

EVALUACIÓN DE CINCO FUENTES DE SILICIO EN CAÑA DE AZÚCAR EN COMBINACIÓN CON MATERIA ORGÁNICA; EN UN SUELO ULTISOL DE LA REGIÓN SUR DE COSTA RICA, 2012.

Ing. Julio Cesar Barrantes Mora ^{1/}
Ing. Roberto Alfaro Portuguez ^{2/}
Ing. Randall Ocampo Chinchilla ^{3/}

RESUMEN

En un suelo ultisol ubicado en el distrito de San Pedro, Pérez Zeledón, Costa Rica; se estableció esta investigación, con la finalidad de evaluar a la siembra las siguientes fuentes de Silicio: 1. Llanero Zeo + Agrozil Zeo; 2. Magnesil P; 3. Magnesil PXA; 4. Daphos; éstas se combinaron con y sin abono orgánico (10.000 Kg/ha). Para el segundo corte se evaluaron las mismas fuentes pero en diferente dosis y en esta fase del cultivo no se aplicó fertilización orgánica. El análisis estadístico no muestra diferencias significativas para las diferentes variables evaluadas en ambas cosechas. No obstante se marcan algunos comportamientos que es importante mencionar. Para la primera cosecha; para el rendimiento industrial (Kg/t), las fuentes de Silicio aplicadas sin abono orgánico incrementan esta variable en 10,3% respecto al testigo (14,21 kg/t); al comparar el mismo efecto cuando las fuentes se combinaron con abono orgánico, el incremento fue inferior (3,80 kg/t) representando esto un 3,74%. Para el rendimiento de campo; durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio combinadas con abono orgánico disminuyeron la producción en un promedio de 10,1% (9,54 t/ha) respecto al testigo y cuando fueron aplicadas sin abono orgánico no mostraron diferencias productivas. En el primer año; para el rendimiento industrial (kg/t) todas las fuentes evaluadas incrementan esta variable, a excepción del Daphos en combinación con abono orgánico; siendo este comportamiento más notorio en los tratamientos de sílice solo donde se incrementaron los rendimientos en 14,21 kg/ha respecto a 3,80 kg/tonelada cuando se aplicaron las fuentes en combinación con abono orgánico. Sobresalen individualmente las fuentes Magnesil PXA y Daphos, ambos sin abono orgánico; que mostraron una respuesta positiva al incrementar la producción de campo en 10,5 y 9,8% respectivamente respecto al testigo. Para el segundo año para esta variable (Kg /t) hubo una disminución en las producciones obtenidas; las cuales cayeron en promedio de 6,08 t/ha (6,1%) para las fuentes de silicio analizadas en combinación con orgánico y de 5,04 t/ha cuando estas fuentes se aplicaron solas.

^{1, 2, 3/} Funcionarios de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. Teléfono (506) 2494-1129 email: jbarrantes@laica.co.cr.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos cultivados con caña de azúcar en la región Sur (Pérez Zeledón y Buenos Aires) se clasifican predominantemente dentro del orden Ultisol y en menor grado Inceptisol, lo que genera 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). Una caracterización general nos enmarca a esta región con las condiciones de fertilidad natural más deficientes que presentan los suelos cañeros de Costa Rica, pues los contenidos de Al y Fe son elevados, en tanto tienen concentraciones bajas de P, Ca, Mg, K, Zn y S; lo que obliga a prestar especial atención a la nutrición del cultivo, como un factor determinante en la producción agroindustrial esperada.

Los suelos tropicales y subtropicales poseen generalmente bajos contenidos de silicio disponible para las plantas, que pueden incluso ser limitantes para la producción de algunas especies. Por lo tanto, la fertilización del suelo con silicio y/o la aplicación de silicio foliar, están siendo observadas y han sido objeto de grandes estudios en diferentes partes del mundo. El silicio tiene un papel importante en las relaciones planta-ambiente, ya que puede dar a la planta mejores posibilidades para soportar condiciones adversas, climáticas, edáficas y biológicas, que tienen como resultado un aumento y una mejor calidad en la producción (BERNAL, J. 2012).

