

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**EFECTO DEL MATERIAL ENCALANTE DE
DIFERENTES CANTERAS EN UNA ROTACIÓN DE
CULTIVOS, MAÍZ (*Zea mays* L.) Var. 'Marginal 28' CON
ARROZ (*Oryza sativa* L.) Var. 'La Conquista'**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Luis Hernán, NAVAS MOSCOSO

PROMOCIÓN 2004 - I

TINGO MARÍA - PERÚ

2011



F04

N31

Navas Moscoso, Luis H.

Efecto del Material Encalante de Diferentes Canteras en una Rotación de Cultivos, Maíz (*Zea mays* L.) Var. 'Marginal 28' con Arroz (*Oryza sativa* L.) Var. 'La Conquista'. Tingo María, 2011

92 h.; 56 cuadros; 3 fgrs.; 17 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

ZEA MAYS L. / ORYZA SATIVA L. / ENCALADO / RENDIMIENTO /
ROTACION - CULTIVOS / PRODUCCION / METODOLOGIA / TINGO
MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

No.017-2008-FAUNAS.



AÑO DE LAS CUMBRES MUNDIALES EN EL PERU

BACHILLER : LUIS HERNAN NAVAS MOSCOSO

TITULO DE LA TESIS : "Efecto del material encalante de diferentes canteras en una rotación de cultivo maíz (zea mays) variedad marginal 28, con arroz (oryza sativa) variedad La Conquista"

JURADO CALIFICADOR :
 Presidente : Ing. M.Sc. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui
 Vocal : Ing. M.Sc. Carlos Ernesto Huatuco Barzola
 Vocal : Ing. Fernando S. Gonzales Huiman
 Asesor : Ing. M.Sc. José Wilfredo Zavala Solórzano

FECHA DE SUSTENTACION : 12 de Diciembre de 2008

HORA DE SUSTENTACION : 9:30 a.m.

LUGAR DE SUSTENTACION : SALA DE AUDIOVISUALES FAUNAS.

CALIFICATIVO : REGULAR

RESULTADO : APROBADO

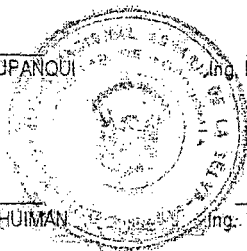
OBSERVACIONES AL ACTA : EN HOJA ADJUNTA

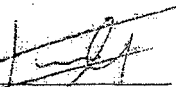
Tingo Maria, 15 de Diciembre de 2008.


 Ing. M.Sc. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI
 PRESIDENTE


 Ing. M.Sc. CARLOS ERNESTO HUATUCO BARZOLA
 VOCAL


 Ing. FERNANDO S. GONZALES HUIMAN
 VOCAL




 Ing. M.Sc. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
 ASESOR



22-12-08
 Interesado H. Navas M.

DEDICATORIA

A mis padres, Víctor y Carlota.

A mis hermanos, Rubén y Carla.

**A mis abuelos, Rolando y
Agustina, Pacho y Herminia.**

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía que contribuyó a mi formación profesional.
- Al Ing. M. Sc. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor, por su valiosa colaboración y supervisión de la tesis.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. M. Sc. Hugo Huamaní Yupanqui, Ing. M. Sc. Carlos Huatuco Barzola e Ing. M. Sc. Fernando Gonzales Huiman por su apoyo incondicional.
- Al Ing. Agr. Luis Mansilla Minaya por su colaboración y orientación.
- Al Ing. M. Sc. David Guarda Sotelo por su apoyo con el procesamiento de los datos.
- A mis compañeros y amigos: Joel Ayre, Dawis Dávila, Esteban Paredes, José Asencio, Arthur Arce, Eliseo Isla, Marco Florián, Vilma La Torre, Roy Porras, Hugo Mendoza, Hilmer Luna, Carla Astete, Edgar Huaroc, Oscar Paredes, Ivan Cárdenas y Concepción Ariza, quienes me brindaron su apoyo en la realización del presente trabajo de tesis.
- A las instituciones, CHEMONICS y el Proyecto Especial Alto Huallaga, por su interés en mejorar la condición social y económica de los dueños de las canteras, así como de los agricultores con problemas de suelos ácidos.

INDICE

	Pagina
I INTRODUCCIÓN.....	12
II REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	14
2.1. La acidez del suelo.....	14
2.2. El aluminio en la planta.....	15
2.3. Encalado.....	16
2.4. Selección de una piedra caliza: calidad de las enmiendas.....	18
2.5. Respuesta de los cultivos al encalado.....	20
2.6. Material calcáreo de la provincia de Leoncio Prado.....	21
III MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1. Campo experimental.....	23
3.1.1. Ubicación.	23
3.1.2. Condiciones climáticas.....	23
3.1.3. Características del suelo.....	24
3.2. Características de los materiales encalantes.....	25
3.3. Componentes en estudio.....	26
3.4. Tratamientos en estudio.....	26
3.5. Diseño experimental.....	26
3.6. Características del campo experimental.....	29
3.7. Ejecución del experimento.....	30
3.7.1. Preparación del estiércol de vacuno.....	30
3.7.2. Preparación de los fertilizantes.....	30

3.7.3. Obtención y preparación del material encalante.....	30
3.7.4. Preparación del terreno.....	31
3.7.5. Labores culturales.....	31
3.8. Evaluaciones a registrar para el maíz y arroz.....	32
3.9. Evaluación de parámetros biométricos.....	33
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Características químicas del suelo: pH y porcentaje de acidez cambiable.....	35
4.1.1. pH.....	35
4.1.2. Porcentaje de acidez cambiable.....	42
4.2. Características biométricas de la planta de maíz.....	49
4.2.1. Altura de planta del maíz.....	50
4.2.2. Diámetro del tallo de la planta de maíz.....	57
4.2.3. Porcentaje de materia seca de la planta de maíz.....	63
4.2.4. Rendimiento en grano del maíz.....	67
4.3. Características biométricas de la planta de arroz.....	74
4.3.1. Altura de la planta de arroz.....	75
4.3.2. Rendimiento en grano de arroz.....	77
4.4. Análisis de rentabilidad por tratamientos para el cultivo de maíz y arroz.....	85
V CONCLUSIONES.....	88
VI RECOMENDACIONES.....	89
VII BIBLIOGRAFÍA.....	90
VIII ANEXOS.....	92

