

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

-DIECA-

**IMPORTANCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
CALIDAD DE LOS CORRECTIVOS DE ACIDEZ
DEL SUELO: DESARROLLO DE UN EJEMPLO
PRÁCTICO PARA SU CÁLCULO**

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, MSc.^{1/}

**SAN JOSE-COSTA RICA
JUNIO, 1993**

CONTENIDO

	PÁGINA
Introducción	1
1. Capacidad o Poder Neutralizante (PN)	2
2. Forma Química	7
3. Tamaño de Partículas (Granulometría)	7
4. Reactividad	10
5. Contenido Nutricional	11
6. Relación Ca/Mg	12
7. Naturaleza Geológica	13
8. Valoración de la Calidad de un Correctivo	13
9. Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)	14
10. Efecto Residual	15
11. Eficiencia de un Correctivo	15
12. Legislación y Fiscalización	17
13. Productos Comerciales Utilizados	20
14. Desarrollo de un Ejemplo Práctico de Cálculo	22
15. Consideraciones Finales	30
16. Conclusión	31
17. Literatura Consultada	32
18. Anexo	36

INTRODUCCIÓN *

La acidez de muchos suelos agrícolas en nuestro país, constituye sin lugar a dudas, uno de los factores más limitantes para elevar la productividad y rentabilidad de los cultivos agrícolas, en virtud de que reduce significativamente el potencial productivo que los mismos poseen y que en teoría es factible alcanzar. La corrección y acondicionamiento de esos suelos para su empleo agrícola representa, consecuentemente, un asunto de interés común para todos lo que de una u otra forma, están involucrados en el proceso de producción agrícola.

Una buena parte de los suelos cultivados con caña de azúcar en Costa Rica, presentan condiciones de alta y mediana acidez, que traen como consecuencia baja productividad. Los suelos ácidos presentan en general, concentraciones tóxicas de aluminio, hierro y manganeso, asociadas con deficientes variables de calcio, magnesio y fósforo, principalmente (KAMPRATH, 1967; MALAVOLTA, 1987; RAIJ, 1991; TISDALE y NELSON, 1975).

La corrección de la acidez modifica un gran número de propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, lo que puede crear y establecer condiciones ambientales favorables para el desarrollo de las plantas. Con el objeto de efectuar la corrección y acondicionamiento de esos suelos, se utiliza la práctica del encalado, por medio de la cual se adicionan productos compuestos a base de calcio y magnesio que tienen la propiedad de inducir, las modificaciones necesarias que acondicionen el suelo para su empleo agrícola (RAMIREZ, 1978).

Es sin embargo paradójico y contraproducente, encontrar que pese a esa importancia, los criterios técnicos utilizados para la regulación y uso de los materiales correctivos de acidez existentes en el mercado nacional, no responden a las normas básicas de calidad que en esa materia deben necesariamente cumplirse; esto con el fin de asegurar que su empleo sea exitoso y el valor económico que el usuario paga, responda estrictamente a la calidad señalada por el vendedor.

Se entiende por correctivo, todo aquel producto que contiene sustancias capaces de corregir una o más características del suelo, que son desfavorables a las plantas. Un correctivo de acidez o alcalinidad es a su vez, un producto que promueve e induce la modificación de la acidez o alcalinidad del suelo, sin generar complementariamente ninguna característica perjudicial.

Al igual que sucede con otros insumos agropecuarios, lo materiales correctivos de acidez del suelo poseen características, atributos y propiedades indicativas de calidad, entre las que están: forma química presente, contenido de constituyentes neutralizantes, tamaño (granulometría) de las partículas, reactividad, efecto residual, relación Ca/Mg, naturaleza geológica (caso específico de los calcarios), además de la variedad, naturaleza y concentración de los nutrientes por ellos contenidos, entre otras.

^{1/} * Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). E-mail: mchavez@laica.co.cr . Teléfono (506) 284-6066 Fax: (506) 223-0839. Trabajo Publicado por DIECA en Junio de 1993.

1. CAPACIDAD O PODER NEUTRALIZANTE (PN)

El presente documento tiene por objetivo básico, comentar brevemente algunas de las características, atributos y propiedades de un correctivo de acidez de suelo en forma específica; y proporcionar además, los instrumentos metodológicos que permitan efectuar su determinación, para lo cual se desarrolla en forma sistemática un ejemplo práctico.

Los productos considerados técnicamente correctivos de la acidez del suelo, son aquellos que contienen como **“Constituyente Neutralizante”** o **“Principio Activo”**, compuestos a base de carbonatos, óxidos, hidróxidos o silicatos de calcio y/o magnesio. En razón de su diferente naturaleza química y composición variable, esos constituyentes presentan consecuentemente una capacidad de neutralización también variable, lo que consecuentemente obliga a la identificación y valoración de la capacidad potencial presente en los mismos (ALCARDE 1983, 1985, 1986, 1992ab; MARINHO, 1993; RAIJ, 1991).

La neutralización de la acidez del suelo es una reacción química y como tal, responde al **“Principio de la Equivalencia”**. Se entiende que **“Equivalente”**, la masa combinante (peso) de una sustancia en relación al oxígeno, tomado como patrón. Para un elemento cualquiera, su equivalente es igual a su masa atómica (Peso Molecular) relativa dividida entre su valencia.

El **Poder de Neutralización (PN)** de un correctivo de acidez es valorado analíticamente en el laboratorio, colocando una muestra del mismo a reaccionar en caliente con un volumen conocido (en exceso) de ácido clorhídrico diluido (HCL O, SN). Con ello, el correctivo procede a neutralizar el ácido del medio, luego de lo cual se determina con NaOH (0,25) el exceso de ácido presente, y por diferencia, se calcula la cantidad de ácido neutralizada por el correctivo; en el Anexo 3 se adjunta el procedimiento analítico para determinar ese índice (BRICEÑO y PACHECO, 1984; DE FELIPO y RIBEIRO, 1981; QUAGGIO, 1983; RIBEIRO *et al.*, 1987; SAENZ MAROTO, 1975).

En una reacción química participan igual número de equivalentes, tanto de los “reactivos” como de los “productos” de la reacción; por tanto, en la reacción de neutralización de la acidez del suelo, n equivalentes – gramos de H* serán neutralizados por n equivalentes – gramos del constituyente neutralizante presente, cualquiera que éste sea.

El Cuadro 1 presenta la cantidad de constituyente neutralizante correspondiente a un equivalente-gramo, la cual varía entre los diversos materiales correctivos de uso tradicional; para ello, los materiales se comparan con respecto a los “equivalentes” en carbonato de calcio (E CaCO₃), forma química tomada como patrón y a la que se le otorga un valor de 1 o 100% en capacidad de neutralización, por tratarse de un producto químicamente puro (p.a).

Cuadro 1
Equivalente en Carbonato de Calcio Puro de los Diferentes Constituyentes Neutralizantes de los Correctivo de Acidez del Suelo

Constituyente Neutralizante	Fórmula Química	Nº e. g. ¹			
		E	en 100 gr.	E CaCO ₃	%E CaCO ₃
Carbonato de Calcio	CaCO ₃	50,04	2,00	1,00	100
Carbonato de Magnesio	MgCO ₃	42,16	2,37	1,19	119
Hidróxido de Calcio	Ca (OH) ₂	37,05	2,70	1,35	135
Hidróxido de Magnesio	Mg (OH) ₂	29,16	3,43	1,72	172
Oxido de Calcio	CaO	28,04	3,57	1,78	178
Oxido de Magnesio	MgO	20,16	4,96	2,48	248
Silicato de Calcio	CaSiO ₃	58,14	1,72	0,86	86
Silicato de Magnesio	MgSiO ₃	50,26	1,99	1,00	100
Dolomita (pura)	CaCO ₃ + MgCO ₂	46,10	2,17	1,09	109
Dolomita viva	CaO + MgO	24,10	–	2,08	208
Dolomita apagada	Ca (OH) ₂ + Mg (OH) ₂	33,11	–	1,51	151

¹ N° e.g. = Número de Equivalente Gramos
E = Equivalente Químico
E CaCO₃ = Equivalente en Carbonato de
Equivalente en Carbonato de Calcio dado en
% E CaCO₃ = porcentaje

Fuente: ALCARDE
(1985)

Para una mejor comprensión de los principios y elementos técnicos aquí expuestos, debe indicarse que los valores contenidos en el Cuadro 1 fueron obtenidos de la forma que a continuación se describe.

Los equivalentes químicos (E) de cada uno de los constituyentes neutralizantes, esta representado por su peso molecular (P.M.) o masa atómica entre su valencia, es así como en el caso particular del CaCO₃, Ca (OH)₂, MgO y MgSiO₃, sería:

a) CaCO₃

Ca = 40,08
C = 12,01115
3 O = 15,9997 x 3
P.M. = 100,09025

b) Ca (OH)₂

Ca = 40,08
2 O = 15,9997 x 2
2 H = 1,00797 x 2
P.M. = 74,09534

c) MgO

Mg = 24,3120
O = 15,9997
P.M. = 40,3117

d) MgSiO₃

Mg = 24,3120
Si = 28,2060
3 O = 15,9997 x 3
P.M. = 100,5171

En razón de que la valencia es en todos los casos de dos, los E serían de 50,04 para el CaCO_3 ; 37,05 para el $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 20,16 en el caso del MgO y 50,26 para el MgSiO_3 , respectivamente.