2. OBJETIVO

Evaluar el efecto agroindustrial de cinco fuentes de silicio en combinación con materia orgánica en un suelo ultisol de la Región Sur de Costa Rica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Finca El Porvenir propiedad de CoopeAgri El General R.L. se estableció esta investigación, ubicada en el Distrito de San Pedro del Cantón de Pérez Zeledón en las coordenadas geográficas a 09° 16' 53" Latitud Norte y 83° 33' 03" Longitud Oeste. Su altitud es de 560 msnm, con una precipitación media de 3515 mm/año, con una temperatura promedio de 24,9 °C. El tipo de suelo en el cual se realizó la prueba pertenece al orden ultisol. Se utilizó un Diseño Estadístico de Bloques Completos Al Azar (BCA) con 3 repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 4 surcos de 6 m de largo por 1,5 m de separación entre surco y 2 metros de separación entre parcela, para

un área total por parcela de 36 m². Las características químicas del suelo donde se realizó la investigación son: pH: 4,30; Ca 0,89 Cmol(+)/l; Mg 0,16 Cmol(+)/l; K 0,11 Cmol(+)/l; Al 1,92 Cmol(+)/l; P 5,00 µg/l; Cu 4,00 µg/l; Zn 2,4 µg/l ; Mn 3,00 µg/l, Fe 262 µg/l. 22 días previos a la siembra del ensayo se realizó una aplicación de carbonato de calcio a razón de 1,5 toneladas /ha para corregir la acidez del suelo; utilizando como fuente Carbosur. Al momento de la siembra se aplicaron los siguientes tratamientos: 1. Llanero Zeo (200 Kg./ha)+ Agrozil Zeo (100 Kg./ha)+ 100% Fertilización Química Recomendada; 2. Llanero Zeo (200 Kg/ha)+ Agrozil Zeo (100 Kg./ha)+ 80% Fertilización Química recomendada; 3. Magnesil P (300 Kg/ha)+ 100% Fertilización Química Recomendada; 4. Magnesil PXA (200 Kg/ha)+100% Fertilización Química Recomendada; 5. Daphos (200 Kg/ha)+ 100% Fertilización Química Recomendada; estas fuentes se combinaron con y sin abono orgánico (10.000 Kg/ha). Para el segundo corte las fuentes evaluadas y dosis fueron: 1.Llanero Zeo (100 Kg/ha)+Agrozil Zeo (100 Kg/ha)+ 100% Fertilización Química recomendada; 2. Llanero Zeo (100 Kg/ha)+Agrozil Zeo (100 Kg/ha)+ 80% Fertilización Química recomendada 3. Magnesil P (200 Kg/ha)+ 100% Fertilización Química recomendada; 4.Magnesil PXA (124 Kg/ha)+ 100% Fertilización Química recomendada y 5. Daphos (0 Kg/ha) + 100% Fertilización Química Recomendada. Estos tratamientos se evalúan con y sin abono orgánico (aplicado a la siembra); además se aplicó una dosis de 150 kg./ha de fósforo al fondo del surco coincidiendo con los tratamientos evaluados utilizando la fórmula 11-52-0. Como fertilización complementaria para ambas cosechas; se aplicaron 150 kg/ha de N, 150 kg/ha K, 40 kg Mg, 10 kg Zn y 45 kg de S; utilizando la fórmula 17-2-25-5-0-6,2 (S) 0,35 (Zn). La variedad LAICA 03-805, fue el material genético utilizado en el desarrollo del ensayo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico muestra que no hubo diferencias estadísticas significativas en ambas cosechas para las variables evaluadas. No obstante; es importante resaltar algunos comportamientos muy relevantes en términos productivos y que se ilustran en los cuadros 1 y 2.

