

# **AVANCES EN LA EVALUACION DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE 18 DIFERENTES ENMIENDAS COMERCIALES EN LA PRODUCCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN UN SUELO ULTISOL**

**Ing Roberto Alfaro P. LAICA -DIECA**  
**Ing Randall Ocampo Ch. LAICA- DIECA**  
**Ing Julio C. Barrantes M. LAICA -DIECA**

Los suelos de fuerte acidez como los ultisoles limitan la disponibilidad de nutrimentos a las plantas, debido al reemplazo de las bases cambiables Ca, Mg, K y Na por iones de hidrogeno y Aluminio. Este reemplazo se debe a la percolación de agua, extracción de cationes básicos por las plantas y por el uso de fertilizantes con características residuales ácidas, además de una alta fijación de fósforo. Características más severas en suelos altamente meteorizados y desgastados como los ultisoles.

Para optimizar la fertilización de la caña de azúcar cultivada en estos suelos es necesario acondicionar el suelo para que los nutrimentos adicionados cumplan su función de manera exitosa.

Tradicionalmente uno de los correctivos más utilizados en la agricultura ha sido el carbonato de calcio "CAL", empacado en sacos sin ninguna información y con un grado de molienda bastante deficiente. En los últimos años se ha obligado a las Caleras locales a mejorar la calidad de sus correctivos creando con ello un mercado más competitivo.

En la actualidad existen en el mercado una gran cantidad de enmiendas recomendadas, para la corrección de la acidez de los suelos donde se siembran diversos cultivos y entre ellos la caña de azúcar.

Estas enmiendas comerciales poseen diferente composición químicas, una variada granulometría, y grandes diferencias de precio de venta a los productores, lo que dificulta generar una adecuada recomendación que tome en cuenta estas características, sin antes evaluar los productos en el campo.

Por esta razón, se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar la respuesta productiva en un ciclo del cultivo de la caña de azúcar a dos aplicaciones de diferentes tipos de enmiendas comerciales de suelo.
- Valorar la correlación entre la eficiencia granulométrica y el poder de neutralización de los diferentes correctivos con la disminución de la saturación acidez del suelo tratado.
- Valorar la correlación entre la disminución de de la saturación de acidez del suelo tratado y la producción agroindustrial del cultivo.
- Determinar la Relación Beneficio Costo de los diferentes correctivos aplicados a lo largo del ciclo del cultivo.
- Evaluar los cambios químicos provocado por los diferentes correctivos al final del ciclo del cultivo.

## MATERIALES Y METODOS

Para cumplir con los objetivos expuestos, se estableció este ensayo en una finca con suelos del orden Ultisol perteneciente a CoopeAgri R.L, ubicada en el distrito de San Pedro, Cantón de Pérez Zeledón. El ensayo se sembró con la variedad Q 96 en parcelas de 6 surcos de 6 metros de largo (54 m<sup>2</sup>) con un diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones. La primera aplicación se realizó al voleo 22 días antes de la siembra a una dosis de 1.5 ton/ha de la enmienda correspondiente a cada uno de los tratamientos, a excepción de los productos con formulación granulada (ver Cuadro 2) para los cuáles se utilizó la dosis recomendada por la casa comercial distribuidora, tal es el caso de (GRANUMAX y TIGSA MAG: 300 kg/ha, CALCIO MAG 1150 kg/ha).

Si se aplicara la siguiente ecuación para determinar la necesidad de encalado (NC) la cual considera la Saturación de acidez del suelo (AL), la Saturación de acidez deseable (RAS), la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo y el Porcentaje de Neutralización total (PRNT):

$$NC = 1.5 *(AL - RAS)* CICE* (100/PRNT) / 100$$

El resultado de la dosificación de los correctivos oscilaron entre 1.3 y 3.3 Toneladas por ha por lo que se decidió unificar la dosis en 1.5 TM / ha para todos los correctivos no granulados como los antes indicados.

La segunda aplicación se realizo posterior a la segunda cosecha aplicando al voleo la misma cantidad de los correctivos a evaluar. El cultivo recibió tanto en planta como en soca el manejo normal realizado a las plantaciones comerciales por el Departamento Agrícola de CoopeAgri R.L.

## ANALISIS DE SUELO

La aplicación de variadas cantidades de calcio y magnesio por medio de los materiales en este estudio, obligó de alguna manera a conocer en el tiempo los cambios promovidos por cada uno de estos correctivos y poder lograr correlacionar si es posible los resultados productivos con la mejora en el estado nutricional del suelo proporcionada por los diferentes tratamientos.

La disminución de la acidez potencial de estos suelos y el incremento en los contenidos de Calcio, Magnesio y Potasio elementos deficientes en estos suelos hacen entrever un incremento en la productividad del cultivo y una mayor longevidad en las socas.

Por tal motivo se realizaron muestreos de suelo de las diferentes parcelas tratadas con los correctivos, información valiosa que se expondrá al final del estudio, después de obtener todas las cosechas programadas y con el tiempo necesario para acondicionar el suelo. El primer muestreo se realizo antes de la primera cosecha, el segundo muestreo se realizo después de la segunda cosecha y antes de la segunda aplicación, y el tercer muestreo se realizo después de la tercera cosecha. En el Cuadro 1 se presentan los resultados del primer análisis general del lote donde se estableció el ensayo y como se observa en el mismo los contenidos de la mayoría de nutrimentos se encuentra muy por debajo de los niveles críticos reportados por el MAG.

Esta condición refleja cabalmente las características esperadas en un suelo del Orden Ultisol con bajos contenidos de bases cambiables, altos contenidos de aluminio

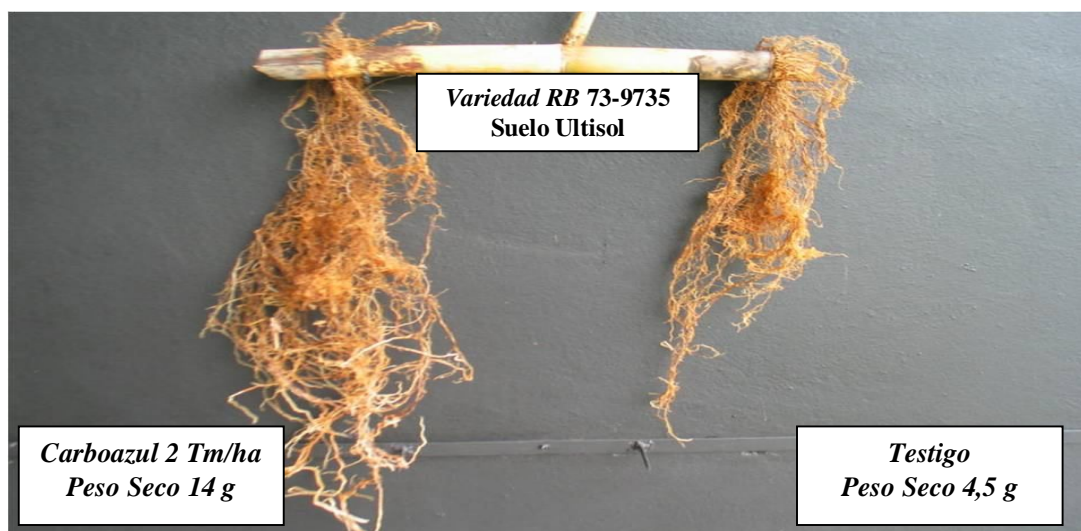
intercambiable, hierro y manganeso y una alta saturación de acidez superior al 60 %, situación que hace presumir obtener una muy buena respuesta a la aplicación de los correctivos.