Los E CaCO_3 surgen a su vez, de la equivalencia que se hace entre el CaCO_3 (Valor de referencia) con respecto al resto de constituyentes, para lo cual se aplica el siguiente cálculo:

$$\text{P.M. CaCO}_3 = 100,09 = 1,00$$

$$\text{P.M. CaCO}_3 = 100,09$$

$$\text{P.M. CaCO}_3 = 100,09 = 1,35$$

$$\text{P.M. Ca}(\text{OH})_2 = 74,09$$

$$\text{P.M. CaCO}_3 = 100,09 = 2,48$$

$$\text{P.M. MgO} = 40,31$$

$$\text{P.M. CaCO}_3 = 100,09 = 1,00$$

$$\text{P.M. MgSiO}_3 = 100,52$$

La notación % E CaCO_3 se refiere al E CaCO_3 , expresado como porcentaje. Igual cálculo puede aplicarse para el resto de constituyentes neutralizantes de los materiales de encalado.

El Cuadro 1 y la Figura 1 revelan que comparativamente con el CaCO_3 puro (p.a.), los óxidos e hidróxidos presentan una mayor capacidad potencial de neutralización, en tanto que la del silicato de calcio (CaSiO_3) es significativamente inferior y la del silicato de magnesio (MgSiO_3) igual. El óxido de magnesio (MgO) constituye por su parte, la forma química más eficiente para neutralizar la acidez del suelo.

Internacionalmente se considera, que correctivos con un equivalente en CaCO_3 inferior al 70% son de baja calidad; en el caso particular del Brasil el valor de ley aceptado es del 67% para los calcarios, esto en razón de exigirse un mínimo del 38% en la suma de los óxidos de Ca y Mg (ALCARDE, 1985).

EL % E CaCO_3 puede ser fácilmente calculado cuando se conoce y dispone de la concentración de los constituyentes neutralizantes del correctivo, como se demuestra prácticamente con varios ejemplos teóricos en el Cuadro 2.

El Poder de Neutralización (PN) de un correctivo indica el potencial químico, la capacidad de esa materia, para neutralizar la acidez presente en el suelo en condiciones ideales de acción.

Cabe destacar que el PN no indica expresamente la naturaleza de la base química presente, es decir, si ésta es un carbonato, óxido, hidróxido o silicato.

Cuadro 2
Conversión de los Contenidos de Constituyentes Neutralizantes de Algunos Correctivos, a Equivalentes en Carbonato de Calcio Puro (% E CaCO₃)

Concentración de Neutralizantes	% E CaCO ₃
65% de CaCO ₃ y 15% de MgCO ₃	$(65 \times 1,00) + (15 \times 1,19) = 82,85$
78% de CaCO ₃ y 12% de MgCO ₃	$(78 \times 1,00) + (12 \times 1,19) = 92,28$
33% de CaO y 12% de MgO	$(33 \times 1,78) + (12 \times 2,48) = 88,50$
65% de CaO y 8% de MgO	$(65 \times 1,78) + (8 \times 2,48) = 135,54$
57% de Ca(OH) ₂ y 18% de Mg(OH) ₂	$(57 \times 1,35) + (18 \times 1,72) = 107,91$
46% de Ca(OH) ₂ y 15% de Mg(OH) ₂	$(46 \times 1,35) + (15 \times 1,72) = 87,90$
65% de CaSiO ₃ y 14% de MgSiO ₃	$(65 \times 0,86) + (14 \times 1,00) = 69,90$
88% de CaSiO ₃ y 10% de MgSiO ₃	$(88 \times 0,86) + (10 \times 1,00) = 85,68$

2. FORMA QUÍMICA

Con fundamento en las diversas formas químicas presentes en los materiales correctivos de acidez, también existen diferentes capacidades de neutralización y reactividad. La neutralización de la acidez de los suelos, ocurre en razón y con fundamento en la base química contenida en sus constituyentes neutralizantes, de ahí la importancia de su determinación.

En este sentido, los productos cuyos constituyentes son carbonatos y silicatos, neutralizan la acidez a través de sus bases química CO₃²⁻ y SiO₃²⁻, las cuales son consideradas químicamente débiles. Entre tanto, los óxidos reaccionan instantáneamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos; por ello, los óxidos e hidróxidos neutralizan la acidez a través de su base (OH) que es considerada fuerte, lo que les confiere una mayor reactividad y efectividad (ALCARDE, 1983, 1985, 1986).

Es importante en este punto, llamar la atención sobre los errores de cálculo e interpretación que podrían inducirse en el resultado final, caso se utilice por un lado solamente el contenido de calcio y magnesio presentes en el correctivo, o por otro, se emplee apenas el PN sin identificar la naturaleza de la base presente.

Esas situaciones dan lugar a considerar erróneamente como correctivos de acidez del suelo, compuestos como NaCO₃, BaCO₃, FeO, MnO, BaO, Al₂O₃, LiCO₃, NaOH y cualquier otra base química que no posea calcio ni magnesio en su composición; por el contrario, es fácil interpretar con base en la presencia de esos elementos, que compuestos como MgC₂O₄ y CaSO₄, poseen potencial correctivo de acidez, cuando en realidad no es así (ALCARDE, 1992a). Con fundamento en esa situación, es necesario para realizar el cálculo del % E CaCO₃ asegurarse que el análisis químico provee la concentración de Ca y Mg e identifica la forma química presente en el correctivo.

3. TAMAÑO DE PARTÍCULAS (GRANULOMETRÍA)

Los productos correctivos de acidez del suelo poseen en general una baja solubilidad en agua, por lo que su reactividad y eficiencia puede ser promovida significativamente aumentando su superficie de exposición al medio; para ello, las partículas deben ser predominantemente de poco tamaño. Sobre esta materia la investigación ha sido amplia, por lo que la literatura existente es numerosa, autores como ALCARDE (1983, 1985, 1986, 1992ab); ALCARDE *et al* (1989); BELLINGIERI (1982); GARGANTINI (1974); PANDOLFO (1988), SOUSA y NEPTUNE (1979) y VERLENGIA y GARGANTINI (1972) han desarrollado investigaciones donde han valorado el efecto de las fracciones de diferente granulometría, sobre la acidez del suelo.

En este sentido, TISDALE y NELSON (1975) sugirieron tasas de eficiencia diferenciales para las diversas fracciones granulométricas, tal como se indica en el Cuadro 3. Asimismo, el Cuadro 4 presenta las tasas de reactividad adoptadas en el Brasil; en tanto que, BRICEÑO y PACHECO (1984), refieren a su vez para Costa Rica, los valores que aparecen en el Cuadro 5.

Estudios Técnicos desarrollados bajo condiciones controladas de invernadero, han demostrado que las fracciones más finas son más efectivas para controlar la acidez del suelo, pues reaccionan más rápidamente que las fracciones gruesas; se considera que el material más grueso que 8 mallas (> 2,36 mm), es poco efectivo para ser utilizado como fuente de encalado. Se asegura a su vez, que un buen material correctivo, debe pasar en un porcentaje superior al 95 la malla de 2,00 mm (malla N°. 10).

Se estima en el caso de Costa Rica, que la cantidad de material correctivo según granulometría, que se solubiliza y completa su reacción con el suelo en el término de un periodo de 3 años, es el que se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 3
Eficiencias Relativas Sugeridas para Diferentes Fracciones Granulométricas de Calcario

Número de Mallas	Abertura de Malla (mm)	Eficiencia Relativa (%)
< 8	> 2,36	0
8 - 20	2,36 - 0,85	20
20 - 60	0,85 - 0,25	60
> 60	< 0,25	100

Fuente: TISDALE Y NELSON (1975)

Cuadro 4
Tasas de Reactividad para Diferentes Fracciones Granulométricas de Calcario, Adoptadas por Varios Organismos y Encontradas por Algunos Autores

Número de Mallas	Abertura de Malla (mm) (USA)	Tasas de Eficiencia Relativa ^{1/}				
		A	B	C	D	E
< 10	> 2,00	0	0	0	0	0
10 - 20	2,00 - 0,84	20	-	-	20	20
10 - 30	2,0 - 0,60	-	-	35	-	-
10 - 50	2,0 - 0,30	-	40	-	-	-
20 - 50	0,84 - 0,30	-	-	-	60	60
20 - 60	0,84 - 0,25	60	-	-	-	-
30 - 50	0,60 - 0,30	-	-	75	-	-
> 50	< 0,30	-	100	100	100	100
> 60	< 0,25	100	-	-	-	-

1/ A: Adoptados en Ohio (USA); WEAST (1969)

B: Estimadas por RAIJ (1977) en Brasil

C: Estimadas por BELLINGIERI (1982) en Brasil

D: Adaptadas por el R.O.L.A.S (1985) en Brasil; ALCARDE (1983)

E: Indicada por ALCARDE (1992) para Brasil

Cuadro 5
Eficiencias Relativas Utilizadas por el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica

Número de Mallas	Abertura de Malla (mm)	Eficiencia Relativa (%)
4 - 8	> 2,36	10
8 - 60	2,36 - 0,85	40
> 60	< 0,25	100

Fuente: BRICEÑO y PACHECO (1984)

Cuadro 6
Eficiencias Relativas Utilizadas Oficialmente por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), para Diferentes Fracciones Granulométricas de Calcario

Número de Mallas	Abertura de Malla (mm)	Eficiencia Relativa (%)
< 9	> 2,00	0
9 - 16	2,00 - 1,00	20
16 - 60	1,00 - 0,25	50
> 60	< 0,25	100

Estos últimos valores son utilizados oficialmente por el MAG en Costa Rica, debiendo sin embargo, ser estudiados y verificados para condiciones específicas, tipos de suelo variables, así como profundidad de acción, correctivos y periodos de reactividad también diferentes.

4. REACTIVIDAD

Esta propiedad es muy importante pues es la que determina la velocidad de acción de un material en la corrección de acidez de un suelo. La reactividad depende y es función de granulometría que presente el material correctivo, por lo que se les valora e interpreta de manera complementaria.

Fracciones muy gruesas poseen una muy baja reactividad y consecuentemente poco efecto en la modificación de la acidez; en tanto que, fracciones finas reaccionarán muy rápidamente generando el efecto correctivo esperado en el muy corto plazo (casi inmediato), obteniendo con ello la reacción de la totalidad del producto en un término corto de tiempo, que puede ser hasta de 3 meses o menos.

