Cachaza.

Tratamientos (TM/ha)	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
CAL - Cachaza						
0 - 0	91,36	144,70	99,38	14,38	100	6,9
0 - 2	90,43	143,88	106,36	15,30	106	7,0
0 - 4	<u>92,13</u>	142,31	114,46	<u>16,29</u>	<u>113</u>	7,0
0 - 6	91,06	140,41	104,92	14,73	102	7,1
1 - 0	89,77	142,34	107,40	15,29	106	7,0
1 - 2	91,45	139,69	108,47	15,15	105	7,2
1 - 4	90,10	137,70	108,21	14,90	104	<u>7,3</u>
1 - 6	90,25	139,11	111,34	15,49	108	7,2
2 - 0	91,28	<u>144,96</u>	106,22	15,40	107	6,9
2 - 2	91,10	138,08	<u>117,45</u>	16,22	113	7,2
2 - 4	90,59	138,11	117,01	16,16	112	7,2
2 - 6	90,90	141,57	110,44	15,63	109	7,1
Promedio	90,87	141,07	109,31	15,41	107	7,1
C.V. (%)	0,73	1,85	4,77	3,88	-	-

* Promedio de 3 repeticiones y 2 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Una de las interacciones más tradicionales de evaluar en suelos ácidos por las características y particularidades de disponibilidad, fijación, movilidad, solubilidad y

absorción propias del fósforo, es su relación con la cal; motivo por el cual, se estudió en La Fortuna de San Pedro (BARRANTES y CHAVES 1999) la interacción de **3 Dosis de Cal y 4 de P₂O₅**, cuyos resultados promedio luego de 3 cosechas se muestran en el Cuadro 7. Hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. Se encontró que individualmente las 2 dosis promedio de Cal superaron al Testigo en 5,44 (6,0%) y 0,62 (5,0%) TM/ha de caña y azúcar, respectivamente, y fueron menores en -1,33 kg/TM (-0,96%) en concentración de sacarosa.

En el caso de las 3 dosis promedio de P₂O₅ la situación fue diferente, pues siempre superaron al Testigo sin P, lo que en concentración de sacarosa fue equivalente a 0,39 kg/TM (0,30%), en producción de caña a 21,84 TM/ha correspondiente a un importante 28,3% y a 3,03 TM de azúcar/ha (28,8%). En las 3 variables hubo incremento lineal hasta la dosis de 150 kg de P₂O₅/ha, la cual mostró al adicionarla sin el complemento de la Cal la mejor concentración de sacarosa (140,87 kg/TM) y producción de azúcar (14,25 TM/ha); la interacción 2 – 100 de Cal (TM) y P₂O₅ (kg/ha), respectivamente, fue la mejor en productividad de caña (TM/ha). La dosis de 150 kg de P₂O₅/ha resulta ser técnica y económicamente la más viable y recomendable de adicionar al suelo al momento de realizar la siembra.

Cuadro 7. Evaluación Agroindustrial de la Interacción CaCO₃ – P₂O₅.

Tratamientos TM kg	Fibra (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
CAL - P ₂ O ₅						
0 - 0	<u>16,73</u> a	137,45	70,91 c	9,75 d	100	7,3
0 - 100	16,47 ab	135,28	89,13 abc	12,06 bc	124	7,4
0 - 150	15,85 ab	<u>140,87</u>	101,13 ab	<u>14,25</u> a	<u>146</u>	7,1
0 - 200	16,61 ab	137,10	98,54 abc	13,51 abc	139	7,3
1 - 0	15,47 b	137,90	80,36 bc	11,08 cd	114	7,2
1 - 100	16,20 ab	136,90	99,52 ab	13,62 ab	140	7,3
1 - 150	16,44 ab	136,77	103,47 ab	14,15 ab	145	7,3
1 - 200	15,84 ab	136,79	97,74 abc	13,37 abc	137	7,3
2 - 0	16,68 ab	134,12	80,26 bc	10,76 cd	110	<u>7,5</u>
2 - 100	16,64 ab	135,95	<u>104,29</u> a	14,18 ab	145	7,4
2 - 150	16,26 ab	135,98	97,97 abc	13,32 abc	137	7,4
2 - 200	16,27 ab	136,33	99,35 abc	13,54 abc	139	7,3
Promedio	16,29	136,79	93,56	12,80	131	7,3
C.V. (%)	3,58	4,32	7,52	8,91	-	-

* Promedio de 3 repeticiones y 3 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Tratamientos con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí, según prueba de Tuckey (5%).

Siguiendo con la misma idea de evaluar y maximizar factores de la producción vinculados y procurando establecer sinergismos que induzcan efectos integrales positivos, BARRANTES y CHAVES (2000a) estudiaron en La Fortuna de San Pedro la respuesta de 3 variedades de amplio uso nacional y regional respecto a la adición de 4 dosis crecientes de CaCO₃. El Cuadro 8 resume los principales resultados promedio

obtenidos luego de efectuadas 3 cosechas del estudio de la **Interacción Variedades Vs. Dosis de Cal.**

Los clones evaluados, no así las dosis, marcaron diferencia estadística significativa, lo que también aconteció con la interacción Clon x Dosis. Tanto PINDAR como SP 71-5574 superaron en promedio ampliamente (12,3 (9,8%) y 13,3 (10,5%) kg/TM, respectivamente) a B 47-44 en cuanto a concentración de sacarosa en los tallos; siendo la SP integralmente la de mayor concentración (139,20 kg/TM). No aconteció lo mismo con el tonelaje de caña/ha, pues la B 47-44 superó en promedio en un 1,6% (1,55 TM/ha) a la SP 71-5574 y en un significativo 23,1% (18,8 TM/ha) a PINDAR. La productividad de azúcar fue sin embargo favorable para la SP 71-5574 al superar en promedio a B 47-44 en un 8,9% (1,12 TM/ha) y en 21,9% (2,47 TM/ha) a PINDAR.

Todas las dosis de Cal superaron en productividad de caña y azúcar (TM/ha) al Testigo Sin Cal, no así en cuanto a concentración de sacarosa. La dosis de 1,0 TM de CaCO₃ fue la mejor en todas las variables de productividad agroindustrial evaluadas. De acuerdo con los resultados (Cuadro 8), la mayor concentración de sacarosa en los tallos (142,78 kg/TM) y producción de azúcar/ha (14,03 TM) se logró con el cultivo de la SP 71-5574 y la adición de 2 TM de CaCO₃; en tanto que la B 47-44 produjo la mayor cantidad de caña (103,71 TM/ha) cuando se complementó con una dosis de 1,0 TM de CaCO₃.

Queda así demostrado lo productivamente conocido y ampliamente verificado, en cuanto a que no todas las variedades de caña de azúcar de uso comercial tienen los mismos requerimientos nutricionales y edafoclimáticos, y responden por tanto de manera muy diferente a la adición de Cal y Fertilizantes (CHAVES 1996; 1999ab; 2000).

Cuadro 8. Efecto de 4 Dosis de CaCO₃ sobre 3 Clones Comerciales de Caña.

Tratamientos		Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)			
CAL (TM/ha)	VARIEDAD		Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)
0	B 47-44	125,89 bc	97,13 abc	100	12,23abcd	100
	PINDAR	140,00 abc	75,77 c	100	10,61 d	100
	SP 71-5574	139,00 abc	98,95 ab	100	13,75 ab	100
	Promedio	134,96	90,62	100	12,20	100
1	B 47-44	126,33 bc	103,71 a	107	13,10abcd	107
	PINDAR	140,78 ab	84,74 bc	112	11,93abcd	112
	SP 71-5574	138,00 abc	100,59 ab	102	13,88 abc	101
	Promedio	135,04	96,35	106	12,97	106
1,5	B 47-44	128,22 abc	97,64 ab	101	12,52abcd	102
	PINDAR	136,89 abc	82,82 c	109	11,34 cd	107
	SP 71-5574	137,00 abc	97,02 abc	98	13,29 abc	97
	Promedio	134,04	92,49	102	12,38	102
2	B 47-44	123,33 c	102,57 ab	106	12,65abcd	103
	PINDAR	135,44 abc	82,53 c	109	11,18 bcd	105
	SP 71-5574	142,78 a	98,27 b	99	14,03 a	102
	Promedio	133,85	94,46	104	12,62	103
Promedio General		134,47	93,48	103	12,54	103
C.V (%)		6,01	7,59	-	11,14	-

* Promedio de 3 repeticiones y 3 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Tratamientos con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí, según prueba de Tuckey 5%.