4.1 Primera cosecha: El cuadro 1 resume el comportamiento agroindustrial obtenido durante la primera cosecha. Para la variable de rendimiento industrial (Kg azúcar/t), las fuentes evaluadas con y sin abono orgánico muestran un incremento en la calidad de los jugos en todos los tratamientos que contenían Silicio; a excepción del Daphos en combinación con abono

orgánico que disminuyó esta variable en 1,66 kg/t. En promedio, se determinó que cuando estas fuentes eran aplicadas con abono orgánico, el rendimiento industrial aumentó en 3,80 Kg/tonelada y cuando estas fuentes fueron evaluadas solas, fue más relevante este incremento (14,21 Kg/tonelada). Estos tratamientos, cuando se aplicaron con abono orgánico, la respuesta en el comportamiento de las variables de rendimiento de campo y agroindustrial fueron negativas, produciendo una disminución de 9,54 toneladas caña/ha y en 0,81 toneladas de azúcar/ha. Bajo la otra modalidad, cuando NO se aplicó fuentes orgánicas, hubo una mejora en las variables evaluadas respecto al testigo; pues el rendimiento industrial se incrementó en 14,21 kg/t, siendo en esta variable donde más efecto tuvo estas fuentes; el rendimiento de campo; prácticamente no sufrió variaciones ya que el incremento fue de 0,02 toneladas/ha y la variable agroindustrial tuvo un incremento de 1,47 toneladas de azúcar/ha pero influida en un altísimo porcentaje por el rendimiento industrial obtenido. Individualmente; el mejor tratamiento fue el Magnesil PXA sin abono orgánico con un incremento de 9,84 toneladas de caña/ha (10,5%); seguido del Daphos con un aumento de 9,17 toneladas de caña/ha (9,8%). Respecto a la variable agroindustrial (t azúcar/ha); la mejor fuente fue el Daphos sin abono orgánico con un incremento de 2,95 t azúcar/ha (22,3%) seguido por el Magnesil PXA sin abono orgánico con un aumento de 2,49 t azúcar/ha (19,5%).

Cuadro 1. Análisis de varianza para las principales variables agroindustriales para la primera cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica. 2011

TRATAMIENTOS CON ABONO ORGÁNICO	Kg/t 96°POL	T CAÑA/HA	T AZÚCAR/HA	TRATAMIENTO SIN ABONO ORGÁNICO	Kg/t 96°POL	T CAÑA/HA	T AZÚCAR/HA
Llanero Zeo (200 kg)+Agrosil Zeo (100 kg)+100% FQ + AO	127,95	97,00	12,43	Llanero Zeo (200 kg)+Agrosil Zeo (100 kg)+100% FQ	124,66	92,30	11,50
Llanero Zeo (200 kg)+Agrosil Zeo (100 kg)+80% FQ + AO	134,77	95,00	12,79	Llanero Zeo (200 kg)+Agrosil Zeo (100 kg)+80% FQ	125,72	77,67	9,73
Magnesil P (300 kg) + 100 % FQ+AO	129,06	97,00	12,51	Magnesil P (300 kg) + 100 % FQ	123,34	92,60	11,43
Magnesil PXA (200 kg) + 100% FQ+AO	130,24	86,30	11,43	Magnesil PXA (200 kg) + 100% FQ	122,86	103,67	12,74
Daphos (200 kg)+ 100% FQ+AO	122,86	103,67	12,74	Daphos (200 kg)+ 100% FQ	128,18	103,00	13,20
Testigo + AO	125,18	105,33	13,19	Testigo	110,74	93,83	10,25
Promedio General	128,3	97,4	12,5	Promedio General	122,58	93,85	11,48
Promedio Tratamientos	128,98	95,79	12,38	Promedio Tratamientos	124,95	93,85	11,72
Diferencia respecto testigo	3,80	-9,54	-0,81	Diferencia respecto testigo	14,21	0,02	1,47
CV %	4,30	9,74	10,56	CV %	3,50	11,40	9,86

AO: Abono orgánico colocado a la siembra (primer año).

FQ: Fertilización química; Plan de Finca El Porvenir, CoopeAgri R.L.