El empleo de fracciones excesivamente finas, casi con textura de “talco”, presentan características que pueden ser perjudiciales en consideración de que su residualidad es mínima y las probabilidades de pérdida por causa del viento o el agua pueden ser elevadas, además de la dificultad que para su aplicación se presenta.

Como es lógico suponer, un correctivo con fracciones gruesas requerirá de mayor tiempo para reaccionar con el suelo, puesto que su superficie de exposición es significativamente inferior respecto a uno de una fracción más fina.

Exigir garantía mínima sobre la reactividad de un Calcario no tendría mucho sentido práctico, en razón de que es factible obtener el mismo valor de reactividad con la presencia de fracciones muy diferentes, tal como se ejemplariza a continuación:

$$\begin{aligned}
ERg_1 &= (0 \times 0,0) + (11 \times 0,2) + (32 \times 0,5) + (57 \times 1,0) = 75,2\% \\
ERg_2 &= (0 \times 0,0) + (25 \times 0,2) + (10 \times 0,5) + (65 \times 1,0) = 75,0\% \\
ERg_3 &= (0 \times 0,0) + (0 \times 0,2) + (50 \times 0,5) + (50 \times 1,0) = 75,0\% \\
ERg_4 &= (25 \times 0,0) + (0 \times 0,2) + (0 \times 0,5) + (75 \times 1,0) = 75,0\% \\
ERg_5 &= (0 \times 0,0) + (31 \times 0,2) + (0 \times 0,5) + (69 \times 1,0) = 75,2\%
\end{aligned}$$

De estos resultados se concluye, que el efecto correctivo alcanzado en el suelo será diferente puesto que la granulometría de las fracciones es muy variable; en el caso de la muestra #4, solamente el 75% del producto reaccionará y tendrá efecto en el suelo en el corto y mediano plazo, pues el 25% restante se perderá por ser una fracción gruesa, mientras que en los restantes casos, todo el producto será efectivo aunque en periodos potenciales diferentes.

Es más efectivo y racional en este sentido establecer patrones y exigir garantías mínimas sobre la granulometría del producto, con lo cual es posible evitar la presencia de fracciones poco o no reactivas. A manera de ejemplo puede señalarse sobre este tópico, que en el caso de Brasil la legislación sobre esta materia exige que un correctivo de acidez del suelo, debe pasar como mínimo, un 95% a través de la malla No. 10, el 70% por la malla N°. 20 y el 50% en la malla No. 50; con ello, se acepta y tolera la presencia de apenas un 5% de material no reactivo en el suelo (ALCARDE, 1992b).

En consideración de la presencia de “bases fuertes” en algunos correctivos, como sucede con los óxidos e hidróxidos de Ca y Mg, los valores de reactividad son consecuentemente bastantes superiores al 100% fijado como patrón, lo que les provee una capacidad de reacción casi inmediata (10-15 días). Esta situación reafirma nuevamente, la obligatoriedad e importancia de identificar químicamente el constituyente neutralizante del material.

5. CONTENIDO NUTRICIONAL

Los materiales correctivos además de contener y proveer calcio y magnesio, se ha encontrado que pueden proporcionar al suelo otros elementos nutritivos esenciales para la nutrición y metabolismo de las plantas; entre esos elementos se tiene principalmente la presencia de micronutrientes, tales como: hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo) y Cobalto (Co).

En el Estado de Sao Paulo, Brasil, VALADARES *et al* (1974) determinaron concentraciones importantes de micronutrientes al valorar 31 muestras de calcarios, cuyos resultados (Cuadro 7) fueron los siguientes:

Cuadro 7
Contenido de Micronutrientos Encontrados en 31 Muestras de Calcarios Procedentes del Estado de Sao Paulo, Brasil

Elemento	Concentración (ppm)		
	Máxima	Media	Mínima
Cu	42,2	11,0	5,4
Zn	46,0	15,2	7,5
Fe	33.110	3.905	159
Mn	1.780	810	30
Mo	5,0	0,9	0,1
Co	46,9	4,2	0,0

Fuente: VALADARES *et al* (1974)

Este aspecto es importante y trascendente si se considera que los correctivos son aplicados en dosis elevadas (TM/ha), lo que asegura un aporte de interés significativo y efecto incidente desde el punto de vista nutricional para los vegetales.

Debe sin embargo, evaluarse la naturaleza, cantidad y forma química en que esos nutrientes se encuentran presentes, y por lo tanto, su eventual disponibilidad para las plantas. Sería interesante valorar si los correctivos empleados en Costa Rica, poseen algún contenido en micronutrientos que eleve su valor comercial.

6. RELACIÓN Ca/Mg

Este equilibrio Cationico es nutricionalmente fundamental, pues en caso supuesto de existir desbalance podrían presentarse efectos altamente perjudiciales sobre las plantas. Es por ello necesario, utilizar los correctivos con racionalidad y sentido técnico, pues podrían generar deficiencias de Mg, K, P y algunos micronutrientos, o en su caso, provocar excesos de Ca por el empleo de sobredosis.

La ideal según la literatura, es la presencia de una relación CaO/MgO en el suelo en el ámbito de 2-5:1; se estima que en el caso particular de la caña de azúcar, ese balance debe ser de 5:1, tal como lo determinara experimentalmente CHAVES SOLERA (1988,1991a) al utilizar carbonatos, y de 10:1 al emplear sulfatos de Calcio y Magnesio, respectivamente. PIMENTEL FERNANDEZ (1986) determinó por su parte en su investigación, que la proporción ideal utilizando carbonatos era próxima a 5:1 y que, una relación de 3:1 podría ser baja y perjudicial para la caña.

Esta relación se calcula mediante la determinación previa de las concentraciones de CaO y MgO presentes en el material correctivo.

7. NATURALEZA GEOLÓGICA

Se asegura que los calcarios de naturaleza “sedimentar”, son más reactivos (suaves) que los de origen “metamórfico” a los que se les cataloga como “más duros”, no encontrándose sin embargo en la literatura, justificaciones técnicas consistentes para ratificar tal afirmación. (ALCARDE, 193, 1986).

De acuerdo con esas aseveraciones, algunos investigadores han señalado que los calcarios calcíticos poseen una mayor capacidad de reacción en el suelo, respecto a los dolomíticos, lo cual como se indicó, deberá sin embargo demostrarse experimentalmente.

8. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE UN CORRECTIVO

Entre los aspectos que en la práctica agrícola son considerados más relevantes, para definir la calidad y atributos de un correctivo, están: su granulometría y su concentración (poder) de neutralizantes.

En forma casi generalizada se reconoce, que un correctivo con mayor concentración de neutralizantes (E CaCO_3), es técnicamente superior. ¿Es esto cierto? En realidad tal afirmación es válida y aplicable para una misma clase de material, aunque no es recomendable generalizarla para otras clases de correctivo, ya que pudieran existir diferencias de importancia en sus características físicas y químicas.

La evaluación granulométrica y con ello la valoración de reactividad de un material, es fundamental como determinante de calidad, tal como se indicó anteriormente. Para su determinación práctica, el material correctivo es pasado por varios tamices con mallas de diferente abertura (mm), donde se obtiene la cantidad de material (fracción) que es retenido en ellas tal como se describe en los Anexos 1 y 2. Con la información recavada es posible calcular su “Eficiencia Relativa Granulométrica (E.R.g)”, la cual esta dada por la siguiente expresión:

$$\% \text{ERg} = F_1 \times \frac{\text{Er}_1}{100} + F_2 \times \frac{\text{Er}_2}{100} + F_3 \times \frac{\text{Er}_3}{100} + \dots + F_n \times \frac{\text{Er}_n}{100}$$

Donde:

$F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ = Porcentaje de las diferentes fracciones granulométricas que son retenidas por las mallas.

$\text{Er}_1, \text{Er}_2, \text{Er}_3, \dots, \text{Er}_n$ = Tasas porcentuales de eficiencia de las respectivas fracciones granulométricas.

Basados en esa ecuación de cálculo y conociendo los respectivos porcentajes de efectividad, el cálculo en la práctica para el caso de Costa Rica según criterio oficial del MAG (Cuadro 6), sería como sigue:

$$\begin{aligned} \% ER_g &= \frac{(F_1 \times 0)}{100} + \frac{(F_2 \times 20)}{100} + \frac{(F_3 \times 50)}{100} + \frac{(F_4 \times 100)}{100} \\ &= F_1 \times 0,0 + (F_2 \times 0,20) + (F_3 \times 0,50) + (F_4 \times 1,0) \end{aligned}$$

9. PODER RELATIVO DE NEUTRALIZACIÓN TOTAL (PRNT)

Se indicó anteriormente que el Poder de Neutralización (PN) de un correctivo, permite conocer su capacidad potencial para corregir la acidez de un suelo; desempeño que es efectivo cuando su capacidad granulométrica lo permite y favorece.

Considerando que en la práctica es difícil cuantificar e interpretar en forma independiente, la calidad de un correctivo a través del análisis de sus variables individuales de calidad, se identificó un índice de eficiencia conjunta que si lo permite; tal índice es llamado **“Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)”**, el cual está dado por la siguiente expresión:

$$\text{PRNT (\%)} = \% E \text{ CaCO}_3 \times \frac{\% ER_g}{100}$$

donde:

$E \text{ CaCO}_3$ = Equivalente Porcentual en Carbonato de Calcio
 ER_g = Eficiencia Relativa Granulométrica Porcentual

Este índice permite calibrar y ajustar la cantidad de correctivo recomendada, de acuerdo con la calidad particular que presenten los productos comerciales disponibles en el mercado.