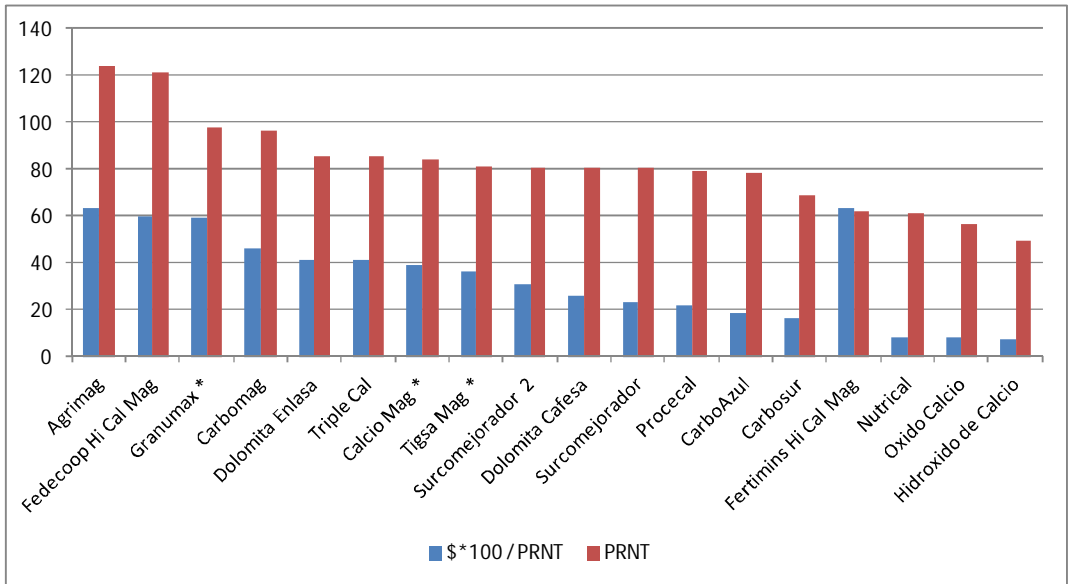
**Cuadro1 Composición Química del suelo previo al establecimiento del ensayo**

| PH        | Acidez  | % SA    | Cmoles /L |        |        | P       | Mg /L  |        |        |          | CICE   |
|-----------|---------|---------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|
|           |         |         | K         | Ca     | Mg     |         | Cu     | Zn     | Mn     | Fe       |        |
| 4.32      | 2.2     | 60      | 0.11      | 1.23   | 0.13   | 9.1     | 8      | 2.8    | 30.5   | 268      | 3.67   |
| 5.5 - 6.5 | 0.5 - 1 | 10 - 50 | 0.2 - 15  | 4 - 20 | 1 - 10 | 10 - 40 | 3 - 20 | 2 - 10 | 6 - 50 | 11 - 100 | 5 - 25 |
| bajo      | Alto    | alto    | bajo      | Bajo   | Bajo   | bajo    | bajo   | bajo   | Medio  | Alto     | Bajo   |

Entre las enmiendas a evaluar cinco fueron Carbonatos, cuatro fueron Hidróxidos y siete Óxidos, y uno de los materiales es una combinación de hidróxido, sulfato y carbonato. La composición química fue variada, sin embargo la mayoría de los correctivos aportaron calcio y magnesio, como de observa en el cuadro 2 También los precios fluctuaron entre \$0.06 a \$ 0.49 por kilogramo de producto comercial.

Es de esperar que el precio de los productos se encuentre en relación directa con el Porcentaje relativo de Neutralización Total ( PRNT ) sin embargo en la Figura 1 donde se correlacionan ambas variables precio y PRNT es notorio que esta relación no se da ,ya que muchos de los correctivos presentan mayores precios de mercado y con valores de PRNT similares entre si, posiblemente es deducible que las diferencias de precio entre los correctivos se deben principalmente a su composición química.





**Figura 1. Relación entre el precio del correctivo y el Porcentaje Relativo de Neutralización Total.**



**Cuadro 2**  
**Enmiendas comerciales evaluadas en el ensayo establecido en la Zona Sur**

| Producto                          | Composición                      | Presentacion. | Precio unitario (\$)/ Kg | Precio Unitario/saco (\$) | Distribuidor                       |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| AGRI MAG                          | Hidroxido de Magnesio 40 %       | 23 Kg         | 0.28                     | 6.44                      | ENLASA                             |
|                                   | Hidroxido de Calcio 60 %         |               |                          |                           |                                    |
| Calcio Mag *                      | Oxido de Calcio 29 %             | 50 kg         | 0.33                     | 16.50                     | ABOPAC                             |
|                                   | Oxido de Magnesio 13 %           |               |                          |                           |                                    |
| Cal Dolomita (ENLASA)             | Carbonato de Calcio 50%          | 50 Kg         | 0.15                     | 7.50                      | ENLASA                             |
|                                   | Carbonato de Magnesio 40%        |               |                          |                           |                                    |
| Cal Dolomita (CAFESA)             | Carbonato de Calcio 50%          | 50 Kg         | 0.13                     | 6.50                      | CAFESA                             |
|                                   | Carbonato de Magnesio 40%        |               |                          |                           |                                    |
| Oxido de Calcio (cal viva)        | Oxido Calcio 55 %                | 17 kg         | 0.13                     | 2.21                      | CALERA PATARRA (JOSE ANGEL FALLAS) |
| Carboazul                         | Carbonato de Calcio 95%          | 45 Kg         | 0.06                     | 2.70                      | HOLCIM S.A                         |
| Carbomag                          | Carbonato de Calcio 51,54 %      | 46 kg         | 0.07                     | 3.22                      | ASOCIACION DESARROLLO LA PALMERA   |
|                                   | Carbonato Magnesio 47,23 %       |               |                          |                           |                                    |
| Fedecoop Hi-Cal-Mag               | Hidroxido de Calcio 60 %         | 50 kg         | 0.31                     | 15.50                     | FEDECOOP                           |
|                                   | Hidroxido de Magnesio 40 %       |               |                          |                           |                                    |
| Fertimins HI CAL- MAG             | Calcio 33 %                      | 23 Kg         | 0.39                     | 8.97                      | AGRO PRO                           |
|                                   | Magnesio 16 %                    |               |                          |                           |                                    |
| Granumax *                        | Oxido de Calcio 23 %             | 50 kg         | 0.45                     | 22.50                     | EUROFERTIL                         |
|                                   | Oxido Magnesio 23 %              |               |                          |                           |                                    |
| Hidroxido de Calcio (cal apagada) | Hidroxido de Calcio 54%          | 15 Kg         | 0.18                     | 2.70                      | CALERA PATARRA (JOSE ANGEL FALLAS) |
| Nutrical                          | Hidroxido Calcio 35 %            | 46 Kg         | 0.36                     | 16.56                     | AGRIAL                             |
|                                   | Carbonato Magnesio 15 %          |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Sulfato de Calcio 15 %           |               |                          |                           |                                    |
| Surcomejorador "Tradicional"      | Oxido de Calcio 41,6%            | 46 Kg         | 0.33                     | 15.18                     | ECOINSUMOS                         |
|                                   | Oxido de Magnesio 9,7%           |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Azufre (S) 5,3%                  |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Silicio (SiO <sub>2</sub> ) 2,6% |               |                          |                           |                                    |
| Surcomejorador "Mejorado"         | Oxido de Calcio 41,5%            | 46 Kg         | 0.33                     | 15.18                     | ECOINSUMOS                         |
|                                   | Oxido de Magnesio 8,5%           |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Azufre (S) 6,8%                  |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Silicio (SiO <sub>2</sub> ) 5,7% |               |                          |                           |                                    |
| Tigsa-Mag *                       | Oxido de Calcio 25-26%           | 50 Kg         | 0.49                     | 24.50                     | EUROFERTIL                         |
|                                   | Oxido de Magnesio de 15-16%      |               |                          |                           |                                    |
| TRIPLE CAL                        | Oxido de Calcio 30 %             | 50 Kg         | 0.26                     | 13.00                     | ENLASA                             |
|                                   | Oxido de Magnesio 15 %           |               |                          |                           |                                    |
|                                   | Azufre como sulfatos 15 %        |               |                          |                           |                                    |
| PROCECCAL                         | Carbonato de Calcio 98,2 %       | 46 kg         | 0.06                     | 2.76                      | INDUSTRIAS PROCECCAL S.A           |
| CARBOSUR                          | Carbonato de Calcio 98%          | 46 kg         | 0.06                     | 2.76                      | CPCP SUR                           |