2.2) NITRÓGENO (N)

Por función, funcionabilidad y efectos productivos agroindustriales (positivos y negativos), el Nitrógeno ha sido por tradición y preferencia uno de los nutrimentos más estudiados y utilizados en la práctica de la fertilización comercial de plantaciones de caña de azúcar en todo el mundo. Se realizó por ello un estudio en La Fortuna de San Pedro evaluando 6 **Fuentes Nitrogenadas**: Urea (46% N); Nitrato de Amonio (33,5% N); Nutrasul (27% N y 8,33% S); Sulfato de Amonio (21% N y 23,7% S); Nitramón (20% N y 8% MgO) y Nitrato de Calcio (15,5% N y 19% de CaO). Se utilizó el clon SP 71-5574 y como fertilización una base general de 150 kg de N, P₂O₅ y K₂O (BARRANTES y CHAVES 2003).

Se evidenció que el resultado productivo (Cuadro 9) está fuertemente ligado y determinado por la Fuente Nitrogenada empleada, fundamentalmente por el elemento acompañante del N, donde se determinó que el S reviste y desempeña un rol especial muy positivo. El Sulfato de Amonio fue la mejor fuente evaluada en todas las cosechas, superando al Testigo (-N) en un significativo 35,8% equivalente a 35,5 TM de caña/ha y un 31%, equivalente a 4,45 TM de azúcar/ha. La concentración de sacarosa en los tallos se vio sin embargo disminuida en -1,73 kg/TM (-1,21%).

En TM de caña/ha el Nitrato de Amonio, el Nitramón y la Urea fueron junto con el Testigo, estadísticamente diferentes (5%) e inferiores respecto al Sulfato de Amonio. En TM de azúcar/ha aconteció el mismo efecto con el Nitramón, la Urea y el Testigo. La eficiencia porcentual en cuanto a producción de azúcar (TM/ha) luego de 4 cosechas respecto al Testigo, fue como sigue: Sulfato de Amonio (31%), Nutrasul (23,7%), Nitrato de Calcio (23,3%), Nitrato de Amonio (18,7%), Nitramón (15,9%) y Urea (10,9%), lo que también ocurrió con la caña/ha (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados Estudio 6 Fuentes de N. Promedio de 4 Cosechas.

Tratamientos	Porcentaje		Rendimiento Industrial (kg azúcar/TM)	Producción (TM/ha)				Relac. Caña/ Azúcar	PRT (%)
	Pureza	Fibra		Caña		Azúcar			
SULFATO AMONIO	92,35	14,48	143,27	134,76	a	18,81	a	7,2	131
NUTRASUL	89,83	14,86	142,96	124,31	ab	17,76	ab	7,0	124
NITRATO CALCIO	91,06	14,72	143,09	124,20	abc	17,70	abc	7,0	123
NITRATO AMONIO	91,70	14,46	140,00	121,04	bc	17,05	abc	7,1	119
NITRAMON	88,99	14,53	140,46	118,15	bc	16,65	bc	7,1	116
UREA	91,19	14,79	139,96	113,87	bc	15,92	bc	7,2	111
TESTIGO (-N)	91,01	14,56	145,00	99,23	c	14,36	c	6,9	100
PROMEDIO	90,87	14,63	142,10	119,37	-	16,89	-	7,1	-
C.V. (%)	3,15	4,07	5,19	7,82	-	8,70	-	-	-

Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%.

Relación Caña/Azúcar: Cantidad necesaria (tm) de materia prima para producir una tonelada de azúcar.

PRT: Diferencia porcentual respecto al testigo sin Nitrógeno para la variable TM de azúcar/ha.

Complementariamente se efectuó en un Ultisol (*Ustoxic palehumult*) de La Ceniza de San Isidro una prueba de campo (QUIRÓS 1993; QUIRÓS y CHAVES 1993), donde se evaluó la interacción de **3 Variedades Comerciales y 6 Dosis Crecientes de N/ha**. Se encontró (Cuadro 10) resultados estadísticamente diferentes (1%) entre clones en todas las variables agroindustriales; la interacción Dosis x Clon fue significativa (10%) para el Rendimiento Industrial y la Sacarosa en Caña (5%). La producción de caña y azúcar (TM/ha) fue igualmente diferente al 1% en lo referente a dosis y clones, no así su interacción. La variedad SP 71-5574 fue superior en características agronómicas, calidad industrial y producción de caña y azúcar (TM/ha). El tonelaje de caña se incrementó en promedio linealmente hasta los 150 kg de N/ha en las variedades PINDAR y SP 71-5574 y hasta los 200 kg con la B47-44; con el azúcar (TM/ha) aconteció lo mismo hasta los 200 kg de N, excepto la reducción mostrada por la dosis de 50 kg en la SP. La mejor dosis fue la de 150 kg de N/ha, pese a lo cual, la mayor Tasa de Retorno Marginal se alcanzó con la adición de 250 kg en la SP 71-5574 (642%), 200 kg (243%) para la B 47-44 y 150 kg (81%) en el caso de PINDAR.

Cuadro 10. Evaluación Interacción 6 Dosis de Nitrógeno y 3 Clones Comerciales.

VARIEDAD	Dosis N (kg/ha)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)			
			Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)
SP 71-5574	0	131,14	78,93	100	10,35	100
	50	121,63	81,84	104	9,95	96
	100	137,08	82,25	104	11,27	109
	150	132,70	86,25	109	11,44	111
	200	138,88	<u>94,96</u>	<u>120</u>	<u>13,19</u>	<u>127</u>
	250	<u>143,55</u>	88,75	112	12,74	123
	Promedio	134,67	85,50	108	11,49	111
PINDAR	0	122,35	55,44	100	6,78	100
	50	120,52	57,62	104	6,94	102
	100	<u>123,92</u>	57,59	104	7,14	105
	150	109,99	<u>70,98</u>	<u>128</u>	<u>7,81</u>	<u>115</u>
	200	116,94	64,12	116	7,50	111
	250	110,52	67,92	123	7,51	111
	Promedio	117,37	62,28	112	7,28	107
B 47-44	0	117,21	65,06	100	7,62	100
	50	111,67	70,04	108	7,82	103
	100	118,51	76,56	118	9,07	119
	150	117,22	86,79	133	10,17	134
	200	<u>119,04</u>	<u>91,16</u>	<u>140</u>	<u>10,85</u>	<u>142</u>
	250	103,21	82,25	126	8,55	112
	Promedio	114,48	78,74	121	9,02	118
Prom. General		122,00	75,50	-	9,26	-
C.V (%)		7,02	10,37	-	14,02	-

* Promedio de 3 repeticiones y cosecha del Ciclo Planta.

2.3) FÓSFORO (P)

La condición natural ácida de los suelos de la región cañera del sur, presenta características y condiciones particulares que favorecen la indisponibilidad e insuficiencia en grado variable del Fósforo (P) para la planta. Siendo éste un nutrimento esencial de enorme importancia e impacto productivo en la caña de azúcar, resulta imperativa, insoslayable y obligante su evaluación (disponibilidad, fijación, movilidad, solubilidad, absorción y respuesta productiva) en las condiciones normales de producción comercial del lugar.

Con el objeto de conocer la respuesta de la planta se evaluó en un Ultisol de La Fortuna de San Pedro (560 msnm), la adición de 6 **Dosis Crecientes de P₂O₅** (BARRANTES y CHAVES 2000b), cuyos resultados promedio se muestran en el Cuadro 11. Se encontró respuesta estadística significativa (5%) entre las 3 principales variables agroproductivas evaluadas. Se encontró que todas las dosis de P al ser valoradas de manera integral superaron ampliamente al Testigo sin P, lo que en concentración de sacarosa representó en promedio 8,97 kg/TM, equivalente al 6,98%; en producción de caña alcanzó un 21,19 TM/ha (30,5%) y en azúcar el 3,54 TM/ha correspondiente a un importante, contundente y determinante 39,6%. La amplitud de las respuestas individuales de las dosis se ubican entre 137,02 y 139,96 kg/TM (2,94 kg) en concentración de sacarosa, 79,92 - 98,84 TM/ha (18,92 TM) de caña y 10,96 - 13,83 TM/ha (2,87 TM) de azúcar.

La mejor dosis de P desde una perspectiva productiva luego de realizadas 4 cosechas fue la de 400 kg de P₂O₅/ha, la cual superó al Testigo sin P en 11,39 kg (8,9%) de sacarosa/TM, 29,33 (42,2%) TM/ha de caña y 4,89 (54,7%) TM/ha de azúcar. Sin embargo, interpretado desde una viabilidad pragmática, la dosis de 150 kg de P₂O₅/ha parece resultar suficiente para atender las necesidades nutricionales del cultivo

Cuadro 11. Evaluación Agroindustrial de 6 Dosis Crecientes de P₂O₅.