Con anterioridad se indicó que en el caso de la cal viva (óxidos) y apagada (hidróxidos), los valores de reactividad en las fracciones muy finas era superior o igual al 100%, lo que permite deducir, que en esas fracciones el PRNT es siempre igual al PN ($\text{PRNT} = \text{PN} \times 100/100$) por tanto: $\text{PRNT} = \text{PN}$)

10. EFECTO RESIDUAL

La permanencia del efecto correctivo sobre la acidez del suelo, representa una propiedad muy importante para un producto de esta naturaleza, puesto que mantiene la condición favorable y acondicionadora del suelo para su empleo agrícola, induciendo con ello un beneficio significativo; a esa propiedad se le conoce técnicamente como “efecto residual”.

Se ha estimado, que si el encalamiento de un suelo es hecho en la dosis correcta y por los métodos adecuados, el efecto residual puede ser de 3 a 5 años, periodo en el cual deberá realizarse una nueva aplicación fundamentada en un análisis de suelo.

La valoración del efecto residual de un correctivo de acidez del suelo es difícil de medir, en virtud de que depende de varios factores, entre los que están:

- Características físico-químicas y microbiológicas del suelo
- Naturaleza química del correctivo
- Dosis de correctivo empelada
- Reactividad del producto (si ésta es alta la residualidad del efecto es menor)
- Fertilización utilizada (los fertilizantes nitrogenados son de efecto acidificante)
- Intensidad de cultivo
- Forma y profundidad de colocación del correctivo

11. EFICIENCIA DE UN CORRECTIVO

La eficiencia de un correctivo puede ser valorada en la práctica con base en dos criterios:

- Efecto técnico promovido, y
- Tasa de retorno económico proporcionado

En el primer caso, un correctivo será mejor que otro cuanto mejor, más rápido y por más tiempo promueva el efecto correctivo sobre la acidez del suelo. Este hecho sin embargo, no debe conducir a engaños, pues como bien se sabe cada condición y cultivo requiere y establece objetivos y metas diferentes; en unos casos como sucede con cultivos de ciclo corto, será necesario el empleo de un correctivo con alta reactividad y por tanto menor residualidad, en tanto que bajo otras situaciones, se procurará un efecto residual más prolongado (ALCARDE, 1992a).

En el caso particular de la caña de azúcar pareciera que un grado intermedio sería lo ideal por su naturaleza semiperenne, lo que sugiere que la granulometría del producto utilizado debería no ser ni muy gruesa ni muy fina, sino más bien con una proporción adecuada entre ambas fracciones; este aspecto, constituye todo un campo abierto a la investigación, pues el efecto de correctivos con fracciones granulométricas variables nunca se ha estudiado en Costa Rica para este cultivo.

Lo que sí es definitivo, es que la presencia de fracciones muy gruesas que sean retenidas por la malla No. 10, no son convenientes para ningún cultivo ni condición particular, en razón de que su actividad es químicamente despreciables en el corto y mediano plazo.

Lo relativo al aspecto económico es básico de considerar en cualquier circunstancia, puesto que será en definitiva más rentable y eficiente económicamente, aquel producto que presente el menor costo por unidad de PRNT contenida, colocado en el lugar de aplicación; obsérvese que en dicho concepto se aplica el criterio de PRNT, y no apenas el de producto comercial, lo que introduce el aspecto calidad a la interpretación aplicada.

La relación de eficiencia económica estaría dada en este caso por la siguiente expresión:

$$\text{Costo por unidad de PRNT} = \frac{\text{Costo (¢/TM) del producto colocado en el campo}}{\text{PRNT del producto a utilizar}}$$

Suponiendo en teoría que se posee cuatro productos con PRNT variable e igual costo (precio del producto, transporte y aplicación), la relación en ese caso sería la que se muestra en el Cuadro B.

Cuadro 8
Determinación de la Eficiencia Económica de un Correctivo de Acidez de Suelo, según su Índice de PRNT

Producto Comercial	Costo Involucrado (¢/TM)	PRNT (%)	Costo (¢)/Unidad PRNT
A	6.000	92	65
B	6.000	120	50
C	6.000	75	80
D	6.000	100	60

Con dicho ejemplo se demuestra que para una misma situación administrativa y de costos de producción, resultará más económico aquel correctivo que posea el PRNT más alto, lo cual al ser proyectado a dimensiones mayores adquiere carácter significativo.

12. LEGISLACIÓN Y FISCALIZACIÓN

Sobre esta materia hay mucho, muchísimo que comentar, pues es lamentable que pese al inminente avance y gran desarrollo que Costa Rica ha adquirido durante los últimos años en diversos campos y tópicos de la actividad agropecuaria y forestal, lo relativos a requisitos técnicos, controles y fiscalización de muchos de los insumos que el productor utiliza, a no muy bajos precios cabe señalar, carecen de las normas mínimas de calidad técnica requeridas y la mayoría de las veces reconocidas (pagadas) al vendedor. Esos elementos regulatorios son en muchos casos insuficientes, deficientes o en el peor de los casos hasta inexistentes.

Producto de lo anterior, se tiene que el agricultor utiliza insumos que no llenan las expectativas requeridas para alcanzar el efecto para el cual técnicamente se emplean, y por tanto, ésta pagando además de calidades inexistentes. De acuerdo con el REGLAMENTO SOBRE REGISTR, USO Y CONTROL DE PLAGUICIDAS AGRICOLAS Y COADYUVANTES (1987), emitido por la Dirección General de Sanidad Vegetal del MAG, esa acción califica a un insumo como “producto adulterado”, pero que en la realidad y en términos penales corresponde y tipifica como una “estafa”.

En ambos casos, el usuario está incurriendo en un doble costo, pues deja de percibir el beneficio técnico que el insumo promueve y además, está pagando un producto “adulterado”, lo que eleva significativamente el monto real de la pérdida.

La legislación aprobada y vigente actualmente en materia de “enmiendas y correctores de acidez del suelo”, es un buen ejemplo de los señalado anteriormente, pues es deficiente, omisa, carente de elementos y criterios técnicos de valor que permitan determinar la calidad de esos insumos, lo que la hace inadecuada y agronómicamente superada.

Estudios realizados en el país, han determinado que los correctores de acidez del suelo disponibles en el mercado, son de calidad muy variable, no alcanzando muchos de ellos ni siquiera las calidades mínimas deseadas, lo que cuestiona su verdadero valor comercial y de uso; hay que reconocer asimismo, que hay compañías muy serias y competentes que están comercializando productos de muy alta calidad técnica.

En la práctica agrícola es fácil encontrar y verificar, que mucha de la “cal” se comercializa en el mercado sin siquiera presentar la etiqueta de ley, mucho menos dispone de la caracterización técnica correspondiente que permita la determinación de su calidad, lo cual es a todas luces preocupante.

Entre las sugerencias técnicas que sobre esta materia es recomendable valorar para su posible aplicación futura, me permito anotar a manera de aporte las siguientes:

- 1) Incluir y consignar expresamente en la etiqueta de ley que todo correctivo de acidez de uso comercial debe obligatoriamente contener, la siguiente información:
 - Forma química presente
 - Poder Neutralizante (PN) existente, expresado como % E CaCO₃
 - Porcentaje de granulometría según fracción individual
 - Valor de Eficiencia Relativa Granulometría (% ERg) del producto
 - Valor de PPRNT (%)
 - Humedad (%)

Debe tenerse presente en todo momento, que al hablar de correctivos de acidez del suelo, son varias las clases y calidades de material existente según su naturaleza química, y no apenas el carbonato de calcio (CaCO₃) como muchas veces se cree, por lo que debe haber un tratamiento específico y no genérico al tratar esta materia.

- 2) Definir un Poder de Neutralización aceptable, sugiriéndose un valor mínimo de 70% de % E CaCO₃ que podría preferiblemente ser del 75% o superior.
- 3) Asegurar una garantía en los contenidos individuales de CaO y MgO presentes, para lo cual deberán fijarse valores mínimos aceptables que permitan cumplir con el punto anterior.

La suma de las concentraciones de CaO y MgO deberá ser preferiblemente igual o superior al 38%, con presencia de contenidos de MgO no inferiores al 8% lo que sería ideal, aunque como se sabe, esto varía significativamente con la naturaleza del correctivo (calcítico, magnesiano, dolomítico); ese aspecto se comentará en el punto 13 a.

En el Cuadro 9 se resumen como referencia, las características específicas mínimas que los materiales correctivos deben poseer de acuerdo con la legislación brasileña, para que puedan ser comercializados en el mercado.

Cuadro 9
Características Mínimas Exigidas a los Materiales Correctivos de Acidez del Suelo por la Legislación Brasileña

Material Correctivo	PN (% E CaCO ₃)	Sumatoria (% CaO + % MgO)
Calcario	67	38
Calcario calcinado	80	43
Cal Virgen	125	68
Cal Hidratada	94	50
Escorias	60	30
Otros	67	38

Fuente: LOPES y ABREU (1987)

- 4) En lo que respecta a la granulometría del producto, es recomendable que al menos como mínimo, el 95% de la partículas atraviesen la malla No. 10, correspondiente a una abertura de 2,00 mm, el 70% la malla No. 20 (0,84 mm) y el 50% atraviese la malla No. 50 con 0,297 mm (0,30) de abertura. Con ello se asegura por una parte, que apenas un 5% del total de la fracción no tendrá efecto en el corto plazo pues es demasiado gruesa, y por otro lado, se induce que una proporción importante del producto posea alta reactividad en virtud de su granulometría fina.

Se sugiere definir como patrón oficial, el empleo de las mallas No. 10, 16, 40, 60 y 80 Mesh, lo que brindaría una excelente referencia del material analizado, permitiendo determinar la presencia de "piedras" o en su caso, el exceso de "talco".