• Productos Granulados

tipo cambio \$ US    ¢510

## RESULTADOS

### Eficiencia granulométrica (EFG)

Se realizó una valoración de los diferentes materiales encalantes respecto a su Eficiencia Granulométrica ( % EFG ), resultados que se presentan en el cuadro 3 y donde se observan claras diferencias entre los diferentes materiales correctivos sobresaliendo entre ellos TRIPLE CAL como uno de los materiales con mayor fineza en sus partículas con un 94.6 % , seguido por las DOLOMITAS de Enlasa y Cafesa con valores de 87.6 y 86 % respectivamente, los valores más bajos se presentaron con el OXIDO DE CALCIO y HIG CAL MAG FERTIMINS con 58.2 y 45.6 % respectivamente. Como el grado de molienda se considera como un importante costo en la producción del material en este caso los precios (cuadro 4) aparentemente no correlacionan este aspecto, esto se ve reflejado en el caso de la enmienda NUTRICAL el cual es una de los de mayor precio de mercado ( \$ 0.36 / Kg ) y presento una de las granulometrías más bajas.(78.2 %)

**Cuadro 3**  
**Valores de la Eficiencia Granulométrica**

| MATERIAL ENCALANTE    | REPETICIONES |      |      | PROMEDIO | desv est | cv % |
|-----------------------|--------------|------|------|----------|----------|------|
|                       | 1            | 2    | 3    |          |          |      |
| TRIPLE CAL            | 94,5         | 94,7 | 94,7 | 94,6     | 0,12     | 0,12 |
| CAL DOLOMITA ENLASA   | 87,2         | 87,6 | 87,9 | 87,6     | 0,35     | 0,40 |
| HIG CAL MAG FEDECOOP  | 81,2         | 79,9 | 82   | 81,1     | 1,06     | 1,31 |
| SURCOMEJORADOR        | 84,5         | 84,2 | 84,3 | 84,3     | 0,15     | 0,18 |
| AGRI MAG              | 83,9         | 79,9 | 84,7 | 82,8     | 2,57     | 3,11 |
| DOLOMITA CAFESA       | 82,7         | 82,9 | 82,9 | 82,8     | 0,12     | 0,14 |
| CARBOAZUL             | 82,7         | 82,7 | 82   | 82,5     | 0,40     | 0,49 |
| NUTRICAL              | 78,9         | 78,5 | 78,2 | 78,5     | 0,35     | 0,45 |
| CARBOMAG              | 75,6         | 75,4 | 75   | 75,3     | 0,31     | 0,41 |
| PROCECAL              | 81,3         | 79,7 | 79,8 | 80,3     | 0,90     | 1,12 |
| HIDROXIDO CALCIO      | 68,9         | 67,7 | 65,8 | 67,5     | 1,56     | 2,32 |
| CARBOSUR              | 75,6         | 75,6 | 75,8 | 75,7     | 0,12     | 0,15 |
| OXIDO CALCIO          | 58,1         | 58,2 | 59,5 | 58,6     | 0,78     | 1,33 |
| HIG CAL MAG FERTIMINS | 85,1         | 86,5 | 86,5 | 86,0     | 0,81     | 0,94 |

### Poder Neutralización (PN)

También se evaluó el Poder de Neutralización (PN) el cual es la capacidad de neutralización del producto evaluado considerando la cantidad y tipo de los elementos neutralizantes en su composición y comparados con una equivalencia ofrecida por el Carbonato de Calcio como el 100 % .En el cuadro 4 se observa el Poder de Neutralización obtenido de los diferente materiales y donde sobresalen el AGRIMAG

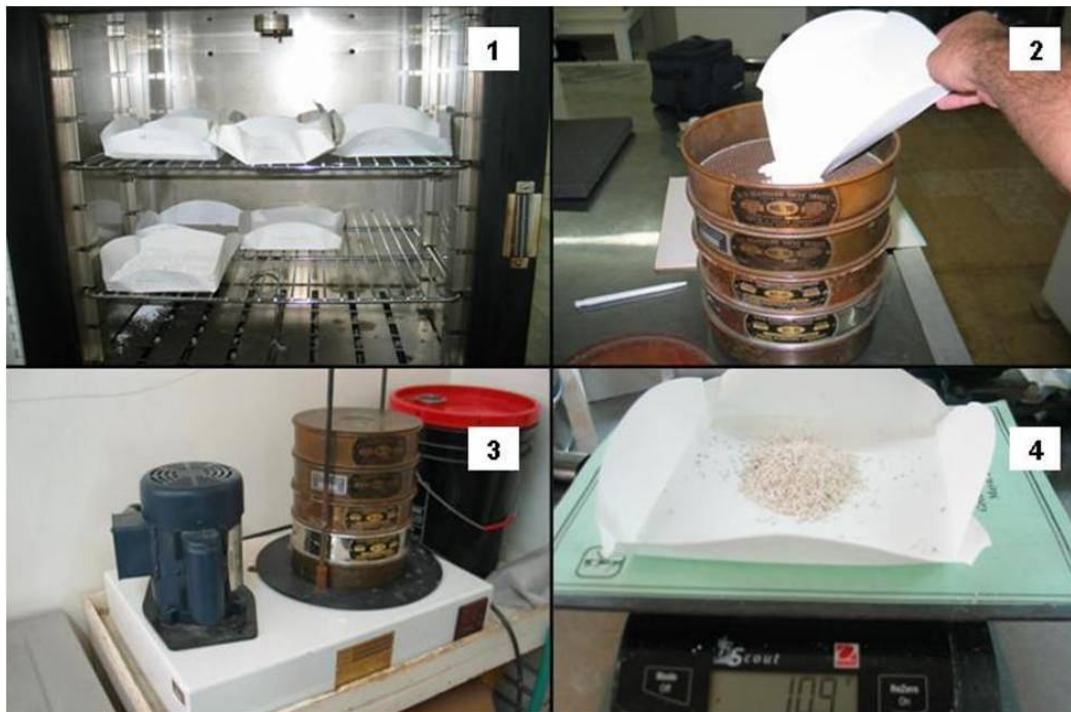
con un 49.8 % y el FEFECOOP HIG CAL MAG con un 49.8 % superior en capacidad de neutralización al Carbonato de calcio. En esta variable de medición de la capacidad de neutralización de las enmiendas se presentan algunos con valores muy bajos como son el FEDECOOP HIG CAL MAG con un 72.07 % e Hidróxido de calcio con un 72.9%. Estas diferencias en el poder neutralizante tampoco van de la mano con el precio del producto ya que ambas enmiendas no son las de menor precio de mercado.

## **Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)**

Con el Producto de la multiplicación entre la Eficiencia Granulométrica (EFG %) y el Poder de Neutralización (PN) se obtuvo el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT), cuyos valores se observan en el mismo Cuadro 4 y Figura 2, donde sobresale el AGRIMAG con un 124% y el HIG CAL MAG FEDECOOP con un 121.49 %, valores que deben ser consecuentes con una mayor reacción en el suelo y ligado con ello a una mayor productividad del cultivo.

Las diferencias entre los diferentes correctivos en los valores de PN y PRNT de deben a los valores de Eficiencia Granulométrica de cada correctivo, en la figura 2 fácilmente se aprecian estas diferencias.

Los materiales ,GRANUMAX,TIGSA MAG y CALCIOMAG presentan valores iguales de PN PRNT debido a que por ser granulados se presumió una eficiencia granulométrica de un 100 % para poder relacionar su capacidad de reacción con las demás variables en este estudio.