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Datos climáticos correspondientes al periodo experimental (septiembre 2007 - junio 2008).....	23
2	Análisis de caracterización del suelo experimental.....	24
3	Características físico químicas de los materiales encalantes de cada cantera.....	25
4	Descripción de los tratamientos en estudio.....	27
5	Esquema del análisis de variancia.....	28
6	Análisis de variancia del pH a los 330 días después del encalado.	37
7	Prueba de Duncan del pH a los 330 días del encalado para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo.....	38
8	Prueba de los efectos simples del pH a los 330 días del encalado.....	38
9	Prueba de Duncan del pH del suelo para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo en el nivel de 9 t ha ⁻¹	39
10	Prueba de Duncan del pH del suelo para los niveles de 3, 6, 9 y 12 t ha ⁻¹ , con la cantera Quiroz.....	40
11	Prueba de Duncan del pH por tratamientos a los 330 días después del encalado.....	41
12	Análisis de variancia para el porcentaje de acidez cambiabile del suelo a los 330 días después del encalado.....	44
13	Prueba de Duncan del efecto de las canteras en el porcentaje de	

	la acidez cambiabile del suelo.....	45
14	Prueba de Duncan del porcentaje de acidez cambiabile del suelo para el efecto principal de niveles.....	45
15	Resumen del ANVA de efectos simples del porcentaje de acidez cambiabile del suelo.....	46
16	Prueba de Duncan del efecto simple del porcentaje de acidez cambiabile producido por las canteras en el nivel de 9 t ha ⁻¹	47
17	Prueba de Duncan del porcentaje de acidez cambiabile producido por las canteras de Quiroz y Venegas en los cuatro niveles de aplicación.....	48
18	Prueba de Duncan de tratamientos del porcentaje de acidez cambiabile del suelo.....	49
19	Resumen del análisis de variancia de las características biométricas del cultivo de maíz.....	50
20	Prueba de Duncan del efecto de las canteras en la altura de la planta del maíz.....	51
21	Prueba de Duncan de los niveles de caliza en la altura de la planta del maíz.....	52
22	Resumen del ANVA de los efectos simples de la altura de planta del maíz.....	53
23	Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) del efecto de aplicación de dos niveles de material encalante de cinco canteras en la altura de planta del maíz.....	54
24	Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) del efecto de los niveles de	

	encalante de tres canteras en la altura de planta del maíz.....	55
25	Prueba de Duncan de tratamientos de la altura de planta del maíz.....	56
26	Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo, en el diámetro del tallo del maíz.....	58
27	Prueba de Duncan de los niveles de material encalante en el diámetro de tallo de la planta del maíz.....	59
28	ANVA de los efectos simples en el diámetro del tallo del maíz.....	60
29	Prueba de Duncan de las canteras aplicadas al nivel de 9 t ha ⁻¹ en el diámetro del tallo de la planta del maíz.	60
30	Prueba de Duncan de los niveles de aplicación de la cantera Quiroz, en el diámetro del tallo de la planta del maíz.	61
31	Prueba de Duncan de los tratamientos del diámetro del tallo de la planta del maíz.....	62
32	Prueba de Duncan de los niveles de material encalante en el porcentaje de materia seca de la planta del maíz.....	63
33	ANVA de efectos simples, del porcentaje de materia seca de la planta del maíz.....	64
34	Prueba de Duncan de canteras en los niveles de 3, 6 y 9 t ha ⁻¹ en el porcentaje de materia seca de la planta del maíz.....	65
35	Prueba de Duncan del efecto de las canteras Quiroz, Abad y Espejo en el porcentaje de materia seca del maíz.....	66
36	Prueba de Duncan para tratamientos en el porcentaje de materia	

	seca, de la planta del maíz.....	67
37	Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad Venegas y Espejo, en el rendimiento de grano de maíz.....	68
38	Prueba de Duncan para los niveles 3, 6, 9 y 12 t ha ⁻¹ , en el rendimiento de grano del maíz.....	69
39	ANVA de los efectos simples del rendimiento de grano del maíz.....	70
40	Prueba de Duncan de los efectos simples de canteras en cada nivel de aplicación en el rendimiento de grano de maíz.....	71
41	Prueba de Duncan de los efectos simples de los niveles de aplicación de las canteras Quiroz, Venegas y Abad.....	72
42	Prueba de Duncan de tratamientos del rendimiento de grano de maíz.....	73
43	Resumen del ANVA de la altura de planta y rendimiento del cultivo de arroz.....	74
44	Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad Venegas y Espejo, de la altura de planta del arroz.....	75
45	Prueba de Duncan de tratamientos de la altura de planta de arroz.....	76
46	Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad, Venegas y Espejo, en el rendimiento de grano del arroz.....	78
47	Prueba de Duncan para los niveles de 3, 6, 9 y 12 t ha ⁻¹ , en el rendimiento de grano del arroz.....	79
48	ANVA de los efectos simples del rendimiento de grano del	

	arroz.....	79
49	Prueba de Duncan de los efectos simples de canteras en cada nivel de aplicación en el rendimiento de grano de arroz.....	81
50	Prueba de Duncan de efectos simples de los niveles de aplicación de las canteras Fernández, Abad y Espejo.....	82
51	Prueba de Duncan para tratamientos en el rendimiento de grano del arroz.....	83
52	Análisis de rentabilidad para cada tratamiento en el cultivo de maíz.....	86
53	Análisis de rentabilidad para cada tratamiento en el cultivo de arroz.....	87
54	Comparación de los tratamientos, rendimiento, pH, porcentaje de la acidez cambiante, porcentaje de la saturación de aluminio y relación calcio magnesio, en el cultivo de maíz.....	95
55	Comparación de los tratamientos, rendimiento, pH, porcentaje de la acidez cambiante, porcentaje de la saturación de aluminio y relación calcio magnesio, en el cultivo de arroz.....	96
56	Análisis de caracterización por tratamientos, a los 130 días del encalado.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Variaciones en el pH del suelo después de cada cultivo secuencial, maíz y arroz.....	36
2	Variaciones del porcentaje de acidez cambiante del suelo al final del primer y segundo cultivo.....	43
3	Disposición experimental de los tratamientos.....	94

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la aplicación de enmiendas inorgánicas al suelo ha adquirido gran importancia en el Alto Huallaga, debido a la alta acidez de los suelos, producto de la intensa meteorización y mal manejo de ellos, a tal grado que casi todos los programas de desarrollo incluyen en sus paquetes tecnológicos la neutralización del aluminio, para propiciar una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.

La función agrícola de la caliza y dolomita no solamente es reponer el calcio y magnesio extraído y lixiviado de los suelos, sino también corregir la acidez del suelo para mejorar sus condiciones físicas y microbiológicas e incrementar la disponibilidad de otros nutrientes.

El arroz de la variedad "La Conquista" y el maíz de la variedad "Marginal 28 T", son los cultivos que mejor se han adaptado en el Alto Huallaga, y son sembrados año tras año por los agricultores, para su alimentación como fuente de proteína y carbohidratos.

Se hace necesario por lo tanto, conocer la incidencia del material calcáreo en las propiedades de los suelos del trópico y en la productividad de estos cultivos, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto del material encalante de cinco canteras y cuatro niveles de aplicación en la modificación de algunas características químicas del suelo.