Nota: Las dosis mencionadas deben referirse a 1 ha.

4.2 Segunda cosecha: El cuadro 2 resume el comportamiento agroindustrial obtenido durante la segunda cosecha. Es importante anotar que el abono orgánico de los tratamientos es referido a la aplicación en la primera cosecha pues se quería valorar el poder residual del mismo. Para la variable de rendimiento industrial (kg. azúcar/t); se observó un efecto negativo en la calidad de los jugos en todos los tratamientos que contenían Silicio en el orden del -6,21 Kg./tonelada cuando se aplicaron en combinación con abono orgánico; siendo menor la disminución cuando son evaluadas sin abono orgánico en una relación de -1,59 Kg./tonelada. Igualmente; para las otras variables agroindustriales el efecto es negativo; produciendo una disminución en los rendimientos de campo de 6,08 toneladas/ha cuando se aplicó con abono orgánico y de 5,04 toneladas/ha cuando se analizaron sin abono orgánico. Igualmente para la variable agroindustrial (toneladas de azúcar/ha) se mostraron efectos negativos al tener una producción inferior en 1,46 toneladas/ha cuando se probaron con abono orgánico (aplicada el primer año) y de 0,80 toneladas/ha cuando se aplicaron sin abono orgánico. Estos resultados coinciden en investigaciones realizadas en 1996 en caña de azúcar por MESÉN; CHAVES y BARRANTES; con este nutrimento; evaluando dos formas y fuentes diferentes; una como enmienda mediante el empleo de Silicatos de Calcio (CaSiO_4) y la otra como de Óxido de Silicio (21,5% SiO_2). Los resultados no evidenciaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables evaluadas.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las principales variables agroindustriales para la segunda cosecha 2012.

TRATAMIENTOS CON ABONO ORGÁNICO	Kg/t 96°POL	T CAÑA/HA	T AZÚCAR/HA	TRATAMIENTO SIN ABONO ORGÁNICO	Kg/t 96°POL	T CAÑA/HA	T AZÚCAR/HA
Llanero Zeo (100 kg)+ Agrosil Zeo (100 kg)+100% FQ + AO	132,82	104,08	13,80	Llanero Zeo (100 kg)+ Agrosil Zeo (100 kg)+100% FQ	134,45	104,63	14,08
Llanero Zeo (100 kg)+ Agrosil Zeo (100 kg)+80% FQ + AO	131,20	105,74	13,87	Llanero Zeo (100 kg)+ Agrosil Zeo (100 kg)+80% FQ	132,84	96,20	12,75
Magnesil P (200 kg) + 100 % FQ+AO	127,41	97,87	12,44	Magnesil P (200 kg) + 100 % FQ	127,55	101,48	12,96
Magnesil PXA (124 kg)+ 100% FQ+AO	123,79	93,89	11,65	Magnesil PXA (124 kg)+ 100% FQ	129,42	105,09	13,60
Daphos (0 kg) +100% FQ+AO	134,56	100,92	13,59	Daphos (0 kg) +100% FQ	128,98	106,76	13,69
Testigo + AO	136,17	106,58	14,53	Testigo	132,24	107,87	14,22
Promedio General	131,0	101,5	13,3	Promedio General	130,91	103,67	13,55
Promedio Tratamientos	129,96	100,50	13,07	Promedio Tratamientos	130,65	102,83	13,42
Diferencia respecto testigo	-6,21	-6,08	-1,46	Diferencia respecto testigo	-1,59	-5,04	-0,80
CV%	2,34	8,65	12,05	CV%	2,75	6,54	13,3

AO: Abono orgánico aplicado a la siembra (10 tm)

Nota: Las dosis referidas son en 1 ha.

FQ: Fertilización química; Plan de Finca El Porvenir, CoopeAgri R.L.