Dosis (kg/ha) P ₂ O ₅	Fibra (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)				Relación Caña/Azúcar
			Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)	
0	16,44 ab	128,57 b	69,51 c	100	8,94 d	100	7,8
50	<u>16,84</u> a	137,19 ab	79,92 bc	115	10,96 cd	123	7,3
100	16,11 b	138,38 ab	86,77 ab	125	12,01 bcd	134	7,2
150	16,18 ab	137,02 ab	94,96 ab	137	13,01 ab	145	7,3
200	16,29 ab	135,16 ab	92,99 ab	134	12,57 abc	141	7,4
400	16,26 ab	<u>139,96</u> a	<u>98,84</u> a	<u>142</u>	<u>13,83</u> a	<u>155</u>	7,1
Promedio	16,35	136,05	87,17	125	11,89	133	7,4
C.V (%)	3,02	4,22	10,40	-	11,04	-	-

* Promedio de 4 repeticiones y 3 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%.

Relación Caña/Azúcar: Cantidad necesaria (TM) de materia prima para fabricar una tonelada de azúcar.

PRT: Diferencia porcentual respecto al testigo sin Nitrógeno para la variable TM azúcar/ha.

Con anterioridad, LEIVA (1986) y LEIVA y CHAVES (1986) habían realizado un estudio similar donde evaluó **8 Dosis Crecientes de P₂O₅/ha** y un Testigo absoluto en los terrenos de La Ceniza, categorizados dentro del orden Ultisol, cuya condición de acidez era bastante limitante al tipificarse en los primeros 20 cm en: pH 4,8; concentración de Al en 1,08; Ca en 1,5; Mg en 0,47 y K en 0,14, dados en meq/100 ml de suelo. La saturación de Acidez alcanzó el 33,9%. El suelo reportó una concentración de apenas 5 µg/ml interpretada como muy baja y por tanto deficiente. Cabe destacar que durante la preparación del terreno para la siembra se aplicó al voleo e incorporó una tonelada de CaCO₃ al suelo.

El Cuadro 12 expone los principales resultados agroindustriales obtenidos luego de una cosecha (ciclo planta), realizada a los 17 meses de edad de la variedad comercial Q 68.

Dosis (kg/ha) P ₂ O ₅	Fibra (%) Caña	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)				Relación Caña/Azúcar
			Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)	
Testigo Absoluto	15,1 ab	<u>105,92</u>	62,7 c	98	6,63	104	9,5
0	12,1 b	100,33	63,7 c	100	6,36	100	10,0
60	16,0 a	102,73	72,4 abc	114	7,51	118	9,6
120	15,5 ab	104,60	77,4 ab	122	8,13	128	9,5
180	15,0 ab	104,67	78,6 ab	123	<u>8,25</u>	<u>130</u>	9,5
240	15,7 ab	100,97	74,2 abc	116	7,50	118	9,9
300	<u>16,3</u> a	104,10	66,2 bc	104	6,93	109	9,5
360	15,5 ab	95,07	68,9 abc	108	6,63	104	<u>10,4</u>
420	15,3 ab	101,32	<u>80,6</u> a	<u>127</u>	8,21	129	9,8
Promedio	15,4	102,19	71,6	112	7,35	116	9,7
C.V (%)	7,99	8,84	13,10	-	18,57	-	-

* Promedio de 5 repeticiones y 1 cosecha de la variedad Q 68.

Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí, según Duncan 5%.

Relación Caña/Azúcar: Cantidad necesaria (TM) de materia prima para fabricar una tonelada de azúcar.

PRT: Diferencia porcentual respecto al testigo sin Fósforo para las variables TM de Caña y Azúcar/ha.

Los resultados evidencian la contundencia entre adicionar y no adicionar P al suelo, expresada con un significativo efecto positivo agroindustrial, en el cual la dosis mayor de 420 kg fue la que más caña (80,6 TM/ha) produjo superando al Testigo sin P en un 27% equivalente a 16,9 TM; en el azúcar la mejor dosis fue la de 180 kg de P₂O₅/ha la cual fue mayor en 1,89 TM correspondiente al 30%. La concentración de sacarosa en los tallos se vio también mejorada, excepto en la dosis de 360 kg de P₂O₅/ha, respecto al Testigo sin P; pese a lo cual, no supero al Testigo Absoluto. Se concluye y demuestra el efecto positivo que el P adicionado al suelo induce sobre los índices agroindustriales de productividad.

Coincidentes con el mismo tópic anterior, se estudió la adición de **7 Dosis Crecientes de P₂O₅/ha** en La Fortuna de San Pedro (DIECA 1992a; CHINCHILLA 1988b), verificándose resultados similares y contundentes como se aprecia en el Cuadro 13, donde todas las dosis superaron ampliamente al Testigo tanto en producción (TM/ha) de caña como de azúcar. Se infiere a partir de los resultados de dicha prueba, que la dosis de 150 kg de P₂O₅/ha es la mejor desde una perspectiva productiva y económica, al incrementar la caña en 26,41 TM/ha lo que correspondió a un 88,4% y el azúcar en 3,65 TM/ha (85,7%).

Como se infiere de los resultados obtenidos a partir de los estudios donde se evaluaron dosis crecientes de P₂O₅/ha adicionados al suelo, existe mucha coincidencia entre las dosis de mejor respuesta (no necesariamente mayor) identificadas. El resultado de las tres pruebas anteriormente expuestas lo demuestra, pues se ubicaron entre 150 y 180 kg de P₂O₅/ha.

Cuadro 13. Evaluación agroindustrial de 7 Dosis crecientes de Fósforo.

Dosis (kg/ha) P ₂ O ₅	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)				Relación Caña/Azúcar
			Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)	
0	89,00	<u>143,24</u>	29,86	100	4,26	100	7,0
50	88,73	141,18	48,69	163	6,85	161	7,1
100	88,91	143,03	48,68	163	6,63	155	7,3
150	89,00	141,40	56,27	188	<u>7,91</u>	<u>186</u>	7,1
200	88,10	136,95	45,68	153	6,24	146	7,3
250	<u>89,08</u>	142,02	48,61	163	6,87	161	7,1
300	87,28	133,82	<u>56,70</u>	<u>190</u>	7,52	176	<u>7,5</u>
Promedio	88,58	140,23	47,78	160	6,61	155	7,2
C.V (%)	1,77	4,32	16,93	-	-	-	-

* Promedio de 4 repeticiones y 3 cosechas de la variedad PINDAR.

Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%.

Relación Caña/Azúcar: Cantidad necesaria (TM) de materia prima para producir una tonelada de azúcar.

PRT: Diferencia porcentual respecto al testigo sin Nitrógeno para la variable TM azúcar/ha.

La posibilidad que ofrecen las fuentes fosfóricas de solubilidad variable resulta de mucho interés para la zona, virtud de las características ácidas de sus suelos y la condición semiperenne del cultivo, cuyos ciclos vegetativos (12-14 meses) y vida comercial de la plantación (5-6 ciclos) son prolongados. Fue así como se estudio comparativamente en La Fortuna de San Pedro (BARRANTES y CHAVES 2006), el efecto de **Solubilidad de 2 Fuentes Fosfóricas**, evaluando una Fuente de relativa lenta solubilidad (ROCA FOSFÓRICA) procedente de Carolina del Norte (33% de P₂O₅ y Ca) respecto a otra de rápida solubilidad representada por el tradicional Triple Superfosfato (46% de P₂O₅ y 13% de Ca), ambos en una Dosis general de 150 kg de P₂O₅/ha. La evaluación involucró diferentes proporciones (mezclas) porcentuales (0, 25, 50 y 100%) de ambas Fuentes.

Los resultados promedio de 4 cosechas muestran (Cuadro 14) que todos los tratamientos con P mejoraron los índices de rendimiento de las 3 variables agroindustriales, lo que ratifica la benevolencia del nutrimento en la nutrición de la caña. Se notó como era esperable, algún mejoramiento productivo del TSP en las 2 primeras cosechas y de la RF en las 2 últimas; se evidenció algún efecto residual de la RF 100%. Las RF (100%) no mostraron luego de 4 cosechas ser superiores al TSP (100%), excepto en la concentración de sacarosa, pese a lo cual las diferencias fueron mínimas. La proporción 50% RF y 50% TSP obtuvo la mejor concentración promedio de sacarosa (144,49 kg/TM) y producción de azúcar (14,22 TM/ha), superando al testigo sin P en 4,55 kg (31,8%) y 3,43 TM/ha (%), respectivamente. La producción de caña se estimuló con el empleo del TSP (100%), el cual superó al testigo en 23,88 TM/ha correspondiente al 31%.