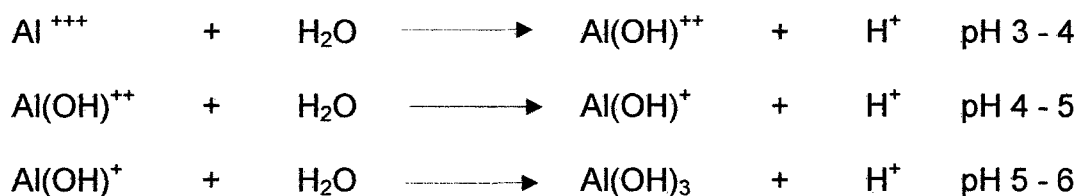
2. Determinar el efecto del material encalante de cinco canteras y cuatro niveles de aplicación en el rendimiento del maíz y arroz.
3. Determinar el análisis de rentabilidad de los diferentes tratamientos en estudio.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. La acidez del suelo

Aunque la acidificación del suelo es un proceso natural producido por el lavado o lixiviación de bases cambiabiles con la concentración subsecuente de los cationes ácidos, la agricultura y otras actividades humanas pueden acelerar este proceso. Esta acidez unida a la poca disponibilidad de nutrientes es una de las mayores limitaciones de la baja productividad de los suelos ácidos. La concentración de protones del suelo expresado mediante el pH, puede tener valores tan extremos como 3 y 10, aunque los valores más comunes están entre 4 y 8; desde el punto de vista agrícola se busca que los suelos estén en el rango de 5.5 a 6.5, rango en el que crecen satisfactoriamente la mayoría de cultivos (COLEMAN y THOMAS, 1967).

Siendo el pH un valor referencial, según CEPEDA (1991), los valores bajos están relacionados en la mayoría de casos de suelos tropicales, con altas concentraciones de aluminio soluble y cambiabie, encontrándose la máxima solubilidad a un pH de alrededor de 4.5; el aluminio del complejo adsorbente, pasa a la solución del suelo, produciéndose la hidrólisis según las siguientes reacciones:



El mismo autor señala que aluminio ejerce un efecto directo sobre el estatus químico de elementos inorgánicos, así como influencia en el número y

actividad de los microorganismos responsables de la transformación de los elementos tales como N, P, y S en el suelo, lo que indirectamente afecta la disponibilidad de estos elementos en las plantas superiores.

En suelos bien provistos de materia orgánica, el aluminio forma complejos con la materia orgánica y no es cambiante con cationes de soluciones salinas no bufferadas, según refieren BUCKMAN y BRADY (1985). En este caso, el aluminio acomplejado es un buffer importante, particularmente después que el aluminio extractable en KCl es neutralizado. Por otra parte, en suelos con una saturación de Al cambiante de 60% o mayores, las aplicaciones de altos niveles de N y K puede resultar en un incremento de las concentraciones de aluminio en la solución suelo.

2.2 El aluminio en la planta

Los ápices de las raíces y las raíces laterales se engrosan y se tornan marrones, la absorción y translocación de fosfatos a las partes aéreas se ven afectadas, por lo que la toxicidad se manifiesta con frecuencia por el desarrollo de coloraciones purpúreas en las hojas que caracteriza a la deficiencia de P. Finalmente las plantas son achaparradas y los tallos quebradizos (BUCKMAN y BRADY, 1985).

A nivel celular, la membrana plasmática se ve también afectada por elevadas concentraciones de aluminio. La toxicidad del aluminio con frecuencia viene acompañada de altos niveles de Fe^{+3} y Mn^{+2} , y bajas concentraciones de Ca^{+2} y Mg^{+2} en los tejidos de la planta. Esto es de esperar, ya que la toxicidad

de Al^{+3} se asocia a condiciones ácidas de suelo, donde la disponibilidad tanto de Fe^{+2} como de Mn^{+2} es alta, y donde los niveles de Ca^{+2} y Mg^{+2} son, con frecuencia, bajos debido a la lixiviación (MENGEL y KIRKBY, 1987).

2.3 Encalado

Los conceptos de los suelos altamente meteorizados han cambiado a partir de los años 50, pues los suelos ácidos contienen más aluminio que hidrógeno. Esta consideración permitió eliminar las recomendaciones de encalar los suelos hasta alcanzar un pH de 7, lo que traería como consecuencia un sobre encalado resultando antieconómico (KAMPRATH, 1967).

BUCKMAN y BRADY (1985) señalan que existen tres estrategias para atenuar las limitaciones impuestas por la acidez del suelo: la adición de cal para reducir la saturación de aluminio por debajo del nivel que puede causar toxicidad, adición de cal para aumentar Calcio y Magnesio a la planta y estimular el movimiento de estos dos nutrientes del suelo superficial al subsuelo y buscar variedades de cultivos tolerantes a altas concentraciones de aluminio y manganeso. Indican asimismo, que la aplicación de cal es el medio más efectivo de controlar la toxicidad de Al^{+3} en suelos ácidos. El propósito principal del encalado es elevar el pH para precipitar el Al soluble y al mismo tiempo, suministrar Ca y Mg en suelos deficientes.

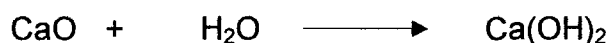
Productos utilizados para corregir la acidez de los suelos

Los productos utilizados para corregir la acidez de los suelos son aquellos que contienen como constituyentes neutralizantes o principios activos

a los carbonatos, óxidos, hidróxidos o silicatos de Ca y/o Mg según ALCARDE, (1986), y de este modo, son correctivos o enmiendas químicas, las calizas molidas, la cal viva, la cal hidratada o apagada y las escorias de siderurgias (silicatos), entre otros materiales. Este autor aclara que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no es un corrector de la acidez sino de los suelos sódicos. La cal viva y la hidratada, son productos de las calizas, obtenidas por calcinación en hornos; en el caso de la primera, la quema de las calizas da lugar a la formación de óxido de calcio con óxido de magnesio. De este modo sus constituyentes neutralizantes son los óxidos de Ca y Mg.



La hidratación de la cal viva (óxido) conduce a la formación de la cal hidratada (hidróxido) o apagada, cuyos constituyentes neutralizantes son los hidróxidos de Ca y Mg:



En relación al calcáreo molido, según Boynton (1966) citado por ALCARDE (2005), sus constituyentes neutralizantes son el CaCO_3 y MgCO_3 y en función del contenido de MgCO_3 son clasificados en Brasil como Calcíticos (< 5% MgCO_3), magnesianos (5 – 20% MgCO_3) y dolomíticos (> 20% MgCO_3). MALAVOLTA y VIOLANTE NETTO (1989) indican que la legislación brasileña clasifica los calcáreos de la siguiente manera:

Calcíticos

38 a 34% CaO

< 4% MgO

Magnesianos	33 a 26% CaO	5 a 12 % MgO
Dolomíticos	< 26 % CaO	> 12 % MgO

2.4 Selección de una piedra caliza: calidad de las enmiendas

Para seleccionar una piedra caliza debe tenerse en consideración la capacidad de neutralización de los constituyentes neutralizantes así como su granulometría o tamaño de las partículas y su contenido de Mg.