- 5) Exigir que la presentación del producto sea adecuada y su peso (Kg) corresponda a lo estipulado, pues es evidente que estos en la actualidad casi no se cumple. Caso que un correctivo de acidez no cumpla satisfactoriamente con las indicaciones anteriores, deberá impedirse su inscripción y comercialización.

A criterio del autor, la Dirección General de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura y Ganadería, debe hacer un esfuerzo especial en este sentido, que permita establecer y reglamentar en el muy corto plazo los criterios valoradores de calidad de una

enmienda o correctivo de acidez del suelo, para lo cual considero que en el país existen profesionales altamente capacitados y con la suficiente experiencia y criterio en esta materia que podrían ser consultados.

Sobre este asunto, es lamentable observar como se acepta tan pasivamente por parte de los técnicos, profesionales, agricultores y órganos responsables de regular y fiscalizar la materia, la permanencia de esa situación, que de ninguna manera concretiza el objetivo fundamental de la legislación, cual es proteger a los consumidores y productores, y promover además la alta calidad de los correctivos de acidez que se comercializan.

13. PRODUCTOS COMERCIALES UTILIZADOS

Los materiales correctivos de la acidez del suelo de uso comercial deben necesariamente estar asociados al calcio y al magnesio, debido a ser estos macronutrientes esenciales para las plantas y existir además, mayores volúmenes disponibles en el medio para su uso comercial. Por estas razones, el carbonato de sodio (Na_2CO_3), óxido de bario (BaO), hidróxido de sodio (NaOH), silicato de bario (BaSiO_3), etc, a pesar de ser neutralizantes de acidez potencialmente efectivo, no se emplean como correctivos agrícolas, pues la cantidad disponible es baja y el costo involucrado para su uso muy elevado.

Entre los materiales correctivos comerciales de uso más común en el comercio, se tiene los siguientes:

a. Calcario Molido: Material (roca) natural existente con relativa frecuencia y abundancia en la naturaleza, lo que justifica su mayor uso. Sus constituyentes neutralizantes básicos son el CaCO_3 y el MgCO_3

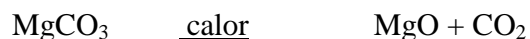
En función de la presencia y concentración de MgCO_3 , estos calcarios son clasificados en:

Calcíticos: Cuando el contenido de MgCO_3 es bajo, no excediendo el 5% (o 2.5% de MgO);

Magnesianos: Cuando el contenido de MgCO_3 es de 5-20% (o 2,5 -10% de MgO), y

Dolomíticos: Cuando el contenido de MgCO_3 es mayor que 20% (superior al 10% de MgO).

b. Cal Virgen: Producto obtenido industrialmente mediante la calcinación total del Calcario natural; sus constituyentes neutralizantes son el CaO y el MgO . Se presenta comúnmente como un polvo blanco bastante fino y de propiedades caústicas (corrosivo para las sustancias orgánicas), que dificultan su manipulación.



C. Cal Hidratada o Extinta (Apagada): Producto obtenido industrialmente a través de la hidratación de la cala virgen; sus constituyentes neutralizantes son el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el $\text{Mg}(\text{OH})_2$



d. Cal Calcinado: Obtenido industrialmente mediante la calcinación parcial del Calcario, de manera tal que no todo el CaCO_3 y MgCO_3 presente es descompuesto y transformado en óxidos. Es un producto de características y propiedades intermedias entre el Calcario y la cal virgen.

e. Escorias de Siderurgia: Sub-producto de la industria del hierro y el acero, sus constituyentes neutralizantes son el silicato de calcio (CaSiO_3) y de magnesio (MgSiO_3).

Se producen al haber una reacción entre el silicio del mineral de hierro con el calcio del Calcario en los altos hornos, resultando silicatos de calcio con impurezas. El material fundido es enfriado al aire o con agua, luego se seca y muele; su colocación es oscura y muy densa.

Se comparten en forma semejante a los calcarios, y presentan contenidos relativamente elevados de micronutrientes muchos de los cuales son esenciales para las plantas. En Costa Rica actualmente tiene poco o ningún uso comercial, aunque en años anteriores fueron bastante empleados pues eran importados de otras altitudes a un bajo costo.

Podrían ser eventualmente importantes en el cultivo de la caña de azúcar por la incorporación de silicio (Si) al medio, especialmente en regiones de suelos altamente meteorizados como es el caso de Pérez Zeledón. El silicio constituye un micronutriente muy importante en la composición estructural (no funcional) de la caña, pese a que no califica según postulados como elemento esencial, ya que ha demostrado en otros países gran respuesta a su adición al suelo.

f. Yeso Agrícola: También denominado (erróneamente) y conocido como “fosfoyeso”, por poseer algún contenido de fósforo en su composición química. Es un derivado de la obtención del ácido fosfórico, utilizado en la fabricación comercial de los fertilizantes fosforados. Se le consignan contenido del 30% de CaO y 17% de azufre (S), aproximadamente.

Constituye a su vez, la forma minera más soluble del calco; el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) prácticamente no promueve cambio en el pH en razón de poseer una base química muy débil ($K_b = 8,3 \times 10^{-13}$), por lo que no califica como un típico correctivo de acidez del suelo. Puede actuar muy efectivamente en la corrección de los suelos sódicos, y en la reducción del aluminio intercambiable de la camada sub-superficial del suelo, aunque su mecanismo de acción química es diferente al de las otras formas de Calcario.

CHAVES SOLERA (1988, 1991 ab), presenta un amplio comentario sobre las características, propiedades y potencialidades de esta fuente para ser utilizadas por nuestros agricultores.

g. **Otros Materiales:** Margas (depósitos terrestres de CaCO_3), calcarios marinos (corales) y sub-productos de diversas industrias, son también considerados correctivos de acidez del suelo.

Los correctivos de uso comercial de mayor empleo en Costa Rica, lo constituyen el Calcario molido de tipo calcítico, pues los contenidos de magnesio que poseen son en general bajos y también el Calcario calcinado; otras fuentes son empleadas aunque en grado menor y en condiciones muy específicas.

14. DESARROLLO DE UN EJEMPLO PRÁCTICO DE CÁLCULO

A continuación se desarrollará en forma sistemática un ejemplo teórico, con el objeto de demostrar de manera práctica la influencia e importancia que posee la calidad técnica de un material correctivo de acidez, sobre la cantidad de producto que debe aplicarse al suelo para alcanzar el efecto esperado y potencialmente factible, lo cual afecta consecuentemente el costo económico involucrado.

Para desarrollar el ejemplo, debe primeramente suponerse y aceptarse que luego de calcular por cualquiera de los varios métodos conocidos, la cantidad de Calcario necesaria (NC) para neutralizar la acidez y elevar el pH de un suelo a niveles adecuados, se determinó que el volumen requerido era de 1,5 toneladas de CaCO_3 por hectárea.

Esto supone que ese volumen de cal es de pureza 100%, lo que en realidad se sabe que no es así, razón por la cual deberá seguidamente determinarse la pureza de los materiales a emplear con el objeto de efectuar los ajustes del caso.

Para realizar esa aplicación se dispone en teoría de cuatro productos comerciales, para los cuales el análisis físico-químico respectivo, reveló la composición que se presenta en los Cuadros 10, 11 y 12, respectivamente.

Como se observa en el Cuadro 10, en realidad se dispone de productos cuyos constituyentes neutralizantes son variables en forma química y concentración presentes. Surgen en este momento preguntas como ¿Cuál de esas fuentes es la mejor? ¿Cómo puede determinarlo? ¿Serán acaso los carbonatos la mejor opción por ser la fuente más concentrada? ¿Qué sucede si empleo el producto cuya sumatoria de neutralizantes sea la mayor? ¿Cuál es entonces la mejor alternativa técnico-económica?

Cuadro 10
Composición Química de Cuatro Productos Comerciales Según el Porcentaje de los
Constituyentes Neutralizantes Presentes

Constituyente	Producto Comercial			
	N°1	N°2	N°3	N°4
Neutralizante	Concentración Porcentual			
CaCO ₃	98	-	-	-
MgCO ₃	1,7	-	-	-
Ca (OH) ₂	-	60	-	-
Mg (OH) ₂	-	30	-	-
CaO	-	-	35	-
MgO	-	-	7	-
CaSiO ₃	-	-	-	78
MgSiO ₃	-	-	-	8

Empleando los índices apuntados en el Cuadro 10 para determinar el % E CaCO₃, y procediendo tal como lo señala el Cuadro 2, se obtienen los valores correspondientes para cada uno de los cuatro productos comerciales estudiados, resultados que se resumen en el Cuadro 11.

Cuadro 11
Conversión del Contenido de Constituyentes Neutralizantes de las Muestras Estudiadas, a
Equivalentes en Carbonato de Calcio (% E CaCO₃) Puro

Producto Comercial	Constituyente Neutralizante		% E CaCO ₃
	CaCO ₃	MgCO ₃	
	Ca (OH) ₂	Mg (OH) ₂	
	CaO	MgO	
	CaSiO ₃	MgSiO ₃	
N°1	(98 x 1,00) = 98,00	(1,7 x 1,19) = 1,79	100,02
N°2	(60 x 1,35) = 81,00	(30,0 x 1,72) = 51,60	132,6
N°3	(35 x 1,78) = 62,30	(7,0 x 2,48 = 17,36	79,66
N°4	(78 x 0,86) = 67,08	(8,0 x 1,00) = 8,00	75,08

Se concluye de los resultados obtenido, que los productos comerciales presentan diferencias importantes entre sí, en lo relativo a sus constituyentes neutralizantes, siendo el producto N°2 el de mayor Poder de Neutralización (PN) seguido por el N°1, el N°3 y más distante el N°4. Obsérvese que el poder neutralizante que aportan las formas químicas presentes son

significativamente diferentes, por lo que entonces no basta apenas con poseer valores elevados en la concentración de sus constituyentes, pues la forma química presente es en este caso determinante, tal como sucede entre carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos; esa aseveración responde a algunos de los cuestionamientos establecidos anteriormente.