Cuadro 14. Evaluación de 2 Fuentes de Fósforo de solubilidad variable.

Tratamientos	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)				Relación Caña/Azúcar
			Caña	PRT (%)	Azúcar	PRT (%)	
Testigo	91,44	139,94	76,97 b	100	10,79 b	100	7,1
25 RF / 75 TSP	92,73	138,74	92,89 ab	121	12,87 ab	119	<u>7,2</u>
50 RF / 50 TSP	92,34	<u>144,49</u>	98,40 ab	128	<u>14,22 a</u>	<u>132</u>	6,9
75 RF / 25 TSP	91,71	141,42	99,20 ab	129	14,04 ab	130	7,1
100 RF / 0 TSP	<u>92,90</u>	142,82	97,68 ab	127	13,99 ab	130	7,0
0 RF / 100 TSP	91,96	140,75	<u>100,85 a</u>	131	14,17 ab	131	7,1
Promedio	92,18	141,36	94,33	123	13,35	124	7,1
C.V (%)	2,08	5,17	10,92	-	11,78	-	-

* Promedio de 3 repeticiones y 4 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%.

Relación Caña/Azúcar: Cantidad necesaria (tm) de materia prima para producir una tonelada de azúcar.

PRT: Diferencia porcentual respecto al testigo sin Nitrógeno para la variable TM azúcar/ha.

De forma complementaria y procurando determinar la incidencia productiva de las **Fuentes de P**, se estudiaron diferentes fuentes sobre 2 variedades de uso comercial en la región. Para ello se investigó en La Fortuna de San Pedro (CHAVES y BARRANTES 2006c), la interacción de 4 fuentes comerciales de P: TRIPLE SUPERFOSFATO –TSP- (46% de P₂O₅ y 13% de Ca); FOSFATO MONOAMÓNICO-MAP-(10% de N y 50% de P₂O₅); FOSFATO DIAMÓNICO-DAP- (18% de N y 46% de P₂O₅) y ROCA FOSFÓRICA-RF-(Carolina del Norte con 33% de P₂O₅ y Ca), aplicados al fondo del surco en una dosis general de 150 kg de P₂O₅/ha.

Los resultados (Cuadro 15) demuestran que hubo diferencias estadísticas significativas entre clones sólo para la producción de caña y azúcar/ha. Las mejores productividades se asociaron con el clon SP 71-5574, el cual superó en promedio a la variedad Mex 68-p-23 en 5,67 kg/TM (4,1%) en cuanto a concentración de sacarosa; en 35,4 TM de caña/ha (46,2%) y 5,4 TM de azúcar /ha (51,8%).

El tratamiento SP-DAP fue el de mejor concentración de sacarosa y producción de caña luego de 4 cosechas, al superar al Testigo TSP en 0,17% (0,24 kg/TM) y 2,9% (3,45 TM/ha), respectivamente; esto repercutió en la productividad de azúcar al incrementarla en un 3,47% (0,57 TM/ha). Las fuentes más solubles y disponibles (TSP-DAP-MAP) mostraron integralmente una mejor respuesta en productividad de azúcar (16,35 TM/ha) en la variedad SP, pues aumentaron sus rendimientos de campo en 14,47% (2,07 TM/ha) al compararse con la RF (14,28 TM/ha). En la variedad Mex la RF fue la que mejor respuesta en azúcar logró (10,78 TM/ha). Las fuentes TSP y DAP superaron al resto al emplearse con la SP 71-5574 y la RF con la Mex 68-p-23.

Se demuestra y ratifica nuevamente en el presente caso, la relevancia y determinación que mantiene la naturaleza de la variedad de caña de azúcar sembrada, sobre los rendimientos agroindustriales (CHAVES 1996, 1999ab, 2000; CHAVES *et al* 2004).

Cuadro 15. Evaluación Agroindustrial Interacción Clones – Fuentes de P.

Tratamientos	Fibra (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
CLON - FUENTE						
SP - TSP	14,68	142,58	115,70 a	16,39 a	100	7,1
SP - RF	15,54	140,59	102,79 a	14,28 ab	87	7,2
SP - MAP	14,94	142,75	110,26 a	15,69 a	96	7,0
SP - DAP	15,10	142,82	119,15 a	16,96 a	103	7,0
Promedio	15,07	142,19	111,98	15,83	97	7,1
Mex - TSP	14,52	135,67	78,51 b	10,65 b	65	7,4
Mex - RF	15,07	137,11	78,77 b	10,78 b	66	7,3
Mex - MAP	14,42	137,49	74,66 b	10,21 b	62	7,3
Mex - DAP	14,78	135,82	74,38 b	10,09 b	62	7,4
Promedio	14,70	136,52	76,58	10,43	98	7,3
Prom. General	14,88	139,35	94,28	13,13	80	7,2
C.V. (%)	4,42	4,64	19,29	20,33	-	-

Promedio de 3 repeticiones y 4 cosechas de los clones SP 71-5574.y Mex 68-p-23

Tratamientos con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí, según prueba de Tuckey 5%.

Con el objeto de conocer la respuesta del **P aplicado en una condición de manejo comercial tradicional** utilizado por parte de los agricultores de la región sur (**Manejo del Productor**), respecto a una propuesta de fertilización fosfórica adicionada al fondo del surco recomendada por DIECA (**F-P 100%**) y otra conteniendo la mitad de la dosis de P (**F-P 50%**), se estudió en La Fortuna de San Pedro, mediante una parcela de verificación esos 3 tratamientos semicomerciales. Hubo además complementariamente otra variante tecnológica importante de fondo entre los tratamientos estudiados, referente a la cantidad (densidad) de semilla sembrada (TM/ha), pues la tecnología del agricultor emplea por lo común mayor cantidad al sembrar 5,2 TM más correspondiente a un 45,9% (DIECA 1993).

El Cuadro 16 contiene los resultados agroindustriales de dicha parcela en su ciclo vegetativo de caña planta de la variedad SP 71-5574. Como se aprecia, los tonelajes de caña y azúcar fueron muy superiores en los tratamientos recomendados por DIECA respecto al del agricultor, al superarlo en 29,13 y 13,78 TM de caña equivalentes al 33,0% y 15,5%, con la adición del 100% y el 50% del programa de fertilización recomendado. La misma fue de 4,34 y 2,76 TM en el caso del azúcar (31,6 y 20,1%, respectivamente). La concentración de sacarosa se vio favorecida con la dosis del 50% de P y ligeramente reducida con la del 100%. Se concluye que pese a utilizar y sembrar más semilla, lo que en principio podría suponer mejor germinación y más plantas, el uso del P en dosis suficientes se traducen en mayores rendimientos agroindustriales, lo que justifica plenamente y retribuye la inversión realizada.

Cuadro 16. Evaluación de 3 Programas de Manejo y Fertilización Comercial.

Tratamientos	Fertilización (kg/ha)	Semilla *		Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)
	N - P ₂ O ₅ - K	N°	TM/ha		Caña	Azúcar	
F-P 100%	222 - 225 - 216	2	11,2	154,06	<u>117,35</u>	<u>18,08</u>	<u>132</u>
F-P 50%	187 - 112 - 182	2	11,0	<u>161,82</u>	102,00	16,50	120
Manejo Productor	208 - 140 - 174	3	16,2	155,76	88,22	13,74	100
Promedio	206 - 159 - 191	-	-	157,21	102,52	16,11	117
C.V (%)	- - -	-	-	2,59	14,21	13,64	-

Parcela comercial de Verificación de 44 surcos de 20 metros de largo (968 m²).

* Se refiere al Número de Chorros de Semilla/Surco y su equivalente en TM/ha.

2.4) POTASIO (K)

La investigación específica sobre este importante nutrimento esencial ha sido en realidad limitada, valorándolo el nutrimento más de manera interaccionada en relación a su reconocido sinergismo con el N, como se expondrá más adelante. Pese a ello, se estima que esta muy clara y demostrada su necesidad dentro del balance nutricional integral de la caña de azúcar (CHAVES 1996, 1999ab, 2000).

2.5) MAGNESIO (Mg)

Siendo la región cañera del sur (exceptuando los distritos de Potrero Grande y General Viejo) claramente deficitaria en este importante nutrimento, resulta fundamental y necesario conocer el grado de respuesta del cultivo a su adición, principalmente por el efecto directo que su deficiencia induce, como también el indirecto vinculado con las relaciones antagónicas y sinérgicas que establece básicamente con el Ca y el K, como lo verificara y demostrara CHAVES (1988).