Los constituyentes neutralizantes de las enmiendas tienen diferentes capacidades de neutralización, y en la neutralización de la acidez del suelo, un número determinado de equivalentes serán neutralizados por igual número de equivalentes de constituyente neutralizante, pero el peso de cada constituyente correspondiente a 1 equivalente gramo va a variar entre ellos. Así, el peso de 1 equivalente gramo de CaCO_3 es de 50 g, mientras que el del MgCO_3 es de 42.16, es decir, que la capacidad de neutralización del MgCO_3 es 1.19 veces mayor que la del CaCO_3 (ALCARDE, 2005).

El mismo autor señala que de este modo, para determinar la capacidad o poder de neutralización (PN) de una caliza, deben sumarse las capacidades de neutralización de cada constituyente:

$$E_{\text{CaCO}_3} = (\% \text{CaCO}_3 \times 1.00) + (\% \text{MgCO}_3 \times 1.19) \text{ ó}$$

$$E_{\text{CaCO}_3} = (\% \text{CaO} \times 1.79) + (\% \text{MgO} \times 2.48)$$

Cuando una piedra caliza molida es incorporada al suelo su reacción esta en relación con el tamaño de las partículas; si son finas más rápida será

su reacción y si son más gruesas la reacción será más lenta (MALAVOLTA y VIOLANTE NETTO (1989). En este sentido, la literatura brasileña considera que el 100% del material deberá pasar por una malla de 2 mm, el 70% por la malla de 0.84 mm y el 50% por la malla de 0.3 mm.

De esta manera, el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) va a depender del Poder de Neutralización (PN) y de la Reactividad (RE) del producto:

$$\text{PRNT} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100}$$

El valor de RE es determinado por la suma de los productos de cada fracción granulométrica por su eficiencia relativa que es de 0 para las fracciones mayores de 2 mm, de 20 para las fracciones retenidas en la malla de 0.84, de 60 para las fracciones retenidas en la malla de 0.3 mm y de 100 para las fracciones menores.

Reacciones de neutralización

Las reacciones que ocurren en el suelo luego de la aplicación de las calizas se pueden representar de la siguiente manera:



Los carbonatos en contacto con el suelo húmedo reacciona para dar como productos finales: CO_2 , H_2 , Ca^{+2} , Mg^{+2} . El calcio que se encuentra en la solución suelo en alta concentración, desplazará al Al^{+3} intercambiable de los coloides del suelo. El Al^{+3} en la solución se hidroliza hasta llegar al $\text{Al}(\text{OH})_3$ que

tiene una solubilidad muy baja y por esta razón se precipita separándose así del sistema (BUCKMAN y BRADY, 1985).

El Ca^{2+} desplaza al Al^{3+} del complejo de cambio, que sufre hidrólisis y libera los protones (H^+) mientras que el anión CO_3^- reacciona con el agua para formar los hidroxilos (OH^-) que son los que van formar H_2O con los protones y a precipitar al Al como gibsita.

2.5 Respuesta de los cultivos al encalado

En soya, altas respuestas al encalado, fueron obtenidas en oxisoles brasileiros cuando la saturación de Al^{+3} fue mayor de 50%. Similares resultados se obtuvieron en Puerto Rico. En maíz, máximos rendimientos fueron obtenidos en Nigeria cuando la saturación de Al^{+3} fue de 20% en un ultisol, mientras que en trigo, las mayores respuestas en rendimiento fueron obtenidas por el encalado donde la saturación de Al^{+3} fue de 15%. Rangos de encalado de 8.5 t ha^{-1} , fueron adecuados en los oxisoles arcillosos, para máximos rendimientos de trigo (KAMPRATH, 1967).

En una evaluación de 7 variedades de caupi con y sin aplicación de dolomita, el mayor rendimiento en la producción de grano se obtuvo con la Variedad Vita-7 (749 kg ha^{-1}) con 4 t ha^{-1} de dolomita, siendo la producción mas baja en la variedad Black-eye con 296 kg ha^{-1} de grano, sin aplicación de dolomita (AREVALO, 1986).

En una secuencia de dos cultivos, arroz-soya, el efecto de la dolomita se expresó favorablemente en el segundo cultivo de la secuencia (soya) mostrando este cultivo una mayor dependencia por el encalado; el primer

cultivo de la secuencia (arroz) fue indiferente a su aplicación (SANCHEZ, 1995).

DEL VALLE (1974) en un ex cocal de Tingo María evaluó el efecto residual de 7 niveles de cal con 80% de pureza, en el rendimiento de maíz de la variedad Cuban Yellow. Sus resultados mostraron que el pH inicial del suelo (relación suelo:agua 1:2) que fuera de 5.0 fue elevado hasta 6.1 con 9 t ha⁻¹ de cal y que con 4.5 t ha⁻¹ de cal el pH alcanzado fue de 5.6, valor considerado crítico para la neutralización del Al cambiante y soluble. Los rendimientos alcanzados variaron de 1,414 kg ha⁻¹ en el testigo hasta 4,377 en el tratamiento con 9 t ha⁻¹ de cal, mientras que con 4.5 t ha⁻¹ de cal el rendimiento alcanzado fue de 4,142 kg ha⁻¹. Significa pues que, después de alcanzado el pH de 5.6 los incrementos en el rendimiento no tuvieron significación.

2.6 Material calcareo de la provincia de Leoncio Prado

Geomorfológicamente, la zona prospectada en los alrededores de Tingo María se ubica en una cota de 800 msnm con remanentes de valles en forma de U. Las rocas predominantes son calizas de la formación Pucará, constituida mayormente por plegamientos sedimentarios con presencia de CaO y MgO de alta pureza, así como de rocas silicosas. Presentan alta permeabilidad debido a los acarreos de tipo hidrotermal que se depositan en fracturas de algunos sedimentos, formando afloramientos de rellenos de carbonatos y rocas silicosas. Las dolomitas se han formado como sedimentos primarios. En otros casos tuvo lugar la dolomitación de depósitos antes sedimentados de carbonato de calcio. Presentan una textura rocosa cristalina, diferentes en dureza y densidad, de color gris debido a impurezas, se presenta también en

color perla y en algunos casos blanca; su dureza aproximada es de 3.8 en la escala de Mohs y un peso específico de 2.75 a 2.90 g cm⁻³ (Hurlbut y Cornelius, 1978, citado por ARÉVALO, 1986)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Campo experimental

3.1.1 Ubicación

El trabajo se ejecutó en el sector "Las Lomas" del centro poblado de Afilador, Tingo María, provincia de Leoncio Prado, Huánuco y coordenadas UTM 0391243 m Este y 8969300 m Norte a una altitud de 747 m.s.n.m.