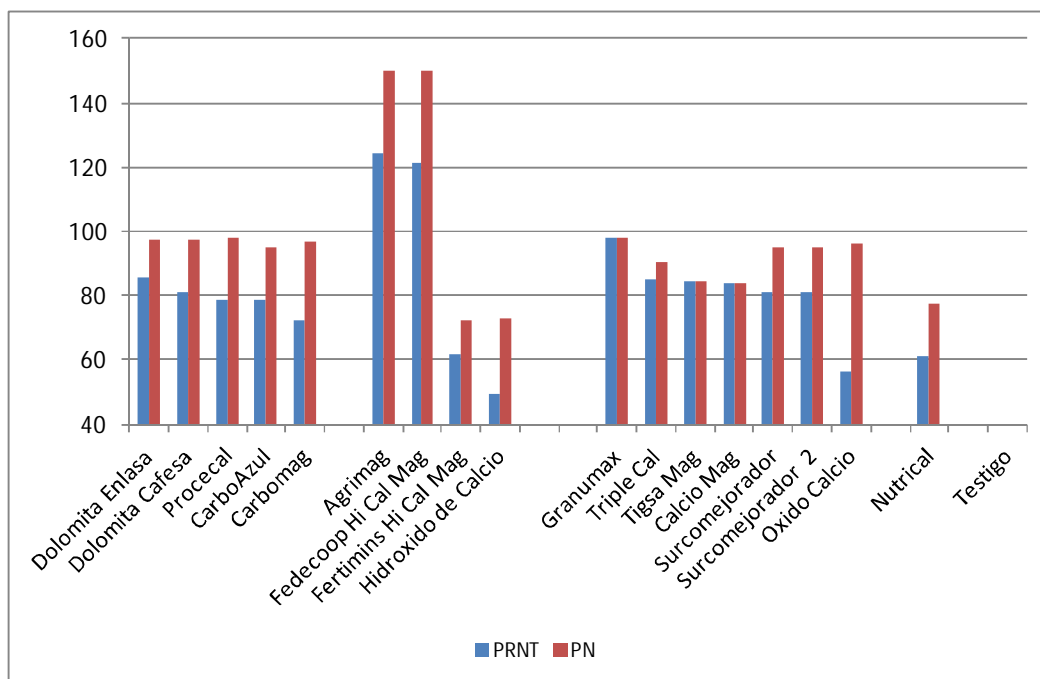


**Cuadro 4**  
**Valores obtenidos del Poder de Neutralización y Poder Relativo de Neutralización Total**  
**de los diferente correctivos evaluados**

| MATERIAL             | precio \$ /kg | PN %  | PRNT % |
|----------------------|---------------|-------|--------|
| Tigsa Mag *          | 0,49          | 84,18 | 84,18  |
| Granumax *           | 0,45          | 97,98 | 97,98  |
| Fertimins Hi Cal Mag | 0,39          | 72,07 | 61,97  |
| Nutrical             | 0,36          | 77,55 | 60,87  |
| Surcomejorador 2     | 0,33          | 98,09 | 80,82  |
| Surcomejorador       | 0,33          | 98,09 | 80,77  |
| Calcio Mag *         | 0,33          | 83,91 | 83,91  |
| Fedecoop Hi Cal Mag  | 0,31          | 149,8 | 121,49 |
| Agrimag              | 0,28          | 149,8 | 124,03 |
| Triple Cal           | 0,26          | 90,6  | 85,07  |
| Hidroxido de Calcio  | 0,18          | 72,9  | 49,57  |
| Dolomita Enlasa      | 0,15          | 97,6  | 85,49  |
| Oxido Calcio         | 0,13          | 96,12 | 56,32  |
| Dolomita Cafesa      | 0,13          | 97,6  | 80,81  |
| Carbomag             | 0,07          | 96,5  | 72,47  |
| Carbosur             | 0,06          | 90,6  | 68,58  |
| Procecal             | 0,06          | 98,2  | 78,85  |
| CarboAzul            | 0,06          | 95    | 78,37  |

**\* Productos granulados**





**Figura 2. Valores del Poder Relativo de Neutralización en los materiales evaluados agrupados de acuerdo a su composición química.**

En total se realizaron tres cosechas, esperando realizar dos más para culminar el ciclo comercial del cultivo y de esta manera obtener resultados confiables y mejores conclusiones en un aspecto del manejo que requiere tiempo y constancias.

En el Cuadro 5 se presenta el resultado del análisis de varianza realizado a las principales variables agroindustriales del cultivo en el promedio de las tres cosechas y donde se observa que se presentaron diferencias significativas (1%) en dichas variables.

La prueba de medias aplicada fue Tukey 5 % y la misma reveló como se observa en dicho cuadro que en la variable Rendimiento industrial se presentaron diferencias significativas entre los correctivos evaluados. En la variable Producción de caña se presentaron diferencias entre los correctivos entre los dos SURCOMEJORADORES y PROCECAL respecto al tratamiento TESTIGO y OXIDO DE CALCIO, no así con los demás correctivos.

En la variable producción de azúcar similarmente a la producción de caña se presentaron diferencias entre los correctivos PROCECAL y SURCOMEJORADOR respecto a los tratamientos TESTIGO y OXIDO DE CALCIO.

**Cuadro 5**  
**Resultados del Análisis de varianza de las principales variables estudiadas**  
**(Promedio de tres cosechas)**

| ANDEVA                |      | REND IND |      | TM Caña  |      | TM Azúcar |      |
|-----------------------|------|----------|------|----------|------|-----------|------|
| Fuente variación      | G.L. | CM       | P(f) | CM       | P(f) | CM        | P(f) |
| Bloques               | 2    | 3.975,93 | 0    | 1.930,24 | 0    | 608,35    | 0    |
| Tratamientos          | 18   | 44,39    | 0,01 | 144,34   | 0    | 4,29      | 0,01 |
| Error                 | 36   | 18,44    |      | 42,86    |      | 1,65      |      |
| Total                 | 56   | 9.414,92 |      | 8.001,39 |      | 1.353,28  |      |
| % CV                  |      | 3,49     |      | 5,81     |      | 7,68      |      |
| DMS                   |      | 13,46    |      | 20,52    |      | 4,02      |      |
| Tratamientos          |      | REND IND | SEP  | TM Caña  | SEP  | TM Azúcar | SEP  |
| Surcomejorador 2      |      | 128,32   | a    | 122,37   | a    | 18,65     | a    |
| Procecal              |      | 123,22   | a    | 123,4    | a    | 18,56     | a    |
| Fertimins Hig Cal Mag |      | 127,33   | a    | 117,43   | ab   | 17,85     | ab   |
| Fedecoop Hig Cal Mag  |      | 125,44   | a    | 117,98   | ab   | 17,84     | ab   |
| Surcomejorador 1      |      | 121,47   | a    | 121,19   | a    | 17,76     | ab   |
| Agrimag               |      | 126,97   | a    | 114,18   | ab   | 17,37     | ab   |
| Carbosur              |      | 118,82   | a    | 115      | ab   | 17,04     | ab   |
| Dolomita Enlasa       |      | 123,26   | a    | 114,57   | ab   | 16,91     | ab   |
| Carboazul             |      | 125,84   | a    | 112,22   | ab   | 16,82     | ab   |
| Nutrical              |      | 119,87   | a    | 116,07   | ab   | 16,74     | ab   |
| Hidroxido Calcio      |      | 116,13   | a    | 115,89   | ab   | 16,7      | ab   |
| Tigsa Mag             |      | 123,4    | a    | 110,37   | ab   | 16,57     | ab   |
| Carbomag              |      | 129,47   | a    | 109,38   | ab   | 16,56     | ab   |
| Triple Cal            |      | 119,7    | a    | 112,92   | ab   | 16,35     | ab   |
| Dolomita Cafesa       |      | 121,47   | a    | 109,61   | ab   | 15,89     | ab   |
| Calciomag             |      | 126,61   | a    | 105,97   | ab   | 15,75     | ab   |
| Granumax              |      | 123,51   | a    | 105,19   | ab   | 15,59     | ab   |
| Testigo               |      | 122,27   | a    | 99,55    | b    | 14,35     | b    |
| Oxido Calcio          |      | 116,38   | a    | 98,48    | b    | 14,33     | b    |