El Cuadro 17 expone el resultado del estudio de **5 Dosis Crecientes de Mg** efectuado en la Fortuna de San Pedro (BARRANTES y CHAVES 2000), promedio de tres cosechas

del clon SP71-5574, donde sólo la producción de caña (TM/ha) alcanzó marcar diferencia estadística significativa (5%) con la adición al suelo de una dosis de 40 kg de MgO/ha, al superar al Testigo en 12,2 TM (15,6%). En cuanto a concentración de sacarosa la dosis de 120 kg fue la mejor (-4,39 kg equivalente a un -3,1%); en tanto que la productividad de azúcar/ha se maximizó con la dosis de 40 kg al superar al Testigo en 1,71 TM (15,6%), obteniendo la mayor Tasa de Retorno Marginal.

Todas las dosis de Magnesio superaron en más de 7,8 TM de caña al Testigo. Se verificó una pérdida del efecto residual del MgO con las cosechas sucesivas, siendo por ello más evidentes los efectos positivos acontecidos durante las dos primeras cosechas.

Cuadro 17. Evaluación de 5 Dosis Crecientes de Magnesio.

Dosis (kg/ha) MgO	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
0	91,98	140,41	78,20	10,98	100	7,1
40	92,33	140,33	90,39	12,69	116	7,1
80	91,75	140,83	87,35	12,27	112	7,1
120	92,56	144,80	85,96	12,43	113	6,9
160	90,53	139,75	87,57	12,24	111	7,2
Promedio	91,83	141,22	85,90	12,12	110	7,1
C.V (%)	2,42	4,20	10,47	11,34	-	-

* Promedio de 4 repeticiones y 3 cosechas.

2.6) AZUFRE (S)

Reconocido y nombrado por CHAVES (2003) como el “*elemento olvidado en la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar*”, virtud de la gran respuesta productiva que la caña de azúcar muestra a su adición en prácticamente todas las zonas cañeras, y la relativa poca investigación y atención que hubo por muchos años en torno a su aplicación.

El Cuadro 18 muestra los promedios de cosecha de la investigación con **6 Dosis Crecientes de S** realizada en un suelo del orden Ultisol de La Fortuna de San Pedro (BARRANTES Y CHAVES 2000). No hubo en la prueba diferencias estadísticas significativas, aunque sí diferencias productivas y económicas importantes, donde todas las dosis superaron al Testigo en toneladas de caña y azúcar (excepto la dosis de 120 kg) producidas (TM/ha). De acuerdo con los resultados obtenidos es recomendable la adición de al menos 40 kg de S-SO₄/ha.

Cuadro 18. Evaluación de 6 Dosis de Azufre. Promedio de 3 cosechas

Dosis (kg/ha) SO ₄	Fibra (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
0	15,2	142,52	94,79	13,51	100	7,0
40	15,2	140,85	100,21	14,11	104	7,1
80	15,6	142,07	99,18	14,09	104	7,0
120	<u>15,8</u>	136,54	97,28	13,28	98	<u>7,3</u>
160	15,3	<u>144,84</u>	99,61	<u>14,43</u>	<u>107</u>	6,9
180	15,3	141,35	<u>101,67</u>	14,37	106	7,1
Promedio	15,4	141,36	98,79	13,97	103	7,1
C.V (%)	3,64	4,66	9,06	8,91	-	-

* Promedio de 4 repeticiones y 3 cosechas de la variedad SP 71-5574.

Procurando identificar y afinar aún más la dosis técnico-económica más viable para aplicar comercialmente, se estableció otro estudio de campo donde se evaluó **7 Dosis Crecientes de S** en un Ultisol de Cajón (DIECA 1992b), por medio del cual se ratifica el resultado anterior en el sentido de que la adición de aproximadamente 50 kg de S-SO₄/ha pareciera resultar suficiente y rentable, como se infiere del contenido del Cuadro 19.

Cuadro 19. Evaluación de 7 Dosis de Azufre. Promedio de 3 cosechas

Dosis (kg/ha) SO ₄	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
0	85,28	136,47	96,37	13,17	100	7,3
25	<u>86,92</u>	140,37	96,58	13,58	103	7,1
50	86,02	140,50	97,71	<u>13,77</u>	<u>104</u>	7,1
75	85,33	135,44	93,64	12,66	96	<u>7,4</u>
100	85,79	<u>142,11</u>	94,93	13,50	102	7,0
125	86,22	139,47	<u>98,59</u>	13,75	104	7,2
150	85,99	140,92	94,22	13,27	101	7,1
Promedio	85,94	139,33	96,01	13,39	102	7,2
C.V (%)	0,65	1,76	1,90	2,92	-	-

* Promedio de 4 repeticiones y 3 cosechas de la variedad PINDAR.

2.7) **ZINC (Zn)**

La experiencia y respuesta agroindustrial obtenida a nivel nacional con la adición de este importante nutrimento esencial ha sido mayoritariamente muy positiva, lo que motivó evaluar (CHAVES y BARRANTES 2003) en La Fortuna de San Pedro, la adición al suelo de **7 Dosis Crecientes y 2 Fuentes de Zinc** como ZnSO₄. H₂O (36% Zn y 18% S) y un tratamiento foliar adicional de 0,5 l/ha (Metalosato de Zinc 6%).

El Cuadro 20 expone los principales resultados agroindustriales obtenidos en el estudio, ratificando el efecto favorable y rentable del Zn al superar siempre al Testigo en producción tanto de caña como de azúcar, aunque sin alcanzar diferencias estadísticas

significativas. La producción de caña (TM/ha) mantuvo mayor consistencia, pues la concentración de sacarosa y el azúcar producido/ha presentaron un comportamiento más errático e inconsistente. Los mejores índices productivos se alcanzaron con la adición de 10 kg de ZnSO₄/ha en la concentración de sacarosa y de 20 kg de ZnSO₄/ha en la productividad de caña y azúcar/ha. La fuente granular adicionada al suelo fue más consistente en su respuesta en el tiempo respecto a la foliar durante el experimento, lo que merece y justifica más investigación. Se estima como suficiente técnico-económicamente la adición al suelo de una dosis de 20 kg de ZnSO₄/ha.

Cuadro 20. Evaluación Agroindustrial de 7 Dosis y 2 Fuentes de Zinc.

Dosis (kg Zn/ha)	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
0	89,72	141,18	93,33	13,18	100	7,1
10	91,30	145,05	103,30	14,98	114	6,9
20	92,01	143,56	107,15	15,38	117	7,0
30	92,29	143,89	96,76	13,92	106	6,9
40	93,09	141,34	98,13	13,87	105	7,1
50	91,06	144,83	104,53	15,14	115	6,9
60	91,09	144,97	103,02	14,93	113	6,9
FOLIAR	92,89	141,18	97,57	13,77	105	7,1
Promedio	91,68	143,25	100,47	14,40	109	7,0
C.V (%)	2,70	4,03	13,37	13,71	-	-

* Promedio de 3 repeticiones y 4 cosechas de la variedad SP71-5574.

2.8) SILICIO (Si)

Este nutrimento se ha evaluado en la región adicionándolo en dos **Formas y Fuentes de Si** diferentes. Una como enmienda mediante el empleo de Silicatos de Calcio (CaSiO₄) y la otra foliarmente como de Óxido de Silicio (21,5% SiO₂). Los resultados del estudio con Silicatos realizado en la Fortuna de San Pedro con la variedad SP71-5574 (MESÉN; CHAVES y BARRANTES 1996), no evidenciaron de acuerdo con el Cuadro 21, diferencias estadísticas en ninguna de las variables agroindustriales evaluadas, pese a lo cual los jugos se mejoraron de manera lineal hasta la dosis de 2 TM de Silicato y la producción de caña (en 2,5 TM/ha equivalente al 3,12%) de manera lineal creciente hasta la dosis de 2,5 TM. La producción de azúcar se incrementó también linealmente hasta la dosis de 2 TM, al producir 2,7 TM más (8%) que el testigo.

Cuadro 21. Evaluación Agroindustrial de 6 Dosis de Silicato de Calcio.