3.1.2 Condiciones climáticas

Se observa en el Cuadro 1, que la temperatura varió de 24.36 °C en febrero a 25.65 °C en el mes de noviembre, mientras que las precipitaciones variaron de 106 mm en el mes de junio hasta 608.42 en el mes de febrero.

Cuadro 1. Datos climáticos correspondiente al periodo experimental (setiembre 2007 - junio 2008).

Meses	Temperatura (°C)			HR (%)	Precipitac. pluvial(mm)	Horas sol
	Mínima	Máxima	Media			
Septiembre	19.46	30,75	25.11	82.20	136.20	184.00
Octubre	20.26	30.15	25.21	82.90	304.00	133.00
Noviembre	21.06	30.24	25.65	81.10	314.25	143.00
Diciembre	20.86	30.03	25.45	83.60	564.40	124.00
Enero	20.87	28.81	24.84	84.70	501.92	97.20
Febrero	20.58	28.13	24.36	88.21	608.42	67.30
Marzo	20.40	28.30	24.37	88.54	400.45	74.10
Abril	20.86	29.66	25.26	85.16	232.38	141.70
Mayo	20.19	29.23	24.70	84.00	116.00	154.30
Junio	19.75	29.11	24.40	86.00	106.00	167.00

Fuente: Estación Meteorológica "José Abelardo Quiñones", Tingo María.

3.1.3 Características del suelo

El experimento fue instalado en un área de topografía inclinada con pendiente aproximada de 20% y vegetación dominante de “macorilla”, “cashaucsha” o “quillo” y plantas de coca, consideradas indicadoras de suelos ácidos de baja fertilidad.

Cuadro 2. Análisis de caracterización del suelo experimental

Característica	Valor	Método
Análisis físico		
Arena (%)	48.0	
Limo (%)	25.0	Hidrómetro-Bouyoucos
Arcilla (%)	27.0	
Clase Textural (%)	Fo.Ar.Ao.	Triángulo textural
Análisis químico		
pH (en H ₂ O, relación 1:1)	4.2	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	3.0	Walkley – Black
Nitrógeno total (%)	0.14	% N = % M.O * 0.045
Fósforo disponible (ppm P)	9.5	Olsen modificado
Potasio disponible (kg/ha K ₂ O)	230.0	H ₂ SO ₄ 6N
CIC _e (meq./100 g suelo)	7.10	KCl 1N
Ca (meq./100 g suelo)	1.70	EDTA (Versenato)
Mg (meq./100 g suelo)	0.50	EDTA (Versenato)
Al (meq./100 g suelo)	3.30	Método de Yuan
H (meq./100 g suelo)	1.60	Método de Yuan
Bases cambiables (%)	30.99	BC / CIC _e x 100
Acidez cambiabile (%)	69.01	AC / CIC _e x 100

Fuente: Laboratorio de Suelos UNAS - Tingo María 2007.

Los análisis físico-químicos del suelo que se presentan en el Cuadro 2, mostraron una textura fina, muy fuertemente ácido con muy alta saturación de acidez cambiante, con contenido medio de materia orgánica y N total, medio en P disponible y bajo en K disponible. La relación Ca/Mg presenta un valor bajo, lo que significa un bajo contenido de Ca cambiante.

3.2. Características de los materiales encalantes

Los materiales encalantes fueron analizados antes del período experimental como labor de prácticas preprofesionales. Las características se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características físico químicas de los materiales encalantes de cada cantera.

Cantera	% CaCO ₃	% CaO	% MgO	Ca/Mg	Diámetro de partículas (%)	
					0 - 1 mm	1 - 2 mm
Quiroz	113.12	29.61	24.17	1.23	80	20
Fernández	114.10	28.70	25.20	1.14	50	50
Venegas	120.78	31.17	26.12	1.19	40	60
Abad	120.48	61.60	4.33	14.23	20	80
Espejo	114.23	29.40	24.76	1.18	85	15

Fuente: Laboratorio de Suelos UNAS.

3.3. Componentes en estudio

Canteras de material encalante (A)

a_1 = Cantera Quiroz

a_2 = Cantera Fernández

a_3 = Cantera Venegas

a_4 = Cantera Abad

a_5 = Cantera Espejo

Niveles de los materiales encalantes (B)

b_1 = 3 t ha⁻¹

b_2 = 6 t ha⁻¹

b_3 = 9 t ha⁻¹

b_4 = 12 t ha⁻¹

3.4 Tratamientos en estudio

Los tratamientos son detallados en el Cuadro 4.

3.5. Diseño experimental

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial 5A x 4B más un testigo, con 3 bloques.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos en estudio

Claves	Tratamientos	Material encalante	Nivel (t ha ⁻¹)
T ₁	a ₁ b ₁	Cantera de Quiroz	3
T ₂	a ₁ b ₂	Cantera de Quiroz	6
T ₃	a ₁ b ₃	Cantera de Quiroz	9
T ₄	a ₁ b ₄	Cantera de Quiroz	12
T ₅	a ₂ b ₁	Cantera de Fernández	3
T ₆	a ₂ b ₂	Cantera de Fernández	6
T ₇	a ₂ b ₃	Cantera de Fernández	9
T ₈	a ₂ b ₄	Cantera de Fernández	12
T ₉	a ₃ b ₁	Cantera de Venegas	3
T ₁₀	a ₃ b ₂	Cantera de Venegas	6
T ₁₁	a ₃ b ₃	Cantera de Venegas	9
T ₁₂	a ₃ b ₄	Cantera de Venegas	12
T ₁₃	a ₄ b ₁	Cantera de Abad	3
T ₁₄	a ₄ b ₂	Cantera de Abad	6
T ₁₅	a ₄ b ₃	Cantera de Abad	9
T ₁₆	a ₄ b ₄	Cantera de Abad	12
T ₁₇	a ₅ b ₁	Cantera de Espejo	3
T ₁₈	a ₅ b ₁	Cantera de Espejo	6
T ₁₉	a ₅ b ₁	Cantera de Espejo	9
T ₂₀	a ₅ b ₁	Cantera de Espejo	12
T ₂₁	Testigo	Testigo	Sin aplicación

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varphi_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente al k-ésimo bloque al que se le aplicó el i-ésimo nivel del factor canteras, con el j-ésimo nivel del factor dosis del material encalante.

- μ = Efecto de la media general
- α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor canteras.
- β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor dosis del material encalante.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor canteras con j-ésimo nivel del factor dosis del material encalante.
- ϕ_k = Efecto del k-ésimo bloque.
- ϵ_{ijk} = Es la variación del error asociado con las ijk unidades.