4.3 Comparativo de fuentes Sílice CON y SIN abono orgánico:

Para la variable de rendimiento industrial (Kg/tonelada) nos muestra en la figura1; que para la primera cosecha, el tratamiento CON abono orgánico mejoró el rendimiento industrial en 4,0 Kg./t respecto a los tratamiento donde analizaron las fuentes de silicio sin abono orgánico. Para el segundo corte no se presentan diferencias significativas para esta variable.

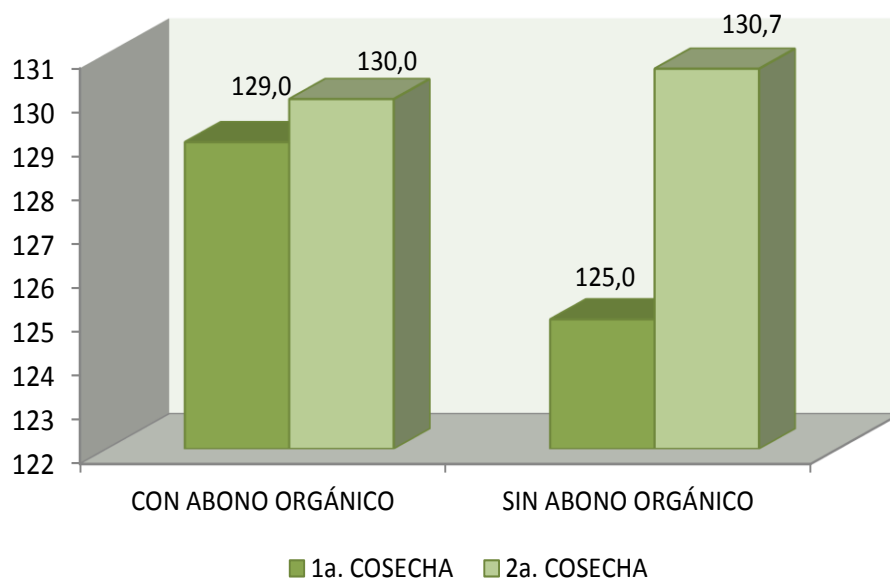


Figura 1. Comparativo de las Fuentes de Silicio CON y SIN abono orgánico para la variable la industrial (kg/t).

Para la variable de rendimiento de campo durante la primera cosecha se da un incremento de 1,9 toneladas de caña/ha de los tratamientos evaluados de silicio en combinación con materia respecto a la aplicación de la fuente sola (sin orgánico). Para el segundo corte se invierte este comportamiento ya que las fuentes de silicio sin abono orgánico incrementaron la producción de campo en 2,3 toneladas/ha respecto a los tratamientos con abono orgánico. (Figura 2).

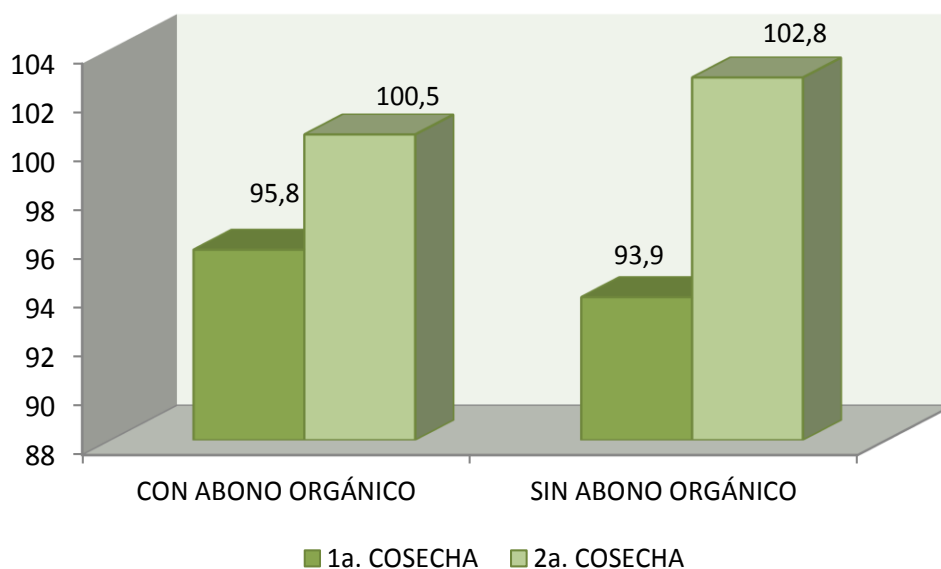


Figura 2. Comparativo de las Fuentes de Silicio CON y SIN abono orgánico para la variable rendimiento de campo (t caña/ha).