Dosis (TM/ha) CaSiO ₄	Pureza (%)	Rendimiento Industrial (Kg/TM)	Producción (TM/ha)		PRT (%)	Relación Caña/Azúcar
			Caña	Azúcar		
0	89,5	124,49	78,72	9,76	100	8,1
1,0	88,5	126,63	78,22	9,89	101	7,9
1,5	89,4	126,51	79,65	10,10	103	7,9
2,0	90,5	129,78	80,89	10,50	108	7,7
2,5	90,2	122,97	81,18	10,00	102	8,1
3,0	89,9	128,43	80,99	10,44	107	7,8
Promedio	89,7	126,47	79,94	10,12	104	7,9
C.V (%)	1,72	5,33	5,72	7,05	-	-

* Promedio de 4 repeticiones en ciclo de caña planta.

En el caso del SiO₂ los resultados parciales de la primera cosecha (*Aún No Publicados 2007*), revelan un incremento promedio integral de los dos productos comerciales estudiados (*Silex y Quick-Sol*) en productividad de caña y azúcar del 14,0 (11,83 TM) y 9,1 % (1,06 TM) respecto al Testigo/ha. La concentración de sacarosa en los tallos fue menor en -6,04 kg/TM (-4,35 %) lo que también se notó en relación al empleo de ácidos húmicos y fúlvicos.

2.9) INTERACCIÓN NUTRICIONAL N – K

La reconocida sinergia metabólica resultante de la interacción N-K en el caso particular de la caña de azúcar, está demostrado que resulta efectiva y fundamental como estrategia de incremento productivo sostenible, virtud de la función y funcionabilidad metabólica que cumplen ambos nutrimentos en materia agroindustrial.

Procurando determinar la interacción más favorable, se realizó un estudio de campo en la Fortuna de San Pedro (560 msnm), en donde se evaluó la **Interacción de 4 Dosis de N y K**: 0-75-150-225 kg/ha con una base general de 140 kg de P₂O₅/ha que se adicionó inclusive al Testigo. El Cuadro 22 contiene los resultados individuales de 3 cosechas realizadas a la variedad PINDAR (DIECA 1989, 1990, 1991), verificándose diferencias estadísticas para las principales variables agroindustriales, con lo cual se encontró que la interacción N-K: 150-225 obtuvo en promedio las mayores producciones de caña y azúcar (73,0 y 10,5 TM/ha, respectivamente), al superar al testigo con sólo P en 10,3 TM de caña (16,4%) y 1,8 TM de azúcar/ha (20,7%), respectivamente. Fue notorio que aquellos tratamientos donde la dosis de N y K adicionada fue baja o ausente, la producción de caña y azúcar (TM/ha) también lo manifestó, ratificando la esenciabilidad del N-K.

Cuadro 22. Interacción N-K sobre los Rendimientos Agroindustriales de la Caña de azúcar en Pérez Zeledón Según Cosecha.

Interacción N - K ₂ O	Producción Caña (TM/ha)				Producción Azúcar (TM/ha)			
	I	II	III	Prom.	I	II	III	Prom.
0 0	76,6	57,6	53,8	62,7	10,4	8,2	7,6	8,7
0 75	81,8	52,7	63,0	65,8	11,1	7,7	8,9	9,2
0 150	65,3	51,9	50,1	55,8	9,0	7,7	7,3	8,0
0 225	79,5	61,2	54,4	65,0	11,2	9,1	8,0	9,4
75 0	73,8	53,9	42,5	56,7	10,0	8,1	6,1	8,1
75 75	77,5	52,2	51,4	60,4	10,7	7,7	7,1	8,5
75 150	77,5	59,6	63,4	66,8	10,2	8,6	9,0	9,3
75 225	75,9	63,9	55,3	65,0	9,9	9,0	7,9	8,9
150 0	76,4	53,0	40,2	56,5	10,4	7,9	5,7	8,0
150 75	67,6	38,1	39,1	48,3	9,3	5,6	5,7	6,9
150 150	69,7	53,3	43,8	55,6	9,2	7,8	6,3	7,8
150 225	80,8	71,3	66,8	73,0	11,4	10,2	9,9	10,5
225 0	83,1	55,2	43,4	60,6	11,3	8,1	6,4	8,6
225 75	63,8	39,4	38,2	47,1	8,9	5,6	5,5	6,7
225 150	80,4	63,6	56,6	66,9	10,7	9,6	8,3	9,5
225 225	84,3	59,3	57,5	67,0	10,7	8,7	8,6	9,3
PROMEDIO	75,9	55,4	51,2	60,8	10,3	8,1	7,4	8,6
C.V. (%)	8,3	15,2	17,9	11,7	8,1	15,0	18,3	11,5

* Se adicionó una Dosis de 140 kg de P₂O₅ a todos los Tratamientos.

** Promedio de 3 Repeticiones y 3 Cosechas de la Variedad PINDAR.

3) RESPUESTA EXPERIMENTAL A LA FERTILIZACIÓN

Procurando realizar una conveniente y objetiva interpretación integral de los resultados obtenidos a partir de los estudios experimentales de fertilización, realizados en la región cañera sur durante el periodo 1986-2006, se propone y expone el Cuadro 23, el cual reúne, integra y resume por nutrimento, los resultados promedio de las pruebas anteriormente expuestas. Se anotan particularmente para las variables Producción de Caña y Producción de Azúcar, el valor promedio de aumento productivo-experimental verificado del nutrimento de referencia respecto al Testigo, esto dado tanto en porcentaje de incremento como también en TM/ha.

Dichos índices fueron obtenidos identificando inicialmente para cada nutrimento y por experimento, los valores de aumento del mejor tratamiento fertilizante respecto al Testigo, y posteriormente, se promedió dichos valores.

Cuadro 23. Respuesta Integral Agroindustrial Promedio de los Estudios de Investigación sobre Fertilización Realizados en la Zona Cañera Sur.

NUTRIMENTO	CAÑA *		AZÚCAR	
	%	TM/ha	%	TM/ha
ENMIENDAS	20	16	21	2,2
N	31	<u>23</u>	29	2,9
P	<u>39</u>	20	<u>42</u>	<u>2,9</u>
N - K	16	10,3	21	1,8
Mg	12	15	16	1,7
S	4,8	4,5	5,7	0,8
Zn	14	14	17	2,2
Si	2,9	2,3	8	0,7

* Se refiere al incremento productivo que sobre el Testigo han mostrado en promedio los experimentos de campo realizados en la zona sur durante el periodo 1986-2006.

Se infiere a partir del contenido de dicho Cuadro, que los aumentos alcanzados por la fertilización son altos y muy positivos, virtud de lograr incrementos en el caso de los Macronutrientes (N, P, Ca, Mg) y el Zn, superiores al 12 por ciento reflejados en productividades de más de 15 TM de caña/ha y 1,7 TM de azúcar/ha, lo que resulta destacable y económicamente muy significativo. El S y el Si también mostraron en promedio, una respuesta positiva aunque de menor magnitud.

En lo particular, el P es el nutrimento que mejor respuesta y mayor aumento productivo mantiene en relación a su adición al suelo mediante la fertilización. De acuerdo con lo estudiado en la zona, dicho aumento es en promedio del orden del 39% en la caña y del 42% en el azúcar, expresado en productividades superiores respecto al Testigo de 20 y 2,9 TM/ha, respectivamente. El N mostró el mayor incremento en producción de caña

con un promedio de 23 TM/ha, no así en el porcentaje de aumento el cual fue menor (31%) respecto al del P (39%).

4) RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN COMERCIAL

Con fundamento en la condición de fertilidad natural de los suelos de la región sur (Cuadros 1 y 2), la alta capacidad extractora de la planta, los requerimientos nutricionales particulares de la caña de azúcar, los resultados de la investigación y las experiencias comerciales obtenidas en el lugar, resulta factible sugerir y recomendar con un grado de aproximación significativo, la posible respuesta positiva del cultivo a la adición de nutrimentos esenciales (CHAVES 2003).

Con el objeto de servir como guía técnica para orientar los Programas de Fertilización Comercial que pudieran aplicarse en la región, se expone en el Cuadro 24 una aproximación por nutrimento específico, basada en un ámbito de posible respuesta productiva agroindustrial, dentro de la cual resulta viable esperar resultados positivos en todos los sentidos a su adición.

Resulta necesario indicar que las dosis aquí sugeridas están obligadamente condicionadas para ser potencialmente efectivas, a la complementariedad y sinergia de otros elementos y factores de la producción que también participan en el proceso productivo; entre los cuales pueden nombrarse como relevantes los siguientes: buena preparación del suelo, uso de semilla de calidad, aplicación de enmiendas, control de malezas, control de la fitosanidad, frecuencia de renovación de plantaciones, drenaje, y en el caso particular de la fertilización optimizar la cantidad, la calidad del material y fuente empleada, aplicar en la época y forma adecuada, entre otros.

Cuadro 24. Propuesta Técnica para Programa de Fertilización Comercial en la Zona Sur.