Para:

$i = 1, 2, 3, 4, 5$ niveles del factor canteras.

$j = 1, 2, 3, 4$ niveles del factor dosis del material encalante.

$k = 1, 2, 3$ bloques.

Análisis de variancia

Cuadro 5. Esquema del análisis de variancia.

Fuente de variación	GL
Bloques	2
Tratamientos	20
Factorial	19
A (canteras)	4
B (dosis)	3
A x B	12
Factorial vs testigo	1
Error experimental	40
Total	62

3.6. Características del campo experimental

Dimensiones del terreno

Ancho	19.80 m
Largo	26.60 m
Área total	526.68 m ²

Bloques

Número de bloques	3
Largo de bloques	37.80 m
Ancho de bloques	3.60 m
Área de bloques	136.08 m ²

Parcelas

Número de parcelas/bloque	21
Largo de parcelas	3.60 m
Ancho de parcelas	1.80 m
Área de parcelas	6.48 m ²

Para el maíz

Número de golpes/hilera	6
Número de hileras/parcela	4
Número de golpes/parcela	24
Distanciamiento entre golpes	0.30 m
Distanciamiento entre hileras	0.90 m

Para el arroz

Número de golpes/hilera	6
Número de hileras/parcela	11

Número de golpes/parcela	66
Distanciamiento entre golpes	0.30 m
Distanciamiento entre hileras	0.30 m

3.7. Ejecución del experimento

3.7.1. Preparación del estiércol de vacuno

El estiércol de vacuno procedió de la granja Tulumayo, de 3 meses de descomposición, semi húmedo, que se colocó bajo techo en el lugar de experimentación en Afilador para su secado por 15 días y luego se procedió a mullirlo. Posteriormente se aplicó 5 kilos a cada unidad experimental (parcela), equivalente a 8 t ha^{-1} .

3.7.2. Preparación de los fertilizantes

Para el maíz se aplicó la fórmula 100 – 86 - 74 y para el arroz 160 – 147 - 147, aplicándose los fertilizantes úrea (46% N), superfosfato triple (46% P_2O_5) y cloruro de potasio (60% K_2O).

3.7.3. Obtención y preparación del material encalante

El material encalante obtenido de cada cantera fue tamizado con malla de 2 mm y luego de realizados los análisis químicos se calcularon las cantidades de material encalante para cada parcela. El poder de neutralización (PN) de las calizas se determinó mediante la fórmula propuesta por ALCARDE (1986):

$$E_{\text{CO}_3\text{Ca}} = \% \text{CaO} \times 1.79 + \% \text{MgO} \times 2.48.$$

Los coeficientes 1.79 y 2.48 resultan de la división del peso molecular del CaCO_3 (100) entre el peso molecular de los óxidos de Ca y Mg, respectivamente.

3.7.4. Preparación del terreno

Una vez ubicado el terreno se procedió a su deshierbo con moto guadaña, limpieza y confección de las curvas a nivel, delimitándose luego las parcelas de cada bloque. Luego, a toda el área se aplicó estiércol de vacuno (5 kg/parcela; 8 t ha⁻¹) y el material encalante según los tratamientos, para posteriormente incorporarlos con el azadón a una profundidad de 5 cm. Luego de una semana se procedió a la siembra del maíz.

3.7.5. Labores culturales

Siembra: el maíz fue sembrado con tacarpo, 3 semillas/golpe a un distanciamiento de 30 x 90 cm, y luego del deshije se dejaron 2 plantas/golpe. El arroz se sembró sin remoción del terreno luego de extraer las plantas de maíz, cortándolas al ras del suelo; se sembraron 6 semillas/golpe dejando luego del deshije 3 plantas/golpe, a un distanciamiento de siembra de 30 x 30 cm.

Aporque: sólo para el caso del maíz, se realizaron dos aporques, el primero a los 30 días de la siembra, cuando las plantas tenían 60 – 70 cm de altura y el segundo a los dos meses, cuando alcanzaron una altura promedio de 1.5 m para darle mayor sostén a la planta y no se acame.

Fertilización: la fertilización se realizó manualmente y entre golpe y golpe del maíz y arroz. Con respecto al nitrógeno se aplicó fraccionado, en dos oportunidades, antes de los aporques en el caso del maíz. Para el arroz, los fertilizantes se aplicaron una sola vez, a los 30 días de la siembra. La fertilización se hizo a todos los tratamientos.

Cosecha: la cosecha del maíz se realizó a los 110 días de la siembra y el arroz a los 145 días.

3.8. Evaluaciones a registrar para el maíz y arroz

Fecha de siembra

La siembra del maíz se realizó el 28 septiembre 2007 y del arroz el 19 de enero de 2008.

Porcentaje de emergencia

Se registró la fecha de emergencia del maíz que fue el 10 octubre 2007 (12 días) y el porcentaje fue de 85% y del arroz el 5 de febrero 2008 (16 días), que fue de 50%, por lo que se tuvo que resembrar.

Fecha de inicio de floración

Se registró como inicio de floración para el maíz el 01 diciembre 2007 (63 días) y para el arroz el 15 mayo 2008 (116 días), cuando aproximadamente el 50% de plantas presentaron flores.

Fecha de inicio de fructificación

Se registró el inicio de fructificación para el maíz que fue el 15 diciembre 2007 y para el arroz el 25 mayo 2008, cuando aproximadamente el 50% de plantas presentaron frutos.

Fecha de maduración

Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas llegaron a su madurez fisiológica, el 28 septiembre 2007 (95 días) para el maíz y el 30 diciembre 2007 (130 días), para el arroz.

3.9. Evaluación de parámetros biométricos

Altura de planta del maíz y arroz

La altura se midió desde el suelo hasta el ápice de la hoja más alta de 8 plantas. En maíz, las evaluaciones se realizaron desde la emergencia hasta la fructificación cada 15 días hasta los 78 días después de la siembra. En arroz, la altura se tomó en la cuarta evaluación, a los 97 días de la siembra.

Diámetro del tallo del maíz

El diámetro fue medido en la base del tallo (cuello de la planta) con la utilización de un vernier digital. Las evaluaciones se realizaron cada 15 días.

Rendimiento de grano

Se obtuvo de la cosecha total de cada parcela, el cual se corrigió al 14% de humedad para luego expresarlo en kg ha^{-1} .

Materia seca de la planta de maíz y arroz

Se recolectó las muestras del campo, parte aérea y raíz, y se pesó para obtener el peso fresco, se lavó la parte aérea y se colocó en la estufa a 60°C por 48 horas para determinar el peso seco. Para el análisis estadístico se consideró el peso promedio de 3 plantas.

Análisis del suelo inicial y final del cultivo de maíz y arroz

Se realizó el análisis de caracterización del suelo al inicio y al final del experimento, tomando muestras al azar de cada parcela a 0 – 20 cm de profundidad.