## Rendimiento Industrial

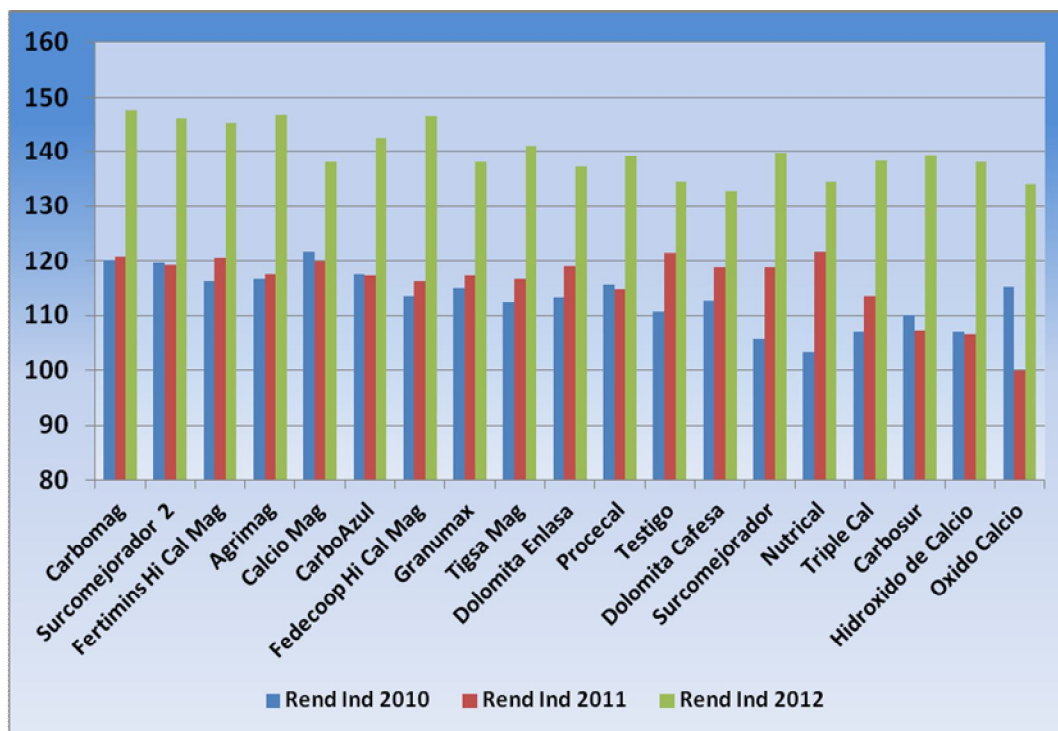
En el Rendimiento Industrial (Kg azúcar/tm ) como se menciona la prueba de medias no presento diferencias significativas según tukey 5%, y en la primera y segunda cosecha los rendimientos obtenidos no fueron muy diferenciados entre si , como sí ocurrió con los rendimientos obtenidos en la tercera cosecha posiblemente estimulados por condiciones climáticas favorables que indujeron en una mayor madurez y con ello mayores rendimientos industriales en todos los tratamientos.

En la Figura 3 se observan los tratamientos ordenados de acuerdo al promedio de los rendimientos obtenidos, sobresaliendo entre ellos CARBOMAG el cual supero al tratamiento con menor rendimiento OXIDO CALCIO en más de 12 Kg de azúcar por tonelada de caña.

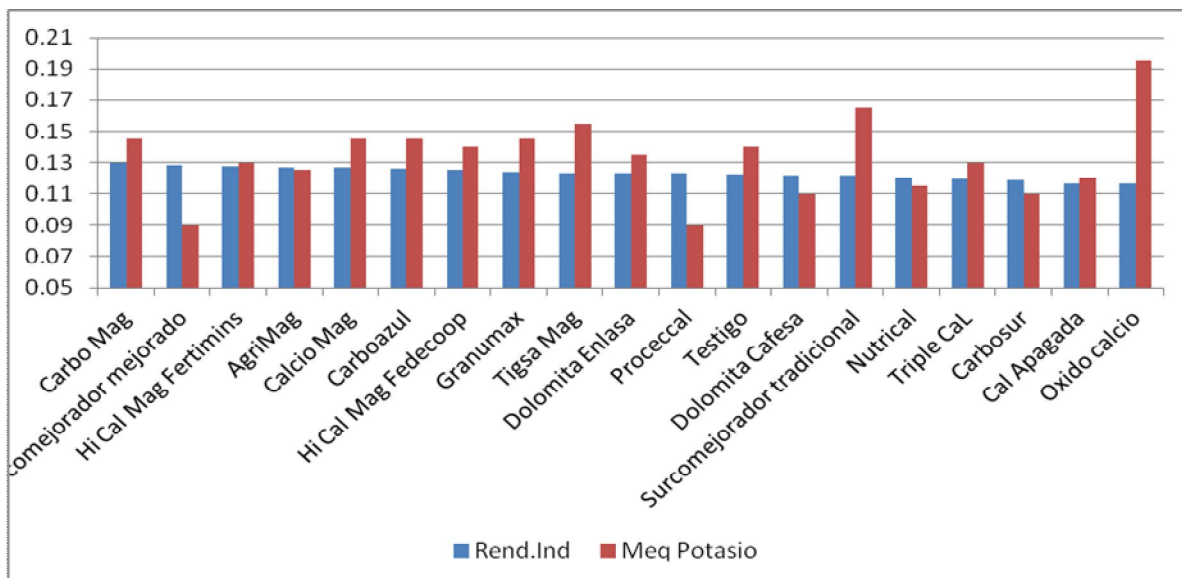
El potasio es un nutriente importante en la caña de azúcar al promover dentro de sus funciones el transporte de sacarosa, pero a la vez este elemento podría verse influenciado ante la presencia de cantidades diferenciadas de calcio y magnesio aportadas por las enmiendas al suelo, causando algún grado de desbalance catiónico que podría impedir de alguna manera la disponibilidad de este importante elemento para la caña de azúcar.

Por esta posibilidad se procedió a analizar las cantidades de potasio presentes en las parcelas tratadas con los correctivos en los diferentes muestreos y se encontró como se observa en la Figura 4 que no se presentaron diferencias con sentido en la relación de estas variables.

Caso contrario como se observa el tratamiento con SURCOMEJORADOR MEJORADO presento menores cantidades de Potasio y fue uno de los de mayor rendimiento y por otro lado el OXIDO DE CALCIO fue el tratamiento con mayor cantidad de potasio y con uno de los menores rendimientos industriales.



**Figura 3 Rendimiento Industrial obtenido en la evaluacion de diferentes enmiendas en la caña de azucar en un suelo ultisol en tres cosechas**



**Figura 4. Cantidad de potasio ( meq ) en el muestre previo a la segunda cosecha y Rendimiento Industrial de la segunda cosecha**

## Produccion de Caña ( TM/Ha )

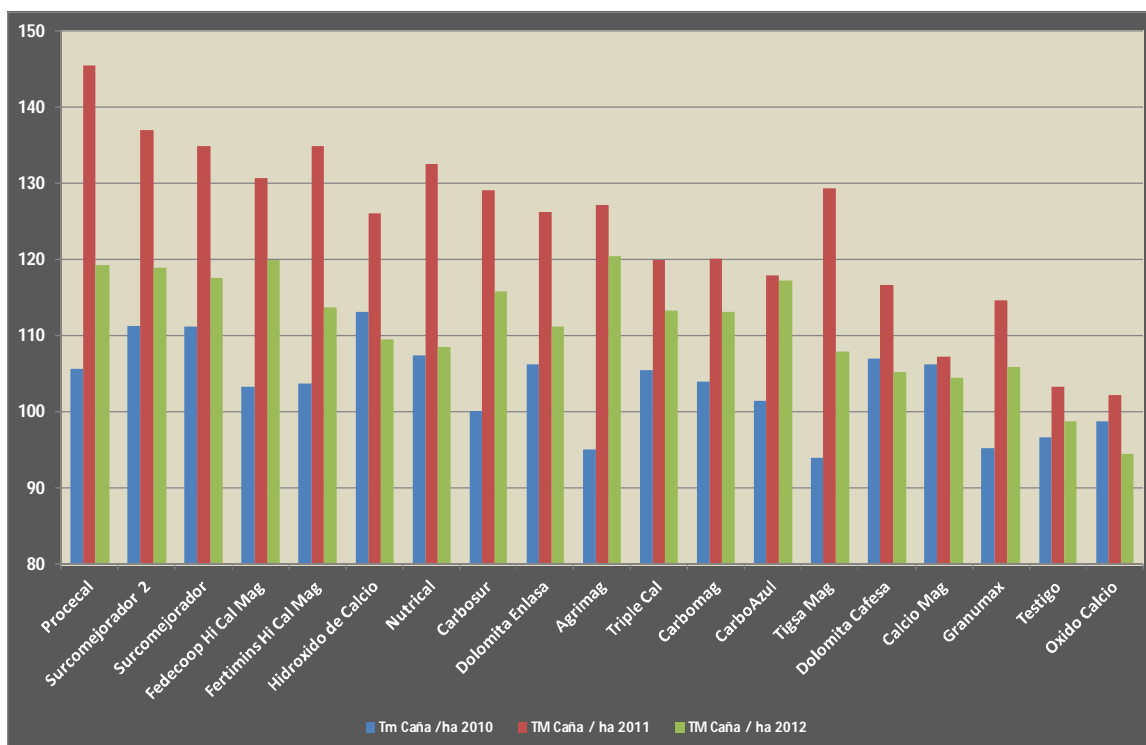
En esta variable se presentaron diferencias significativas al 1% como se pudo observar en el Cuadro 5 del ANDEVA y donde además la prueba de medias señala a los materiales o enmiendas SURCOMEJORADOR MEJORADO y TRADICIONAL junto al PROCECAL como aquellos que presentaron diferencias significativas respecto al tratamiento TESTIGO y al OXIDO DE CALCIO. Respecto a los demás materiales no presentaron diferencias entre si ni con estos correctivos.