Hasta el momento las diferencias observadas entre los productos son contundentes para esta variable, sin embargo, se mantiene aún la duda sobre cuál es el correctivo más eficiente dentro de los términos en que fue planteado con anterioridad.

El análisis granulométrico realizado con el objeto de conocer el tamaño y reactividad potencial de sus componentes, revela los resultados que se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12
Determinación Granulométrica (% de Retención de Partículas), Correspondientes a los Cuatro Productos Comerciales Valorados

Número de Mallas	Efectividad Teórica (%)	Producto Comercial			
		N°	N° 2	N° 3	N° 4
		Retención Partículas (%)			
< 9	0	5	2	0	3
9 - 16	20	5	10	0	12
16 - 60	50	35	40	32	65
> 60	100	55	48	68	20

Con los valores obtenidos en dicho análisis se procede al cálculo de la Eficiencia Relativa Granulométrica (% ER_g) para cada producto, con base en los índices mostrados en el Cuadro 6, tal como se indica a continuación:

$$\begin{aligned}
 ER_{g_1} &= (5 \times 0,0) + (5 \times 0,2) + (35 \times 0,5) + (55 \times 1,0) = 73,5\% \\
 ER_{g_2} &= (2 \times 0,0) + (10 \times 0,2) + (40 \times 0,5) + (48 \times 1,0) = 70,0\% \\
 ER_{g_3} &= (0 \times 0,0) + (0 \times 0,2) + (32 \times 0,5) + (68 \times 1,0) = 84,0\% \\
 ER_{g_4} &= (3 \times 0,0) + (12 \times 0,2) + (65 \times 0,5) + (20 \times 1,0) = 54,9\%
 \end{aligned}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que el producto N°3 fue el que mostró la mejor reactividad, no teniendo fracción inactiva alguna como sucede en los otros casos; contrariamente, el producto N°4 fue de muy baja eficiencia granulométrica.

Con los valores de granulometría (% ER_g) y los correspondientes al Poder Neutralizante (% E CaCO₃) de los materiales, se procede finalmente a calcular el Poder Relativo de Neutralización total (PRNT) de los productos, de la siguiente forma:

$$\text{PRNT}_{\text{N}^{\circ 1}} = 100,02 \times \frac{73,5}{100} = 73,51\%$$

$$\text{PRNT}_{\text{N}^{\circ 2}} = 132,60 \times \frac{70,0}{100} = 92,82\%$$

$$\text{PRNT}_{\text{N}^{\circ 3}} = 79,66 \times \frac{84,0}{100} = 66,91\%$$

$$\text{PRNT}_{\text{N}^{\circ 4}} = 75,08 \times \frac{54,9}{100} = 41,22$$

Los resultados indican que el producto N°2 es el más recomendable para ser utilizado como material correctivo, pues contiene en promedio las características suficientes y necesarias para rendir una mayor eficiencia como correctivo de acidez del suelo, además de que la cantidad a aplicar en el campo es menor por su mayor PRNT.

La interpretación práctica de los resultados obtenidos en el ejemplo indica que, las características (pureza) presentes en todos los productos es muy inferior al que en teoría proporcionaría una fuente pura (p.a.). Con base en ello se tiene que por ejemplo, en el producto N°1 del 100% de eficiencia teórica potencial posible de obtener, el mismo satisface apenas un 73,51%; en tanto que, en el caso del material N°4 esa eficiencia es del 41,22%, lo que implica la necesidad de elevar la dosis de campo para cubrir esa deficiencia en la pureza. Recuérdese que algunos materiales correctivos, poseen el potencial de superar el 100% de eficiencia, pues ese valor, es apenas una referencia con el CaCO_3 .

Cabe destacar y reiterar entonces que no basta apenas con poseer características favorables en un componente, pues la calidad debe valorarse de manera integral, lo que ratifica la necesidad de poseer por una parte alta pureza y concentración, y también complementariamente, una composición granulométrica adecuada.

De acuerdo con la **Necesidad de Calcario (NC)** originalmente calculada, se había determinado un volumen de 1,5 TM/ha como requerimiento específico (se asume una eficiencia del 100%). Con base en la calidad presente en los productos correctivos disponibles en el mercado, se tiene que la dosis a aplicar en el campo varía significativamente para cada producto debido al contenido diferencial de PRNT que los mismos poseen; esto sucede porque teóricamente se asume que la efectividad del CaCO_3 a utilizar es 100% por ser material puro (p.a.), al no ocurrir esto lógicamente debe elevarse la dosis para complementar ese déficit.

A continuación se procede, por tanto, a calcular la Necesidad de Calcario Real, con base en las características de calidad de cada producto en particular:

$$NC_{N^{\circ}1} = \frac{1,5 \times 100}{73,51} = 2,041 \text{ TM de CaCO}_3/\text{ha}$$

$$NC_{N^{\circ}2} = \frac{1,5 \times 100}{92,82} = 1,616 \text{ TM de CaCO}_3/\text{ha}$$

$$NC_{N^{\circ}3} = \frac{1,5 \times 100}{66,91} = 2,242 \text{ TM de CaCO}_3/\text{ha}$$

$$NC_{N^{\circ}4} = \frac{1,5 \times 100}{41,22} = 3,639 \text{ TM de CaCO}_3/\text{ha}$$

De acuerdo con la calidad diferencial mostrada por los productos disponibles, la cantidad de Calcario a incorporar en el campo varía sustancialmente, lo que consecuentemente incrementa los costos relacionados. Lo anterior reafirma una vez más la importancia de conocer previamente la calidad real de los productos que se aplicarán en el campo, con el fin de promover un uso racional, económico y rentable de los mismos; el beneficio que se puede lograr en principio por un menor precio de compra, se puede perder luego por baja calidad y efecto deficiente del correctivo en el suelo.

Como se observa en el Cuadro 13, las cantidades de producto comercial (TM de CaCO_3)/ha que se requiere aplicar en el campo para neutralizar la acidez presente en el suelo, son variables y dependientes del PRNT que posee cada uno de ellos.

Con base en ello es factible teorizar y suponer, que si la calidad de los cuatro productos comerciales fuera igual a la de la muestra N°2, con el volumen TM utilizado en este caso por los otros 3 productos comerciales para alcanzar un efecto semejante, se podrían cubrir 1,26 hectáreas en el caso del producto N°1, 1,38 has con el N°3 y 2,25 has con el N°4; sin embargo, como se apuntó anteriormente el empleo de dichos volúmenes apenas equipara el potencial correctivo de la muestra N°2, en virtud de su calidad superior visualizada a través del PRNT.

Como resultado de esas diferencias, se genera un costo también variable e importante por concepto de adquisición, transporte y aplicación de cada producto comercial en el campo, el cual muestra diferencias económicamente significativas y determinantes, principalmente cuando son proyectadas a áreas de terreno mayores, como se presenta más adelante en el Cuadro 15.

El Cuadro 14 resume las características y atributos de calidad de los productos comerciales valorados, permitiendo un análisis comparativo entre variables técnicas; sobresale el costo en que por unidad de PRNT presente se incurre, ratificando nuevamente que el producto N°2 es el mejor desde el punto de vista técnico y económico.

Cuadro 13
Determinación de las Cantidades Requeridas y Costos Económico Involucrado, en la
Aplicación de los Productos Comerciales Utilizados en la
Corrección de la Acidez del Suelo

Producto Comercial	Necesidad Calculada (TM/ha)	Diferencia ^{1/}		Costos (¢)				
				CaCO ₃ ^{2/}	Aplicación ^{3/}		Total	
					(HR)	(¢)	Diferencia ^{4/}	
N°1	2,041	126	1,26	9.287	23	3.471	12.758	2.236
N°2	1,616	100	1,00	7.353	21	3.169	10.522	-
N°3	2,242	138	1,38	10.201	25	3.773	13.974	3.452
N°4	3,639	225	2,25	16.557	45	6.791	23.348	12.826

1/ La diferencia va referida con respecto al producto N°2, tanto en porcentaje como en el área cubierta en hectáreas suponiendo que se unificara la calidad.

2/ Se estimó el valor de un kilogramo de CaCO₃ en ¢4,55

3/ Se requieren 20 horas hombre a ¢105/ha para aplicar 1,15 TM de cal en una hectárea de terreno; se considera además, un recargo del 43,73% por concepto de cargas sociales (CHAVES SOLERA, 1983).

4/ Indica el costo diferencial respecto al producto comercial N°2 tomado como referencia.

Nota: No se incluyen los costos por concepto de transporte y almacenamiento del producto comercial.

Cuadro 14
Resumen de las Variables, Atributos de Calidad y Costos, Presentes por Cada uno de los
Productos Comerciales Evaluados

Producto Comercial	Porcentaje			Necesidad Calcario (TM/ha)	Costo (¢)	
	E CaCO ₃	Erg	PRNT		Total	Unidad PRNT
N°1	100,02	73,5	73,51	2,041	12.758	173,55
N°2	132,6	70,0	92,82	1,616	10.522	113,35
N°3	79,66	84,0	66,91	2,242	13.974	208,85
N°4	75,08	54,9	41,22	3,639	23.348	566,40

En el Cuadro 15 se efectúa una proyección de resultados para cada uno de los cuatro productos evaluados, suponiendo en esta ocasión la necesidad de acondicionar un terreno de 12 hectáreas, dimensión considerada como “área o parcela modelo” para el cultivo de la caña de azúcar (CHAVES SOLERA, 1983). Se evidencia y dimensiona en dicho Cuadro, la rotunda

significancia que adquiere la diferencia individual mostrada por los productos, principalmente por parte del producto N°4 el cual emplea una cantidad de cal 1,25 veces mayor respecto al producto N°2, para producir en teoría el mismo efecto corrector, lo que genera sin embargo una diferencia económica de ¢153.912,00.