Determinación de las propiedades químicas del suelo

Se comparó los análisis de suelos inicial y final con respecto a la CICE, al porcentaje de saturación del aluminio, al porcentaje de acidez cambiante, calcio y magnesio cambiables y pH.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características químicas del suelo: pH y porcentaje de acidez cambiante

4.1.1 pH

Variaciones del pH durante los cultivos secuenciales

El pH de los suelos fueron determinados antes de la instalación del primer cultivo (maíz), al final del primer cultivo y al final del segundo cultivo (arroz). La Figura 1 muestra las variaciones producidas en el pH de las parcelas durante las fases del experimento.

Observando el Cuadro 3 y Figura 1, vemos que el pH inicial de 4.2 en el tratamiento testigo bajó a 4.0 luego del cultivo de maíz (130 días) y a 3.7 luego del cultivo de arroz (330 días), confirmando que el proceso de acidificación progresiva es un proceso natural y que es acelerado por su explotación agrícola y lixiviación al producirse una desbasificación del complejo de cambio por el consumo de bases por los cultivos (FASSBENDER, 1970), aun cuando también es probable que se deba parcialmente al proceso de nitrificación del fertilizante nitrogenado aplicado (TISDALE Y NELSON, 1970). Lo contrario sucede con los demás tratamientos a los cuales se les aplicó la enmienda calcárea; se observa que invariablemente, todos los demás tratamientos elevaron su pH luego del primer y segundo cultivos mostrando con ello que se produjo una neutralización que fue progresiva conforme pasó el tiempo de 133 a 330 días. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el pH no llegó a 5.5, valor

considerado como crítico para la precipitación y neutralización de la acidez cambiante (HAYNES, 1984).

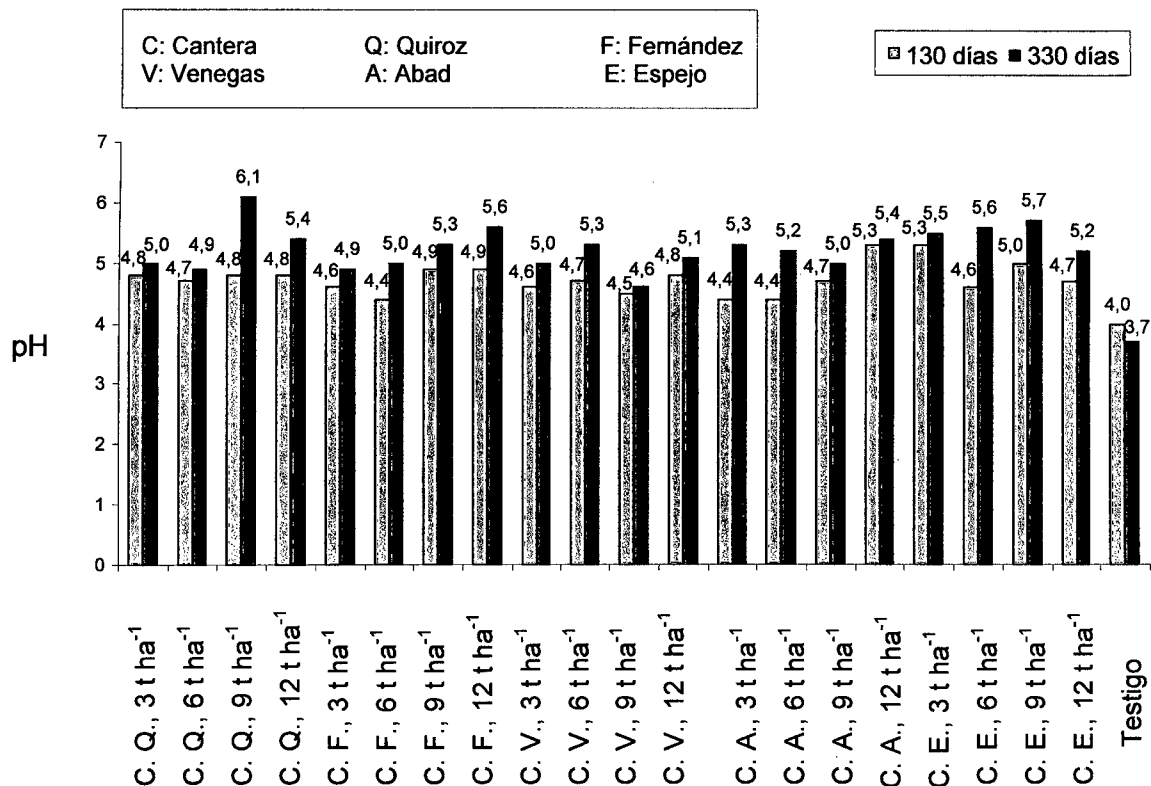


Figura 1. Variaciones en el pH del suelo después de cada cultivo secuencial, maíz y arroz.

Variaciones del pH al final del experimento

El ANVA para el pH del suelo (Cuadro 6), realizado a los 330 días después del encalado mostró diferencias significativas entre canteras y en la interacción canteras por niveles de encalado. Igualmente hubo alta significación en el combinado factorial vs. testigo. No se halló significación estadística entre bloques ni entre niveles de material encalante. El coeficiente de variabilidad se considera bajo teniendo en cuenta que se trata de un experimento en condiciones de campo.

Cuadro 6. Análisis de variancia del pH a los 330 días después del encalado.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	
Bloques	2	0.02	NS
Tratamientos	20	0.66	AS
Factorial	19	0.34	AS
A (cantera)	4	0.43	S
B (dosis)	3	0.15	NS
A x B	12	0.37	S
Factorial vs testigo	1	6.67	AS
Error experimental	40	0.14	
Total	62		

CV (%) = 7.21

S : Significativo

AS : Altamente significativo

NS : No significativo

Efecto principal de canteras

En el Cuadro 7, se observa que los valores de pH alcanzados por la aplicación de los materiales encalantes de las diversas canteras, en promedio de los cuatro niveles aplicados, variaron de 5.01 a 5.51, siendo significativamente mayores con las canteras Quiroz, Espejo, Abad y Fernández con relación a la de Venegas. Es necesario puntualizar que estos valores se alcanzaron por el encalado del suelo que inicialmente tuvo un valor de 3.7, de modo que aplicaciones de 3 a 12 t ha⁻¹ de calizas lograron incrementos de 1.3 a 1.8 unidades de pH. Sin embargo, en promedio de los niveles aplicados, sólo con la cantera de Quiroz se logró superar el valor crítico de 5.5.

Cuadro 7. Prueba de Duncan del pH a los 330 días del encalado para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo.