Para la variable de rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha) durante la primera cosecha; es se marca un efecto de la aplicación del abono orgánico con un incremento en esta variable de 0,7 t azúcar/ha. Sin embargo; este comportamiento no se mantiene durante la segunda cosecha; donde los tratamientos SIN abono orgánico incrementó la producción en 0,3 t azúcar/ha respecto a los tratamientos con abono orgánico en esta segunda cosecha.

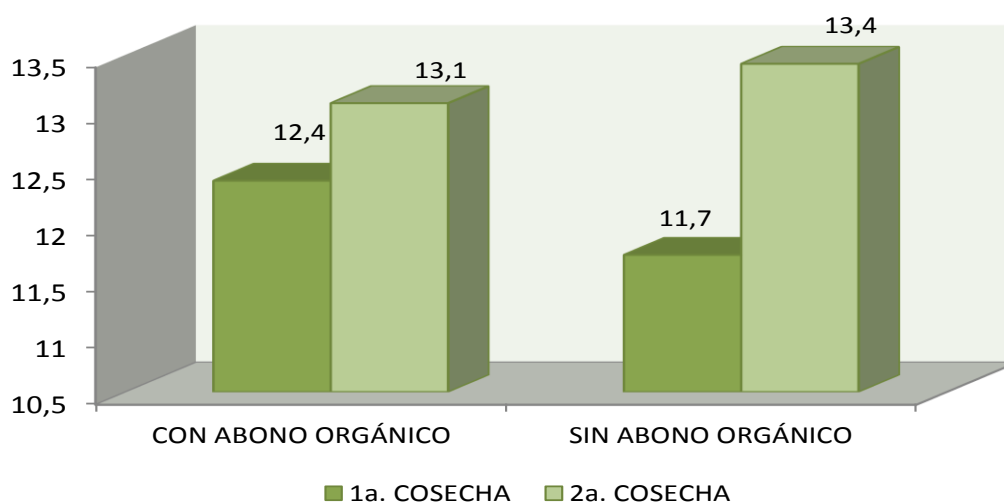


Figura 3. Comparativo de las Fuentes de Silicio CON y SIN abono orgánico para la variable la de rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha).

5. CONCLUSIONES

- ◆ Para el rendimiento industrial; durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio combinadas con abono orgánico mejoraron la producción en un 3,03%; siendo más marcada esta mejora cuando fueron aplicadas sin fuentes orgánicas para un incremento de 12.8%. Contrariamente el efecto fue negativo durante la segunda cosecha; con descensos en el rendimiento de 4,6% en los tratamientos con abono orgánico (aplicado a la siembra) y de 1,2% cuando se aplicaron las fuentes de silicio solas.
- ◆ Contrariamente a la variable anterior; para el rendimiento de campo; durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio combinadas con abono orgánico disminuyeron la producción en un 9,2%; no mostrando diferencias cuando fueron aplicadas sin fuentes orgánicas (0.02%). Este comportamiento se repite en la segunda cosecha; con descensos en el rendimiento de 5,7% en los tratamientos con abono orgánico (aplicado a la siembra) y de 4,7% cuando se aplicaron las fuentes de silicio solas.
- ◆ Durante la primera cosecha, la fuente Magnesil PXA SIN abono orgánico fue la mejor fuente al incrementar la producción de campo en 10,5% respecto al testigo; seguido del Daphos SIN Abono orgánico con que obtuvo incrementos de 9,8% .
- ◆ Contrariamente al comportamiento de la variable industrial; para el rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha); durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio combinadas con abono orgánico disminuyeron la producción en un 6,14%; no obstante, hubo un incremento en la producción agroindustrial del 14,3% cuando se evaluaron SIN abono orgánico. El comportamiento en la segunda cosecha; muestra descensos en el rendimiento de 10% en los tratamientos con abono orgánico (aplicado a la siembra) y del 5,6% cuando se aplicaron las fuentes de silicio solas.
- ◆ En el primer año; sobresalen varias fuentes de Silice; solo cuando son aplicadas solas (no en combinación con abono orgánico), y que se detallan a continuación:
 - Daphos: 1,72 t de azúcar/ha (135%)
 - Magnesil PXA : 1,28 t de azúcar/ha (9,9%)