En la Figura 5 se presenta la producción de caña (tm/ha) en las tres cosechas realizadas y se observa que en el promedio de las mismas el material PROCECAL presento la mayor producción superando al tratamiento testigo en un 19%.

Las diferencias entre los diferentes productos son evidentes y además se evidencia como en la segunda cosecha las mismas fueron más evidentes a pesar de haber transcurrido casi 24 meses después de la aplicación, pareciera con ello que el buen acondicionamiento del suelo requiere tiempo, es paulatino y además probablemente la cepa de la caña almacena los nutrimentos que en algún momento estuvieron fácilmente disponibles al sistema radicular de la caña, permitiendo posteriormente la obtención de buenos rendimientos.

Es importante ver el comportamiento del PROCECAL entre las cosechas .ya que en el primer corte realizado aproximadamente a los 11 meses no fue el de mayor producción al ser superado o igualado por muchos de los materiales en estudio, sin embargo rebasó al tratamiento testigo en esa cosecha en un 8%. En la segunda cosecha mejoro también al tratamiento testigo en un 29 % y en la tercer cosecha en un 17 % superado levemente por el material AGRIMAG el cual es uno de lo que presentaron un mayor PRNT y por lo tanto del que se esperaba un mayor beneficio productivo.

Los productos granulados como GRANUMAG, TIGSA MAG y CALCIO MAG no presentaron buenos resultados ya que superaron al testigo en todas las cosechas pero también fueron superados por una mayoría de enmiendas como se observa en dicha Figura 5.



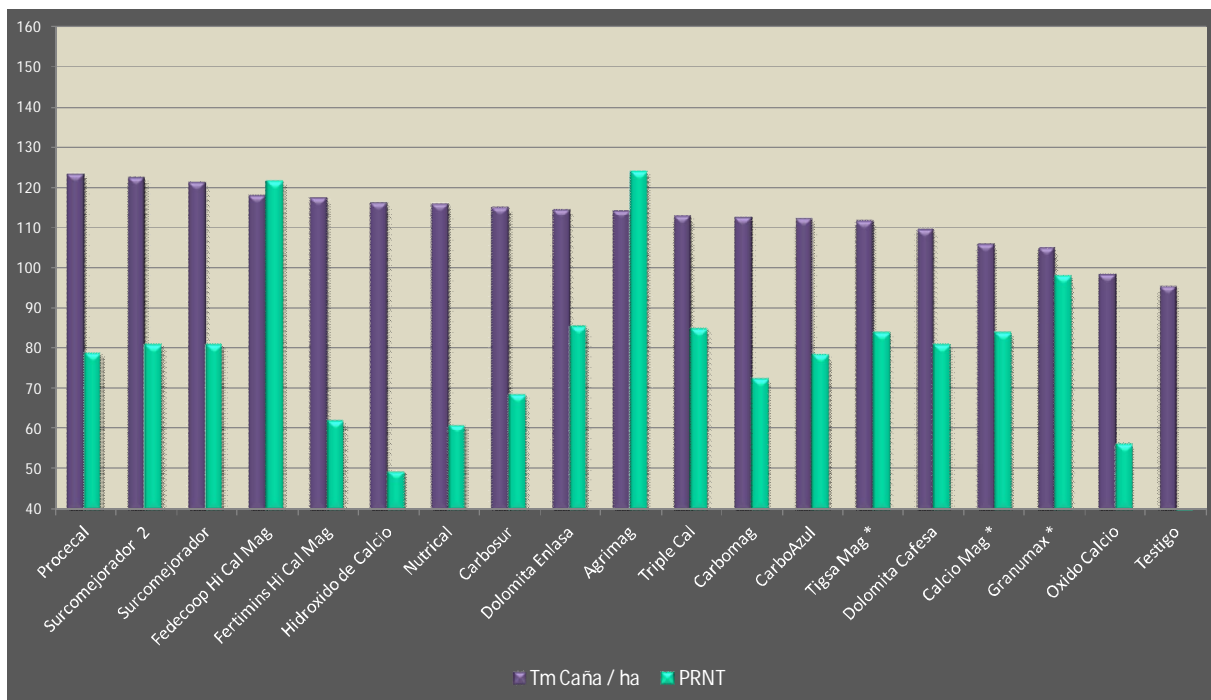
**Figura 5. Resultados de la producción de caña TM / Ha en un suelo Ultisol tratado en dos ocasiones con diversos tipos de enmiendas**

## PRODUCCION DE CAÑA y PRNT

El Poder Relativo de Neutralización reúne como se menciona anteriormente la capacidad de neutralización y la eficiencia del material de acuerdo a su grado de molienda, por tal motivo se podría decir que este parámetro es el referente de calidad de los correctivos.

Por tal motivo, después de dos aplicaciones y tres cosechas es de esperar que aquellos materiales con un mayor PRNT sobresalgan con mayores rendimientos agroindustriales, sobre todo al tener presente de la baja o muy baja fertilidad del suelo donde se encuentra este ensayo. Se observa en la Figura 6 como los correctivos PROCECAL y ambos SURCOMEJORADORES no presentaron los mayores valores de PRNT pero si los mayores rendimientos de caña por hectárea.

Tratamientos como el HIDROXIDO CALCIO contrasta con el tratamiento GRANUMAG no solo por el valor de PRNT del HIDROXIDO si no por su precio de mercado (cuadro 4) el cual es \$0.27 por kilogramo inferior al GRANUMAG.



**Figura 6. Relación entre la producción de caña y el porcentaje relativo de Neutralización en los diferentes tratamientos con los correctivos**

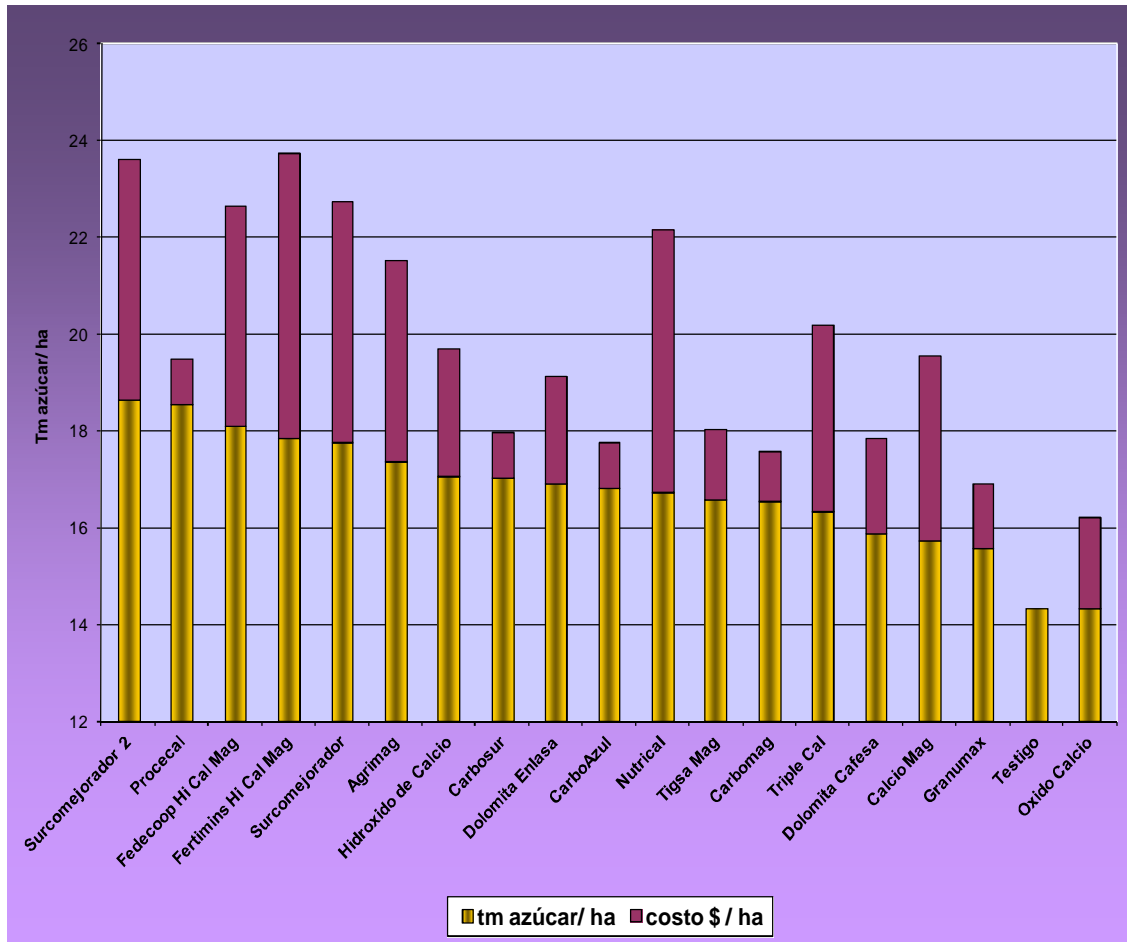
## Producción de Azúcar (Tm / Ha)