Cuadro 15
Proyección de las Cantidades y Costos Económicos Involucrados en la Corrección de Acidez de un Terreno con Áreas de una y 12 Hectáreas, respectivamente

Producto Comercial	1 Hectárea			12 Hectáreas		
	CaCO ₃ (TM)	Costo Total (¢)	Diferencia ^{1/} (¢)	CaCO ₃ (TM)	Costo Total (¢)	Diferencia ^{1/} (¢)
N°1	2,04	12.758	2.236	24,49	153.096	26.832
N°2	1,62	10.522	–	19,39	126.264	–
N°3	2,24	13.974	3.452	26,9	167.688	41.424
N°4	3,64	23.348	12.826	43,67	280.176	153.912

1/ La diferencia va referida en todos los casos al producto N°2.

15. CONSIDERACIONES FINALES

A continuación se puntualizan algunos aspectos teórico-prácticos que se deben tener presentes en todo momento, al utilizar correctivos de acidez del suelo:

- a) La mayor reactividad o velocidad de acción de un correctivo en el suelo, se traduce en una corrección más rápida de la acidez.
- b) Los óxidos e hidróxidos presentan una más rápida y energética reactividad en el suelo, comparativamente con los carbonatos y silicatos.
- c) Entre más fino un correctivo, mayor es su reactividad.
- d) Cuando mayor es la acidez del suelo, la temperatura y la humedad del lugar, mayor es la reactividad del material correctivo empleado.
- e) El efecto residual de un correctivo es fundamental como criterio de eficiencia técnica, aunque en general ésta es antagónica con su reactividad; entre más reactivo menos efecto residual presenta un material.
- f) El efecto residual del correctivo permanece en el suelo por periodos variables de tiempo, dependiendo de las condiciones existentes, el cual puede ser mínimo (inmediato) o hasta de 5 años.

- g) Los materiales muy finos (polvos) pueden presentar pérdidas significativas por causa del viento, además de mostrar aglutinación y adherencia de las partículas, lo que consecuentemente dificulta su aplicación y distribución en el campo.
- h) La mayor reactividad de los óxidos e hidróxidos, puede perjudicar las poblaciones y actividad microbial en el suelo.
- i) Los correctivos a base de óxidos e hidróxidos aplicados próximos a la época de siembra, pueden inducir la deficiencia temporal de K, debido al rápido incremento observado en las concentraciones de calcio y magnesio en el suelo; por esta razón, el uso Dolomita con lleva necesariamente una regulación del potasio utilizado, debiendo elevar sus dosis.
- j) Las características químicas y físicas de los óxidos e hidróxidos, obligan a los aplicadores a protegerse para evitar su contacto y aspiración directa.
- k) La cal no debe quedar durante su almacenamiento expuesto al aire puesto que hidrata y carbonata, formando piedra, lo que reduce su calidad y dificulta su manipulación.
- l) Cuanto mayor sea la concentración en constituyentes neutralizantes y fineza del producto, mayor será la efectividad y menor la cantidad (kg) requerida, así como el costo involucrado por concepto de carga, transporte, almacenamiento y aplicación.
- m) Para iniciar y completar su reacción, un correctivo debe contar con humedad adecuada en el suelo.
- n) No se puede definir la eficiencia técnica de un correctivo apenas por sus atributos físico-químicos, deben necesariamente analizarse las situaciones agrícolas y exigencias de calidad requeridas en cada caso particular.
- o) Entre las variables indicativas de calidad es fundamental incluir otras que la legislación debe exigir, ente ellas están: la segregación, la higroscopicidad, empedramiento, resistencia de gránulos y fluidez.
- p) Es fundamental capacitar al productor y también al técnico sobre aspectos de esta naturaleza, en virtud de su participación como consumidor, beneficiario directo y agente propulsor de los mismos.
- q) Debe investigarse sobre la eficiencia de los diferentes correctivos comerciales y su efecto residual, respecto ala granulometría presente. En materia de correctores de acidez del suelo existen aún muchas dudas y controversias, por lo que debiera brindar mayor énfasis a la investigación en este campo.
- r) Es básico regular y controlar más rigurosa y efectivamente la calidad de los materiales correctivos de acidez del suelo disponibles en el mercado, para asegurarle a los agricultores productos de verdadero valor agrícola. Esto demanda una legislación efectiva y cumplida, en lo relativo a correctivos agrícolas, la cual por desgracia es actualmente muy deficiente en nuestro país.

16. CONCLUSIÓN

El establecimiento y fiscalización de normas específicas y con alto criterio técnico, que garanticen la calidad de los correctivos de acidez del suelo utilizado en la agricultura, es asunto de interés y prioridad nacional.

Ese interés se fundamenta y surge del hecho que nuestro país posee buena cantidad de suelos con aptitud agrícola, que presentan serias limitantes productivas, en virtud de la alta acidez producto de la lixiviación de nutrientes esenciales, básicamente calcio y magnesio, y la existencia de otros elementos restrictivos para el desarrollo y el metabolismo vegetal, como acontece con el aluminio, el hierro y el manganeso, principalmente.

El encalamiento de los suelos constituye una práctica tradicional y determinante para lograr el mejoramiento e incremento de la productividad agrícola, razón por la cual, debe ofrecerse al agricultor productor correctores de acidez de alta calidad técnica, lo cual en la actualidad es por desgracia deficiente en grado significativo.

Las personas y organismos responsables de velar por estas materias, deben aplicar a la mayor brevedad los ajustes que los nuevos tiempos requieren y obligan, pues de nada valen los esfuerzos en otros órdenes si no se asegura que los insumos empleados en la agricultura, respondan a las normas mínimas de calidad requeridas.

17. LITERATURA CITADA

ALCARDE, J.C. 1983. Características de qualidade dos corretivos de acidez do solo. In: Simpósio sobre “Acidez e Calagem”. Reunião Brasileira de Fertilidade do solo, 15, Campinas, São Paulo. pp: 11-22.

ALCARDE, J.C. 1985. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In Seminario sobre Corretivos Agrícolas. Piracicaba, 1983. Anais Campinas, São Paulo, Fundação Cargill. pp: 97-119.

ALCARDE, J.C. 1986. Características dos corretivos da acidez do solo In: Simpósio sobre Aplicação de Calcário na Agricultura, 1, Ipanema, Campinas, Fundação Cargill. pp: 1-19.

ALCARDE, J.C. 1992a. Qualidade de fertilizantes e corretivos. In. A. Roque Dechen (Coord). Adubação, Produtividade e Ecologia: Simposios. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, Piracicaba. Resumos, Campinas, São Paulo. pp: 275-298.

ALCARDE, J.C. 1992b. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo. ANDA, 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T.; DERNARDIN, J.S. 1989. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 13(3): 387-392.

BARBER, S. 1984. Liming materials and practices. In ADAMS, F. (ed) Soil Acidity and Liming. 2 ed. Am. Soc. Agronomy, Madison, Wis. pp: 171-209.

BELLINGIERI, P.A. 1982. Avaliação, em laboratório, da eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários, na neutralização da acidez dos solos. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo. 99 p. Tese de Doutorado.

BRICEÑO, J.A.; PACHECO, R. 1984. Métodos Analíticos para el Estudio de Suelos y Plantas. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica. pp: 81-84.

CHAVES SOLERA, M.A. 1998. 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. Tese de Mestrado.

CHAVES SOLERA, M.A.; RIBEIRO, A.C; ALVAREZ V., VH; DEFELIPO, B.V; NOVAIS DE, RF. 1991a. Efecto de Relaciones Ca:Mg, Utilizando Carbonatos y Sulfatos, sobre el Crecimiento y la Nutrición Mineral de la Caña de Azúcar. In: Congreso Tecnológico de la Caña de Azúcar, 3, 1989, San José, Costa Rica. pp: 159-200.

CHAVES SOLERA, M.A. 1991b. Características y Uso Potencial del Yeso en la Agricultura Costarricense. Revista del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. 4 (7): 18-20.

CHAVES SOLERA, M.A., 1993. Área Cultivada, Índices de Producción y Estimación de Costos Agrícolas de la Caña de Azúcar. Mayo 1993. San José, Costa Rica, DIECA. 59 p.

DEFELIPO, B.V; RIBEIRO, A.C. 1981. Análise química do Solo. (Metodologia). Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa. 17 p.

GARGANTINI, H. 1974. Efeitos da granulometria, forma e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. *Bragantia*, 33 (9): 87-96.

KAMPRATH, E.J. 1967. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. Madison, Internacional Soil Testing. Boletín Técnico No. 4. 23 p.

LOPES, A.S; ABREAU, C.A. 1987. Manejo da Fertilidade do Solo. Informe Agropecuario, Belo Horizonte, 13 (147): 3-21.

LOPES, A.S.; GUILHERME, LR.G. 1992. Fertilizantes e Corretivos Agrícolas: Sugestões de manejo para uso eficiente. In: A. Roque Dechen (Coord). Adubação, Produtividade e Ecologia: Simpósios. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e a Nutrição de plantas, 20 Campinas, Piracicaba, Fundação Cargill. pp: 39-69.

MALAVOLTA, E. 1987. Manual de Calagem e Adubação das Principais Culturas. São Paulo, Ed. Agronomica Cêres. 496 p.

MALAVOLTA, E. 1981. Manual de Química Agrícola, Adubos e Adubação. 3ed. São Paulo: Editora Agronômica CERES Ltda. 607 p.