6. LITERATURA CITADA

1. **BERNAL, J,** 2012. El Silicio en la Agricultura. Mejisulfatos. <http://www.mejisulfatos.com/index.php/noticias/notas-tecnicas/item/135-el-silicio-en-la-agricultura>
2. **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.
3. **CHAVES , M.** 1999b. El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA, setiembre. 130p.
4. **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.



7. ANEXOS

Anexo 1:

Fuentes de Silicio evaluadas y su composición.

Composición	Unidad	Daphos	Magnesil P	Magnesil PXA	Llanero ZEO	Agrosil ZEO
Silicio %	SiO₂	22	32	50	75	70
Fosforo %	P₂O₅	25	3	3	7	4
Calcio %	CaO	35		6	3	6
Magnesio %	MgO	7	31	4		
Azufre %	S	3	0,04	3		5
Boro %	B		0,12	0,12		0,6
Zinc %	Zn			0,05		1
Cobre %	Cu					0,5
Hierro %	Fe					
Potasio %	K₂O					

Anexo 2:

Tratamientos Evaluados y Dosis. Primer año. 2011

CON ABONO ORGÁNICO				SIN ABONO ORGÁNICO			
Tratamiento	Dosis (kg/ha)	Fertilización Química (%)	Abono Orgánico (kg)	Tratamiento	Dosis (kg/ha)	Fertilización Química (%)	Abono Orgánico
Llanero Zeo + Agrosil Zeo	200 100	100	10000	Llanero Zeo + Agrosil Zeo	200 100	100	0
Llanero Zeo + Agrosil Zeo	200 100	80	10000	Llanero Zeo + Agrosil Zeo	200 100	80	0
Magnesil P	300	100	10000	Magnesil P	300	100	0
Magnesil PXA	200	100	10000	Magnesil PXA	200	100	0
Daphos	200	100	10000	Daphos	200	100	0
Testigo + A.O	0	100	10000	Testigo SIN A.O	0	100	0

Anexo 3

Tratamientos Evaluados y Dosis. Segundo año. 2012

CON ABONO ORGÁNICO (APLICADO 2011)				SIN ABONO ORGÁNICO (2011)			
Tratamiento	Dosis (kg/ha)	Fertilización Química (%)	Abono Orgánico (kg)	Tratamiento	Dosis (kg/ha)	Fertilización Química (%)	Abono Orgánico
Llanero Zeo + Agrosil Zeo	100 100	100	0	Llanero Zeo + Agrosil Zeo	100 100	100	0
Llanero Zeo + Agrosil Zeo	100 100	80	0	Llanero Zeo + Agrosil Zeo	100 100	80	0
Magnesil P	200	100	0	Magnesil P	200	100	0
Magnesil PXA	124	100	0	Magnesil PXA	124	100	0
Daphos	0	100	0	Daphos	0	100	0
Testigo + A.O	0	100	0	Testigo SIN A.O	0	100	0

A.O=Abono Orgánico

Anexo 4:

**Fuente orgánica utilizada:
El Sembrador (CoopeAgri R.L.)**

Composición

mg/Kg				
Fe	Cu	Zn	Mn	B
44824	130	133	572	91

%					
N	P	Ca	Mg	K	S
1,25	0,39	0,98	0,18	0,87	0,14