Esta variable resume el rendimiento industrial y la producción de caña por lo que el tratamiento SURCOMEJORADOR al haber presentado mayores rendimientos de azúcar por tonelada que el tratamiento con PROCECAL se atribuyo en esta variable el primer lugar en la producción de azúcar superando al testigo en 4.30 toneladas de azúcar por hectárea, respecto a los tratamientos TESTIGO y OXIDO CALCIO.

En la figura 7 se incorporo a la producción de azúcar el correspondiente costo por hectárea, sobresaliendo en este aspecto el tratamiento con PROCECAL el cual además de brindar buenos rendimientos es uno de los materiales con menor precio de mercado, junto a los demás carbonatos como CARBOAZUL Y CARBOSUR.

## Producción de azúcar y Saturación de Acidez

Uno de los objetivos de la aplicación de correctivos es reducir la acidez del suelo y mejorar la disponibilidad de las bases cambiables para el cultivo. Al ser la caña de azúcar un cultivo semipermanente las labores de acondicionamiento del suelo se va a ver reflejada paulatinamente en una mayor productividad a lo largo del ciclo del cultivo sobre todo después de haberle proporcionado dos aplicaciones de los diferentes correctivos.



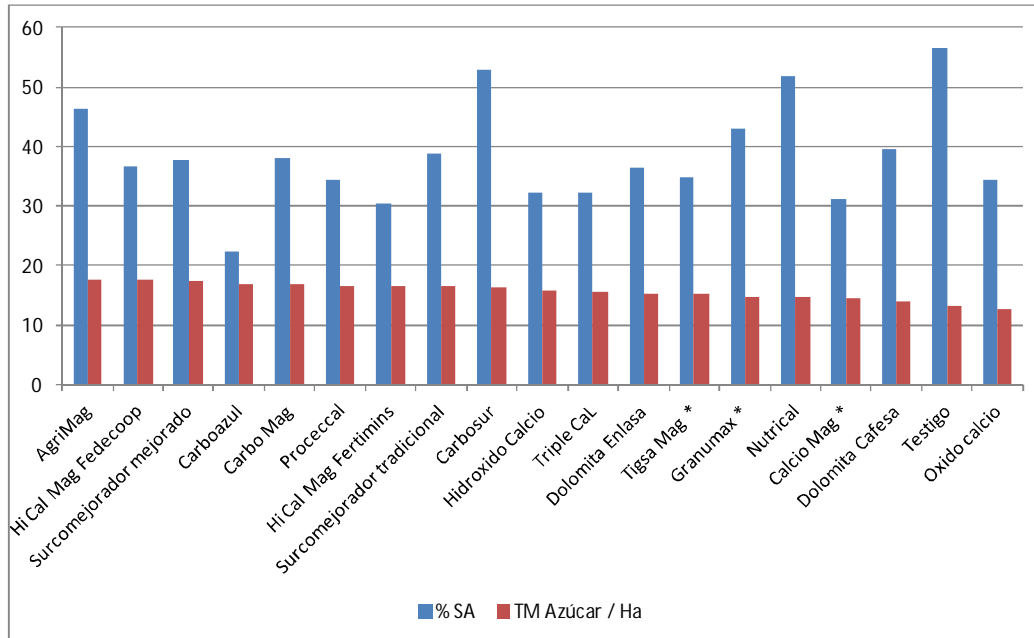
**Figura 7. Producción de Azúcar (TM / ha) y costo por hectárea de los diferentes tratamientos evaluados.**

Ante esta situación resulta interesante verificar si después de tres cosechas dicho acondicionamiento del suelo se ve reflejado en la relación directa entre una disminución esperada en la saturación de acidez del suelo aplicado y la producción promedio de azúcar por hectárea. Se podría correlacionar esta variable productiva con otros componentes del análisis pero se considero que la saturación de acidez involucra el aporte tan variado por parte de los correctivos en estudio de los elementos calcio y magnesio.

En el Cuadro 1 referente al análisis de suelo general del ensayo y los primeros análisis individualizados realizados a las parcelas tratadas revelaron porcentajes de saturación de acidez cercanos al 60 %.

En la figura 8 se presentan los valores de saturación de acidez obtenidos en el ultimo muestreo de suelo realizado posterior a la tercera cosecha y el promedio de la tercera cosecha en la producción de azúcar (Tm/Ha), donde se observa una notable disminución en el porcentaje de saturación de acidez si se comparan los tratamientos con el TESTIGO. Sin embargo algunos correctivos sobresalieron por sus bajos valores como CARBOAZUL, seguido por FERTIMINS HIG CAL MAG y CALCIO MAG entre otros. El tratamiento TESTIGO, CARBOSUR y NUTRICAL presentaron aun valores superiores al límite de 50 recomendado para este parámetro (Bertsch 1987).

La producción de azúcar correlacionada a la saturación de acidez revela entre algunos tratamientos que dicha correlación es inversamente proporcional ya que por ejemplo con los correctivos HIDROXIDO DE CALCIO, TRIPLE CALDOLOMITA ENLASA; TIGSA MAG; GRANUMAG; Y NUTRICAL se cumple dicha correlación sin embargo en algunos correctivos no se cumple esa tendencia. Por tal motivo pareciera que existe algún otro aspecto de carácter químico o físico que influyen en la respuesta productiva del cultivo. Es importante esperar los resultados de al menos dos cosechas más para así poder obtener mejores conclusiones al respecto.



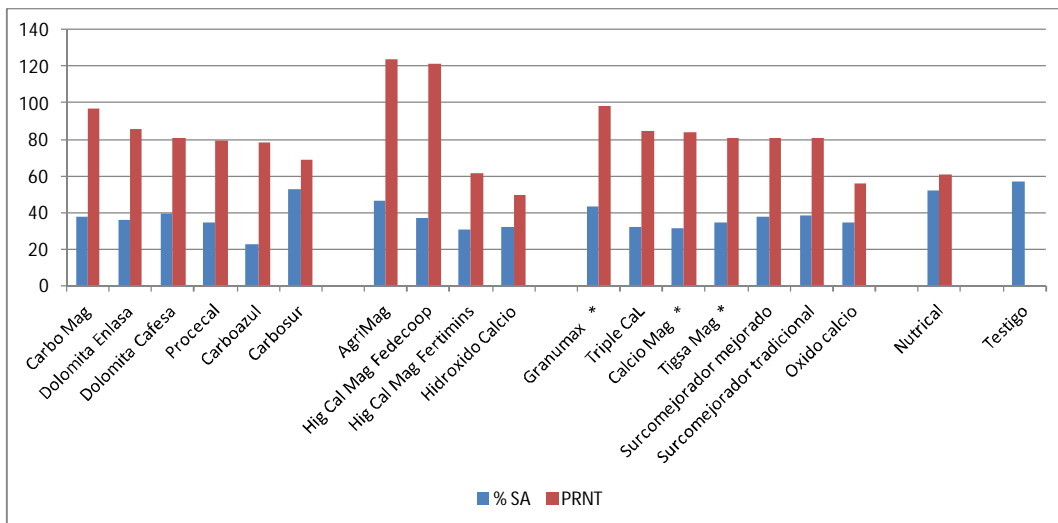
**Figura 8 Relación entre la producción de Azúcar (TM /Ha) y el porcentaje de saturación de acidez de los suelos tratados en dos ocasiones con los diferentes correctivos.**

## Saturación Acidez y Porcentaje Neutralización Total

Con los valores obtenidos en el último análisis de suelo realizado a los diferentes tratamientos, estos se agruparon de acuerdo al tipo de enmienda y se procedió a correlacionar los valores correspondientes de Saturación de Acidez y el Porcentaje de Neutralización Total de los diferentes tratamientos.