NUTRIMENTO	CANTIDAD (kg/ha)/ CICLO	
	PLANTA	SOCA
N	120 - 150	130 - 160
P ₂ O ₅	140 - 200	-
K ₂ O	130 - 180	140 - 180
Ca	1,0 - 2,0 *	-
MgO	40 - 50	40 - 50
S (SO ₄)	40 - 60	40 - 60
Zn (SO ₄)	15 - 20	15 - 20

* Dada en TM de CaCO₃/ha

CONCLUSIONES

Con fundamento en los resultados de investigación y experiencias comerciales obtenidas en la región cañera del sur, se concluye lo siguiente:

1. Los suelos de la región presentan limitantes nutricionales naturales importantes y productivamente determinantes, virtud de su condición ácida, distrófica, bajas concentraciones de P y la presencia de serios desbalances catiónicos.
2. Se evidenciaron diferencias importantes en la calidad de algunos materiales encalantes comerciales, principalmente en lo concerniente a su Grado de Granulometría, lo que afecta su calidad integral (PRNT).
3. Las Fracciones Granulométricas más Finas (40-60 mallas) fueron más reactivas en las dos primeras cosechas, respecto a las más Gruesas (10 y 14 mallas).
4. Quedo evidenciada la pérdida de residualidad de los productos encalantes luego de realizadas dos cosechas, aún en aquellos materiales con fracciones gruesas, teóricamente más residuales.
5. Las Fracciones más Finas (40 y 60 mallas) resultan ser más favorables en razón de su mayor actividad y mejor productividad agroindustrial.
6. La DOLOMITA mostró ser un excelente producto comercial para corregir problemas tanto de acidez como nutricionales en el suelo, virtud de contener y aportar Carbonatos de Calcio y Magnesio.
7. La Interacción de los Carbonatos de Calcio y la Cachaza pareció ser importante aunque no determinante, puesto que la mayor concentración de sacarosa y producción de azúcar (TM/ha) se alcanzaron con la incorporación de 4 TM/ha de cachaza sin cal. La interacción de 2 TM de CaCO_3 /ha y 2 TM de cachaza resultó ser positiva.
8. Fue evidente el mejoramiento productivo inducido por la incorporación de cachaza hasta 4 TM/ha al suelo, aún sin el complemento de la cal. Demuestra este resultado la excelente respuesta a los materiales fertilizantes orgánicos.
9. Las variedades de caña manifiestan efectos y respuestas productivas agroindustriales diferenciadas al adicionarles cal, lo que presuntamente revela algún grado diferencial de tolerancia a la acidez e infertilidad del suelo. Este efecto varietal es evidente y por tanto válido también para el caso de los otros nutrimentos. Debe investigarse virtud de su trascendencia e impacto productivo sobre esta observación.
10. La SP 71-5574 acondicionada con 2 TM de CaCO_3 /ha produjo más azúcar (TM/ha) respecto a PINDAR y B 47-44 en la misma condición.
11. La interacción $\text{CaCO}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$ muestra un efecto sinérgico altamente positivo y productivamente muy favorable, generando altas respuestas Pese a ello, es evidente que las dosis de P_2O_5 resultan ser más determinantes (respuesta lineal

- creciente) que la misma cal, puesto que como se demostró la mayor productividad de azúcar se alcanzó con la adición de 150 kg/ha de P_2O_5 sin cal.
12. La respuesta al N viene determinada en alto grado por el elemento acompañante presente en la fuente fertilizante empleada, dentro de los cuales el Azufre constituye un complemento importante. El Sulfato de Amonio es una Fuente Nitrogenada de muy alta respuesta por parte de la caña de azúcar.
 13. Al adicionar N, la Variedad SP 71-5574 responde mejor en relación a PINDAR y B 47-44 en cuanto a características agronómicas, calidad industrial y producción de caña y azúcar (TM/ha).
 14. El P revela ser uno de los nutrimentos que mayor incremento productivo induce en una plantación comercial, razón por la cual su adición merece especial atención y cuidado.
 15. La adición de P manifiesta una rápida pérdida de residualidad con el paso del tiempo en el lugar, motivada posiblemente por la acción de los mecanismos de fijación existentes en el suelo, especialmente cuando la adición de cal ha sido deficiente o ausente.
 16. Es necesario investigar específicamente la respuesta de la caña a la adición de fuentes y dosis crecientes de K_2O , pese a lo cual, la adición de K al suelo resulta favorable virtud de su función y funcionabilidad expresadas por medio de la fuerte interacción sinérgica que mantiene con el N.
 17. El Mg resulta nutricionalmente necesario incorporar en consideración de las bajas concentraciones naturales que poseen los suelos del lugar, lo que induce deficiencia e insuficiencia nutricional en la planta y severos desequilibrios catiónicos en el suelo. Las aplicaciones de MgO y DOLOMITA demostraron su buena respuesta productiva. Se estima que la aplicación de dosis entre 40 y 50 kg de MgO/ha son suficientes para satisfacer las necesidades básicas del cultivo de la caña de azúcar.
 18. El Azufre resulta ser un nutrimento de aplicación casi obligada virtud de la excelente respuesta productiva que ha mostrado en la región, al aplicar dosis entre 40 y 60 kg de S- SO_4 /ha. El nutrimento tiene la enorme ventaja de poder incorporarse como elemento acompañante lo que no implica inversiones extra.
 19. El Zinc ha sido igualmente un nutrimento de respuesta agroindustrial muy importante, cuya adición en forma granular en dosis entre 15 y 20 kg de $ZnSO_4$ /ha ha sido favorable y positiva. Es necesario investigar aún más sobre fuentes de Zn de aplicación foliar.
 20. El Silicio requiere aún de más investigación para llegar a conclusiones más contundentes, pese a lo cual pareciera ser positivo.
 21. Resulta fundamental inducir y hacer conciencia entre los productores de caña de la región sur, respecto a las enormes ventajas y necesidad de fertilizar las

plantaciones de caña de azúcar, la cual por su alta respuesta agroindustrial resulta ser muy económica y rentable.

22. Como corolario es importante tener presente la necesidad de conceptualizar e interpretar la nutrición de la caña de azúcar como un asunto de concepción integral y no apenas puntual, razón por la cual, su mejoramiento debe plantearse de manera equilibrada. Por ello, la práctica de fertilizar debe necesariamente considerar la amplitud de nutrimentos esenciales y no sólo aquellos de alta respuesta productiva.

LITERATURA CITADA

1. BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 1999. Efecto Interactivo de 3 Dosis de Carbonato de Calcio y 4 de Fósforo, Sobre la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Promedio 3 Cosechas, en un Ultisol de Pérez Zeledón. En: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA. Julio 1999. p: 160.
2. BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 2000a. Efecto de 4 Dosis de Carbonato de Calcio Sobre la Producción Agroindustrial de 3 Variedades de Caña de Azúcar, Promedio de 3 Cosechas, en un Ultisol de Pérez Zeledón. En: Congreso de ATALAC, 5, Congreso ATACA, 13 y Congreso ATACORI, 14, Heredia, Costa Rica, setiembre del 2000. POSTER. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 2. p: 87.
3. BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 2000b. Evaluación de Seis Dosis de Fósforo Sobre los Rendimientos Agroindustriales de la Variedad de Caña de Azúcar SP 71-5574 en un Ultisol de Pérez Zeledón. Promedio de Tres Cosechas. En: Congreso de ATALAC, 5, Congreso ATACA, 13 y Congreso ATACORI, 14, Heredia, Costa Rica, setiembre del 2000. POSTER. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 2. p: 95-96.
4. BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 2000c. Adición y Efecto de Cinco Dosis de Magnesio Sobre la Productividad Agroindustrial de la Caña de Azúcar en un Ultisol de Pérez Zeledón, Promedio de Tres Cosechas. En: Congreso de ATALAC, 5, Congreso ATACA, 13 y Congreso ATACORI, 14, Heredia, Costa Rica, setiembre del 2000. POSTER. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 2. p: 97.
5. BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 2000d. Respuesta de la Caña de Azúcar a la Aplicación de Seis Dosis Crecientes de Azufre en un Ultisol de Pérez Zeledón, Promedio de Tres Cosechas. En: Congreso de ATALAC, 5, Congreso ATACA, 13 y Congreso ATACORI, 14, Heredia, Costa Rica, setiembre del 2000. POSTER. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 2. p: 97-98.