- MARINHO, M.L. 1983. Calagem para a Cana de açúcar. In: Simposio sobre “Acidez y Calagem”. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 15, Campinas, São Paulo. pp: 245-258.
- MARINHO, M.L.; ALBUQUERQUE, G.AC. 1983. Calagem. In: J. Orlando Filho (Coord). Nutrição e Adubação da Cana de Açúcar no Brasil. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR. pp: 181-208.
- MATTOS DE B, Z. P. 1986. Apropriação de Custos de Aplicação de Calcário. In: Simpósio sobre Aplicação de Calcário na Agricultura, 1, Ipanema, Campinas, Fundação Cargill. pp: 113-121.
- MIERNICZUK, J. 1983. Economicidade da Calagem. In: Simposio sobre “Acidez y Calagem”. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 15, Campinas, São Paulo. pp: 63-77.
- PANDOLFO, C.M. 1988. Efetividade de Frações Granulométricas de Calcário na Correção da Acidez do solo. Porto Alegre. Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul. 92 p. Tese de Mestrado.
- PIMENTEL FERNANDEZ, K. 1986. Aprofundamento do sistema radicular de cana-de-açúcar em colunas de solo com diferentes níveis de calcio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 44 p. Tese de Mestrado.
- QUAGGIO, J.A. 1983. Métodos de Laboratorio para Derminação da Necessidade de Calagem em Solos. In. RAIJ. B. Van. Et al (Coord) Simpósio sobre Acidez e Calagem no Brasil, Campinas, São Paulo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. pp: 33-48.
- RAIJ, B. VAN. 1977. Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo. IV – O Poder Relativo de Neutralização Total. *Bragantia*, 36 (12): 139-145.
- RAIJ, B. VAN. 1991. Fertilidade do Solo e Adubação. São Paulo; Piracicaba: Cêres, Potafos. 343 p.
- RAMIREZ, G. 1978. Uso de la Cal en los Suelos Agrícolas. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 16 p.
- REGLAMENTO SOBRE REGISTRO, USO Y CONTROL DE PLAGUICIDAS AGRICOLAS Y COADYUVANTES. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, de Salud y de Trabajo y Seguridad Social. Decreto No. 17557-MAG-S-TSS publicado en La Gaceta No. 130 del 10 de julio de 1987. 36 p.
- RIBEIRO, A.C; DEFELIPO. B.V; NEVES, J.C.L; BARROS, N.F; NOVAIS, R.F; ALVAREZ V, V.H. 1987. Sol 370-Química e Fertilidade do Solos-Práticas – Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa. Pp: 43-48.

ROCHA, M. 1985. Diretrizes de uma política para corretivos. In: Seminário sobre Corretivos Agrícolas. Piracicaba, 1983. Anais. Campinas. Piracicaba, São Paulo, Fundação Cargill. pp: 299-309.

SÁENZ MAROTO, A. 1975. Formulario Técnico de Suelos Tropicales. San José, Costa Rica: Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Serie Textos No. 241. 396 p.

SOUSA, E.A; NEPTUNE, A.M.L. 1979. Efeitos da Granulometria de Calcário Dolomítico sobre as Propriedades Químicas de um Latossolo. Revista Brasileira de Ciência do solo. 3: 120-125.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1975. Soil Fertility and Fertilizers 3a. ed. MacMillan Publishing Co., Inc., New York. P. 694.

VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. 1974. Estudo de Materiais Calcários usados como Corretivo do Solo no Estado de São Paulo. III. Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. *Bragantia*, 33 (15): 147-152.

VERLENGIA, F; GARGANTINI, H. 1972. Estudo sobre a Eficiência de Diferentes Frações Granulométricas de Calcário no Solo. *Bragantia*, 31 (10): 119-127.

WEAST, R.C. (ed). 1969. Handbook of Chemistry and Physics. The chemical Rubber co., Ohio, USA.

ANEXO

Anexo 1

Análisis Granulométrico de una Caliza

a. Equipo Requerido

Mallas No. 10, 16, 40, 60 y 80 Mesh (u otras por definir), con tapa y recibidor
Agitador de mallas
Balanza granataria
Estufa

b. Procedimiento

La muestra de caliza que se pretende analizar, debe primeramente ser cuarteada y luego, clocada en la estufa a 110 °C hasta obtener peso constante dejándola posteriormente enfriar a temperatura ambiente.

Pesar 100 gr de la muestra y colocar la misma en el juego de mallas referido en el equipo, compuesto con tapa y recibidor.

Se procede a mover las mallas en forma lateral y vertical, por un tiempo no inferior a 5 minutos.

Posteriormente, se procede a determinar el peso (g) de la fracción retenida en cada malla, expresándola en forma de porcentaje al total.

c. Cálculo

Una vez que se dispone de los porcentajes retenidos por cada fracción, se procede al cálculo correspondiente de la Eficiencia Relativa Granulométrica (% ERg), tal como se detalla en el presente documento.

Anexo 2
Valores de Diámetro Interior de Abertura (mm) Según Número de Malla y Sistema de Referencia Utilizado

Diámetro Interior de la Malla en mm	USA Standard ASTM E 11-61	Nº de Mallas (MESH) TYLER Mallas/Pulg	BRITISH-Standard BS 410: 1962 Mallas/Pulgada
0,037	400	400	–
0,044	325	325	–
0,045	–	–	350
0,053	270	270	300
0,063	230	250	240
0,074	200	200	–
0,075	–	–	200
0,088	170	170	–
0,090	–	–	170
0,105	140	150	150
0,125	120	115	120
0,149	100	100	–
0,150	–	–	100
0,177	80	80	–
0,180	–	–	85
0,210	70	65	72
0,250	60	60	60
0,297	50	48	–
0,300	–	–	52
0,354	45	42	–
0,355	–	–	44
0,420	40	35	36
0,500	35	32	30
0,595	30	28	–
0,600	–	–	25
0,707	25	24	–
0,710	–	–	22
0,841	20	20	–
1,000	18	16	16
1,190	16	14	–
1,200	–	–	14
1,410	14	12	–
1,680	12	10	10
2,000	10	9	8
3,360	6	6	–
4,000	5	5	–
4,760	4	4	–

5,660	3,5	-	-
-------	-----	---	---

Anexo 3

Determinación del Poder de Neutralización de un Correctivo de Suelo

a. Equipo Requerido

Malla N°. 60
 Balanza Analítica
 Erlenmeyer de 250 ml
 Buretas de 50 ml
 Probeta de 100 ml
 Pipeta
 Acido Clorhídrico 0,5 mol/lit – (HCL 0,5 N)
 Hidróxido de Sodio 0,25 mol/lit- (NaOH 0,25N)
 Un calentador

b. Procedimiento

Tomar la muestra de correctivo por valorar y pasarla por la malla N°. 60, luego de lo cual se colocan y pesan 0,500 g de cal viva (CaO) o 1,00 g de cal apagada (CaOH) en un erlenmeyer de 250 ml de capacidad.

Añadir exactamente 50 ml de HCL 0,5 mol/lit al erlenmeyer y hervir suavemente durante 5 minutos hasta que empiece a hervir. Dejar enfriar y proceder a titular el exceso de ácido presente, utilizando para ello NaOH 0,25 mol/lit y fenolftaleina (2-3 gotas) como indicador; el cambio de color (rosado leve) indicará el final de la reacción.

Con la información anterior y la determinación del volumen (ml) de NaOH gastado, se procede a calcular el valor de neutralización presente en la muestra.

c. Cálculo

A continuación se presenta la fórmula empleada en el cálculo del Poder de Neutralización, para lo cual deberá solo sustituirse los valores correspondientes.

Con cal viva o apagada el valor de neutralización deberá reportarse como % CaO, en tanto que, para las calizas como %CaCO₃.

$$\%CaO: (ml\ HCL\ aplicados \times mol/lit\ HCL - ml\ NaOH\ gastados \times mol/lit\ NaOH) \times \frac{100}{P.M.}$$

$$\% Ca = (50 \times 0,5) + (V_2 \times 0,25) \times 0,028 \times \frac{100}{56,08} \times 100$$

$$\% \text{ CaO} = (25 - V_2 \times 0,25) \times 5$$

En el caso de la neutralización de la caliza (% CaCO_3), el cálculo es similar, excepto que el factor 0,028 se sustituye por 0,050. En el Cuadro 1 se indican los valores correspondientes a otras formas químicas distintas de correctivos.

Ejemplo:

Luego de desarrollar la metodología analítica anterior, se obtuvo que en la titulación con NaOH. Se gastaron 28,0 ml ¿Cuál es entonces el Poder de Neutralización del Calcario?

Sustituyendo se tiene:

$$\begin{aligned} \% \text{ CaO} &= (25 - 28,0 \times 0,25) \times 5 \\ &= 18 \times 5 \\ &= 90,00\% \end{aligned}$$

Fuente: BRICEÑO y PACHECO (1984); DEFELIPO y RIBEIRO (1981); RIBEIRO *et al* (1987).

Anexo 4 Conversión de Valores para el Cálculo de Formas Químicas del Calcio

Tome	Multiplique Por	Para Obtener
Ca	x 1,3992 =	CaO
CaO	x 0,7547 =	Ca
Ca	x 1,8449 =	Ca(OH) ₂
Ca(OH) ₂	x 0,5408 =	Ca
Ca(OH) ₂	x 0,7568 =	CaO
CaO	x 1,32 =	Ca(OH) ₂
Ca	x 2,4975 =	CaCO ₃
CaCO ₃	x 0,4004 =	Ca
CaCO ₃	x 0,7409 =	Ca(OH) ₂
Ca(OH) ₂	x 1,3508 =	CaCO ₃

SAENZ MAROTO (1975).

Pesos Moleculares (P.M.)

CaCO_3	=	100,09	Ca (OH)_2	=	74,01
MgCO_3	=	84,32	Mg (OH)_2	=	58,32
CaO	=	56,08	CaSiO_3	=	116,29
MgO	=	40,31	MgSiO_3	=	100,52