En esta combinación se encontró como se observa en la figura9, que en general entre los diferentes grupos de enmiendas no se presentó una correlación clara y tendiente a presentar una disminución en el Porcentaje de saturación de la acidez con aquellos correctivos que presentaron un mayor Porcentaje de neutralización Total como era de esperar. Por ejemplo el correctivo AGRIMAG presentó el mayor valor de PRNT y también el mayor porcentaje de saturación de acidez entre el grupo de hidróxidos al cual pertenece, por otra parte en el grupo de los carbonatos el CARBOAZUL no presentó el mayor valor de PRNT pero sí el menor valor de saturación de acidez.

Entre los óxidos la saturación de acidez fue fluctuante pero el mayor PRNT estuvo asociado a una mayor saturación de acidez. Resulta difícil con la variabilidad química presente en los diferentes materiales llegar a conclusiones definitivas al respecto.



**Figura 9. Valores en el Porcentaje de Saturación de Acidez y Porcentaje Relativo de Neutralización de los correctivos evaluados en el ensayo.**

## Análisis Económico

En el Cuadro 7 se observa el resultado del análisis de ingreso y gastos efectuado a los diferentes tratamientos considerando gastos fijos y los gastos variables donde se incluye la aplicación de los correctivos y donde el precio de estos es determinante en el beneficio económico de esta práctica. Utilizando el tratamiento testigo como referencia en la relación beneficio costo este indica que con este tratamiento por cada Colon ( ¢) invertido se obtiene ¢ 1.92, mientras que con el tratamiento PROCECAL uno de los de mayor producción presentó un ¢2.33 superando al tratamiento testigo en un ¢ 0.41 lo que representa un 41 % de beneficio si se utiliza este correctivo. Tres de los correctivos evaluados como se observan en el cuadro 7 presentaron valores inferiores al testigo los cuales fueron TRIPLE CAL, OXIDO DE CALCIO y CALCIO MAG. El tratamiento con TIGSAMAG material granulado, de baja dosis (300 kg / ha) y el de mayor precio por kilogramo presentó una alta relación beneficio costo (¢2.18) por lo que indica que una disminución en el costo de la aplicación (mano obra) puede redundar en un beneficio económico aceptable.

**Cuadro 7**  
**Análisis económico realizado a los diferentes tratamientos evaluados en este estudio**

| TRATAMIENTOS         | Tm az/ ha | Beneficio Bruto | Aplicación Enmienda | Corta , Carga Transporte | Costo Fijo | Costo Total | Beneficio Neto | Relación Beneficio Costo |
|----------------------|-----------|-----------------|---------------------|--------------------------|------------|-------------|----------------|--------------------------|
| Procecal             | 19.58     | 2839100         | 43277               | 580910                   | 595044     | 1219231     | 1619869        | 2.33                     |
| Tigsa Mag *          | 17.26     | 2502700         | 37093               | 516725                   | 595044     | 1148862     | 1353838        | 2.18                     |
| Carbosur             | 17.48     | 2534600         | 45967               | 551045                   | 595044     | 1192056     | 1342544        | 2.13                     |
| Surcomejorador 2     | 19.33     | 2802850         | 130242              | 612480                   | 595044     | 1337766     | 1465084        | 2.10                     |
| Fedecoop Hi Cal Mag  | 18.36     | 2662200         | 130750              | 567655                   | 595044     | 1293449     | 1368751        | 2.06                     |
| CarboAzul            | 16.89     | 2449050         | 44750               | 558140                   | 595044     | 1197934     | 1251116        | 2.04                     |
| Fertimins Hi Cal Mag | 18.53     | 2686850         | 150315              | 570350                   | 595044     | 1315709     | 1371141        | 2.04                     |
| Hidroxido de Calcio  | 18.03     | 2614350         | 73250               | 622325                   | 595044     | 1290619     | 1323731        | 2.03                     |
| Dolomita Enlasa      | 17.72     | 2569400         | 90850               | 584650                   | 595044     | 1270544     | 1298856        | 2.02                     |
| Granumax *           | 16.07     | 2330150         | 42013               | 523490                   | 595044     | 1160547     | 1169603        | 2.01                     |
| Surcomejorador       | 18.43     | 2672350         | 130342              | 611435                   | 595044     | 1336821     | 1335529        | 2.00                     |
| Agrimag              | 17.23     | 2498350         | 135967              | 523160                   | 595044     | 1254171     | 1244179        | 1.99                     |
| Carbomag             | 16.5      | 2392500         | 43277               | 571725                   | 595044     | 1210046     | 1182454        | 1.98                     |
| Dolomita Cafesa      | 16.85     | 2443250         | 74050               | 588720                   | 595044     | 1257814     | 1185436        | 1.94                     |
| Nutrical             | 17.82     | 2583900         | 154310              | 590495                   | 595044     | 1339849     | 1244051        | 1.93                     |
| Testigo              | 14.9      | 2160500         | 0                   | 531685                   | 595044     | 1126729     | 1033771        | 1.92                     |
| Triple Cal           | 16.71     | 2422950         | 123925              | 580195                   | 595044     | 1299164     | 1123786        | 1.87                     |
| Oxido Calcio         | 15.17     | 2199650         | 66779               | 543565                   | 595044     | 1205388     | 994262         | 1.82                     |
| Calcio Mag *         | 16.41     | 2379450         | 137015              | 583935                   | 595044     | 1315994     | 1063456        | 1.81                     |

**Costos reportados en la Zona Sur**

## Conclusiones

Con los resultados parciales logrados en este estudio es posible señalar algunas conclusiones importantes y que se detallan a continuación:

- 1) Todas las Enmiendas presentaron diferencias en su Eficiencia granulométrica,(EFG), Poder de Neutralización (PN) y con ello el Poder Relativo de Neutralización (PRNT)
- 2) En el Rendimiento Industrial en la prueba de medias no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos algunos de ellos como CARBOMAG superaron al testigo sobre todo en la tercera cosecha en más de un 9 %
- 3) No se encontró una relación directa entre el contenido de potasio en el suelo y foliar en la respuesta positiva de los rendimientos Industriales mencionados.
- 4) En la producción de caña el tratamiento con PROCECAL presento la máxima respuesta productiva con un incremento respecto al testigo de un 19 %
- 5) Como grupos los Carbonatos y los Óxidos presentaron en general valores similares de PRNT y en la reducción de la Saturación de Acidez después de tres cosechas y dos aplicaciones.
- 6) No se observo una correlación clara y directa entre el Porcentaje Relativo de Neutralización Total ( PRNT) y la producción de azúcar después de tres cosechas y dos aplicaciones.
- 7) En la producción de azúcar por hectárea los tratamientos SURCOMEJORADOR y PROCECAL presentaron las mayores producciones superando al testigo ambos en un 23 % en este rubro.
- 8) En el análisis económico el tratamiento con PROCECAL presento la mayor relación Beneficio –costo con un ¢2.33 mientras que el tratamiento testigo fue de ¢1.92, valor superior a una gran mayoría de tratamientos donde destacan principalmente los Hidróxidos y los Óxidos.

- 9) El PRNT es un parámetro de medición de la calidad del correctivo sin embargo pareciera que las diferencias de precio de mercado no están directamente basados en este valor y más bien obedece a otros aspectos donde sobresale la composición química del correctivo
- 10) Los diferentes tratamientos en general después de dos aplicaciones mejoraron la condición del suelo y disminuyeron la acidez del suelo e incrementaron los contenidos en sus bases cambiables.
- 11) Es importante para lograr confirmar los resultados parciales obtenidos en este estudio realizar más cosechas en este estudio y los establecidos en otras regiones del país.