6. BARRANTES M., J. C.; CHAVES S., M. 2003. Efecto de Seis Fuentes Nitrogenadas Sobre la Producción Agroindustrial de Caña de Azúcar (*Saccharum spp*), en un Ultisol de Pérez Zeledón, Costa Rica. Promedio de 4 Cosechas. En: Congreso ATACORI “*Ing. José Luís Corrales Rodríguez*”, 15, Guanacaste, Costa Rica, setiembre del 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 299-304.
7. BARRANTES M., J. C.; CHAVES S., M. 2006. Efecto de Dos Fuentes de Fósforo de Diferente Solubilidad, Aplicados en un Suelo Ultisol, sobre la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar. Promedio de Cuatro Cosechas. Pérez Zeledón, Costa Rica. En: Congreso ATACA, 16 y Congreso ATACORI “*DIECA*”, 16, Heredia, Costa Rica, agosto del 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Tomo II. p: 759-765.
8. BERTSCH. H., F. 1987. Manual para Interpretar la Fertilidad de los Suelos de Costa Rica. 2^{da} ed. San José, Costa Rica: Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 81 p.
9. CHAVES SOLERA, M. A. 1988. Efeito de Relações Ca:Mg, Utilizando Carbonatos e Sulfatos, Sobre o Crescimento e a Nutrição Mineral da Cana-de-Açúcar. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 186 p. Têse de Mêstrado.
10. CHAVES, M. 1996. Experiencias con la Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica. En: Congreso ATACORI “*Cámara de Productores de Caña del Pacífico*”, 10, Guanacaste, Costa Rica, setiembre de 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 76-84.
11. CHAVES, M.; MESÉN, R.; BARRANTES, J. C. 1996. Respuesta de la Caña de Azúcar a la Aplicación de Tres Dosis de Carbonato de Calcio en Interacción con Cuatro Dosis de Cachaza, Promedio de Dos Cosechas en un Ultisol de Pérez Zeledón. En: Congreso ATACORI “*Cámara de Productores de Caña del Pacífico*”, 10, Guanacaste, Costa Rica, setiembre de 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 37.
12. CHAVES, M. 1999a. Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, Julio de 1999. Memoria: Recursos Naturales y Producción Animal. San José, Colegio de Ingenios Agrónomos: EUNED. Volumen 3. p: 193-214.
13. CHAVES SOLERA, M. 1999b. El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA, setiembre. 130p.
14. CHAVES, M. 2000. La Práctica del Encalado de los Suelos Cañeros en Costa Rica. En: Congreso ATALAC, 5, Congreso ATACA, 13 y Congreso ATACORI, 14,

Heredia, Costa Rica, setiembre del 2000. POSTER. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 2. p: 216-223.

15. CHAVES S., M. 2003. Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica: Experiencias de los Últimos 20 Años (Periodo 1980-2000). En: Congreso ATACORI “Ing. José Luís Corrales Rodríguez”, 15, Guanacaste, Costa Rica, setiembre del 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 49 -54.
16. CHAVES S., M.; BARRANTES M., J. C. 2003. Efecto del Zinc Aplicado al Suelo y Foliar, sobre la Producción Agroindustrial de la Variedad de Caña de Azúcar SP 71-5574 en un Ultisol de Pérez Zeledón. Promedio de Cuatro Cosechas. En: Congreso ATACORI “Ing. José Luís Corrales Rodríguez”, 15, Guanacaste, Costa Rica, setiembre del 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 289 -294.
17. CHAVES, M.; RODRÍGUEZ, M.; ALFARO, R.; VILLALOBOS, C.; ANGULO, A.; BARRANTES M., J. C.; CALDERÓN, G.; RODRÍGUEZ, J. M. 2004. Censo de Variedades de Caña de Azúcar Sembradas en Costa Rica. Año 2003. LAICA-DIECA, San José, Costa Rica. Setiembre del 2004. 126 p.
18. CHAVES S., M.; BARRANTES M., J. C. 2006a. Efecto de Seis Fuentes Comerciales de Cal Aplicadas en un Suelo Ultisol, sobre la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar. Promedio de 4 Cosechas. Pérez Zeledón, Costa Rica. En: Congreso ATACA, 16 y Congreso ATACORI “DIECA”, 16, Heredia, Costa Rica, agosto del 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Tomo II. p: 752-758.
19. CHAVES S., M.; BARRANTES M., J. C. 2006b. Efecto de la Granulometría del Carbonato de Calcio Aplicado en un Suelo Ultisol, sobre la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar. Promedio de 4 Cosechas. Pérez Zeledón, Costa Rica. En: Congreso ATACA, 16 y Congreso ATACORI “DIECA”, 16, Heredia, Costa Rica, agosto del 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Tomo II. p: 746-751.
20. CHAVES S., M.; BARRANTES M., J. C. 2006c. Efecto de Cuatro Fuentes de Fósforo Sobre la Productividad de las Variedades SP 71-5574 y Mex 68-p-23 en un Suelo Ultisol de Pérez Zeledón, Costa Rica. Promedio de 4 Cosechas. En: Congreso ATACA, 16 y Congreso ATACORI “DIECA”, 16, Heredia, Costa Rica, agosto del 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Tomo II. p: 775-781.
21. CHINCHILLA M., A. 1988a. Efecto de la Aplicación de Dosis Crecientes de Carbonato de Calcio en los Rendimientos de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en un Suelo de Pérez Zeledón. En: Congreso DIECA, 1, San José,

Costa Rica, noviembre de 1987. Memoria. San José, Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). p: 171-184.

22. CHINCHILLA M., A. 1988b. Respuesta de la Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum L.*) a la Aplicación de Diferentes Dosis de Fósforo en un Suelo de Pérez Zeledón, Costa Rica. En: Congreso ATACORI, 6, San José, Costa Rica. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 61-62.
23. DIECA. 1989. Efecto del N y K e Interacciones Sobre la Producción de Caña de Azúcar en Pérez Zeledón. En: INFORME ANUAL 1988. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 60.
24. DIECA. 1990. Efecto de N - K y sus Interacciones Sobre la Producción de Caña de Azúcar. 2do Corte. En: INFORME ANUAL 1989. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 67.
25. DIECA. 1991. Efecto de la Interacción de 4 Dosis de N y K Sobre los Rendimientos Agroindustriales de la Caña de Azúcar. En: INFORME ANUAL DE LABORES 1990. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 95-96.
26. DIECA. 1992a. Efecto de Siete Dosis Crecientes de Fósforo Sobre la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar en Pérez Zeledón. En: INFORME ANUAL DE LABORES – 1991-. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 125-127.
27. DIECA. 1992b. Efecto de Siete Dosis Crecientes de Azufre Sobre la Producción Agroindustrial de la Variedad PINDAR en Pérez Zeledón. En: INFORME ANUAL DE LABORES – 1991-. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 146-147.
28. DIECA. 1993. Parcela de Verificación de la Efectividad del Fósforo Aplicado al Fondo del Surco en el Cultivo de la Caña de Azúcar en Pérez Zeledón. En: INFORME ANUAL DE LABORES – 1992-. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA. p: 141-143.
29. LEIVA ACUÑA, J. M. 1986. Respuesta de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) a Dosis Crecientes de Fósforo en un Suelo de Pérez Zeledón. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 126 p.
30. LEIVA, J.; CHAVES, M. 1986. Respuesta de la Caña de Azúcar a la Fertilización Fosfórica en un Suelo Ultisol de la Región de Pérez Zeledón. En: Congreso Agronómico Nacional, 7 y Congreso de Horticultura ASHS- Región Tropical, 33, Heredia, Costa Rica, 1986. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas Región Tropical- ASHS, CATIE y W.K. Kellogg, julio. p: 125-127.

31. MESÉN, R.; CHAVES, M.; BARRANTES, J. C. 1996. Respuesta de la Caña de Azúcar a la Adición de 6 Dosis Crecientes de Silicato de Calcio, Ciclo Planta, en un Ultisol de Pérez Zeledón. En: Congreso ATACORI “*Cámara de Productores de Caña del Pacífico*”, 10, Guanacaste, Costa Rica, setiembre de 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 47-48.
32. QUIRÓS VALVERDE, J. M. 1993. Evaluación del Efecto de Seis Dosis Crecientes de Nitrógeno en Tres Clones Comerciales de Caña de Azúcar (*Saccharum spp*), Ciclo Planta, en un Ultisol de Pérez Zeledón. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 128 p.
33. QUIRÓS V., J. M.; CHAVES S., M. A. 1993. Evaluación del Efecto de Seis Dosis Crecientes de Nitrógeno en Tres Clones Comerciales de Caña de Azúcar, Ciclo Planta, en un Ultisol de Pérez Zeledón. En: Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre de 1993. p: 139.