Material encalante	pH	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz	5.51	a
Cantera Espejo	5.38	a
Cantera Abad	5.21	a
Cantera Fernández	5.21	a
Cantera Venegas	5.01	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efectos simples

El Cuadro 8 muestra el resumen de ANVA de los efectos simples, habiéndose hallado alta significación en el efecto entre canteras en el nivel de 9 t ha⁻¹, y entre niveles en la cantera Quiroz, efectos simples que serán discutidos posteriormente y que se presentan en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 8. Prueba de los efectos simples del pH a los 330 días del encalado.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Signific.
Entre canteras, en el nivel 3 t ha ⁻¹	4	0.20	NS
Entre canteras, en el nivel 6 t ha ⁻¹	4	0.18	NS
Entre canteras, en el nivel 9 t ha ⁻¹	4	1.03	AS
Entre canteras, en el nivel 12 t ha ⁻¹	4	0.12	NS
Entre niveles, de la cantera Quiroz	3	0.91	AS
Entre niveles, de la cantera Fernández	3	0.28	NS
Entre niveles, de la cantera Venegas	3	0.24	NS
Entre niveles, de la cantera Abad	3	0.07	NS
Entre niveles, de la cantera Espejo	3	0.11	NS
Error experimental	40	0.14	

NS : No significativo

AS : Altamente significativo

Los resultados muestran que con la aplicación de 9 t ha^{-1} de encalante se obtuvo el mayor aumento del pH con las canteras Quiroz y luego Espejo (Cuadro 9) estadísticamente superiores a las demás, resultados que se deberían a la similitud que existe entre las características físico químicas del material calcáreo de estas canteras. Por otra parte, las canteras de Venegas, Abad y Fernández no llegaron a elevar el pH del suelo hasta un valor requerido para neutralizar el aluminio.

Cuadro 9. Prueba de Duncan del pH del suelo para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo en el nivel de 9 t ha^{-1} .

Tratamientos	pH	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha^{-1}	6.13	a
Cantera Espejo, 9 t ha^{-1}	5.70	a b
Cantera Fernández, 9 t ha^{-1}	5.30	b c
Cantera Abad, 9 t ha^{-1}	5.00	c d
Cantera Venegas, 9 t ha^{-1}	4.63	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

La prueba de Duncan del efecto entre niveles en la cantera Quiroz del Cuadro 10 muestra que con la aplicación de 9 t ha^{-1} de material encalante, se logró el mayor incremento del pH. En realidad, los resultados no fueron muy consistentes, ya que se esperaba que a mayor nivel de aplicación, mayor debería ser el pH alcanzado, resultados que difieren de los obtenidos por DEL VALLE (1974), que con 4.5 t de cal consiguió elevar el pH hasta 5.6 pero en este caso es necesario considerar que el pH fue medido en una relación

suelo:agua de 1:2 por lo que el pH real debería estar alrededor de 6.0 y que además, 4.5 t de cal equivaldría aproximadamente a 6 t de caliza.

Cuadro 10. Prueba de Duncan del pH del suelo para los niveles de 3, 6, 9 y 12 t ha⁻¹, con la cantera Quiroz.

Tratamientos	pH	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	6.13	a
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	5.43	b c
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	5.00	c
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	4.93	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

En el Cuadro 11 se presentan los valores de pH alcanzados por los suelos de las parcelas experimentales, luego de 330 días de efectuado el encalado. En general, cabría esperar que los valores alcanzados estuvieran en relación directa con los niveles de material encalante aplicado, independiente de las canteras, como sucedió con la cantera de Fernández, que alcanzó valores de 4.9, 5.0, 5.3 y 5.6 con aplicaciones de 3, 6, 9 y 12 t ha⁻¹ de material encalante, respectivamente, es decir, que al incrementarse los niveles de aplicación se elevaron los valores de pH. Sin embargo, como se puede apreciar en el mencionado cuadro, existe discordancia al respecto en las otras canteras, en las que no se halló relación entre los niveles de aplicación y el pH.

Así, con la cantera de Venegas se alcanzaron valores de 4.6, 5.0, 5.1 y 5.3 con aplicaciones de 9, 3, 12 y 6 t ha⁻¹ respectivamente, de material encalante, y como se aprecia, totalmente discordante. Del mismo modo, con la de Espejo, a niveles de 3, 6 y 9 t ha⁻¹, se alcanzaron incrementos más

importantes del pH, pero con 12 t ha⁻¹, el pH fue menor. Este efecto podría atribuirse a que muchas veces al hacer la incorporación de los materiales enalantes en el suelo no hay una perfecta mezcla por lo que se incurren en errores de muestreo.

Cuadro 11. Prueba de Duncan del pH por tratamientos a los 330 días después del encalado

Tratamientos	pH	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	6.10	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	5.70	a b
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	5.60	a b c
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	5.60	a b c
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	5.50	a b c
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	5.40	a b c
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	5.40	a b c
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	5.30	b c d
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	5.30	b c d
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	5.30	b c d
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	5.20	b c d
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	5.20	b c d
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	5.10	b c d
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	5.00	b c d
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	5.00	b c d
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	5.00	b c d
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	5.00	b c d
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	4.90	c d
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	4.90	c d
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	4.60	d
Testigo	3.70	e

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Por otra parte, sólo cuatro tratamientos lograron superar el valor de pH mayor de 5.5: las canteras de Quiroz y Espejo con 9 t ha^{-1} , la de Fernández con 12 t ha^{-1} y Espejo con 6 t ha^{-1} , a diferencia de DEL VALLE (1974), que la elevación del pH a 5.6 se logró con sólo 4.5 t ha^{-1} , debido posiblemente a las mejores características biológicas como es el alto contenido de materia orgánica del suelo. Sin embargo es necesario considerar que este autor utilizó cal hidratada que equivaldría a 6 t de CaCO_3 en igualdad de poder neutralizante.

4.1.2. Porcentaje de acidez cambiabile

Variaciones de la acidez cambiabile durante los cultivos secuenciales

La Figura 2 nos muestra los cambios producidos en el porcentaje de acidez cambiabile de las parcelas experimentales por efecto de la adición de los materiales encalantes al final del primer y segundo cultivo. La acidez cambiabile del suelo en el tratamiento testigo, antes de la aplicación de los materiales encalantes fue de 69.01% como se observa en el Cuadro 2, mientras que la Figura 2 muestra que al final del cultivo de maíz bajó la saturación a 64.62 y al final del experimento, se elevó nuevamente hasta 76.87%, lo que no guarda relación con la variación del pH, y que por otra parte constituye un resultado no esperado.

En los tratamientos que llevaron materiales encalantes de cualquier cantera, hubo una reducción considerable de la acidez. A los cuatro meses, después del cultivo de maíz, la acidez cambiabile bajó hasta un rango de 44,62 a 28,05 % y a los 8 meses bajó hasta sólo 6.14 con la calera Quiroz (12 t ha^{-1})

y hasta 22.56% con la calera Villegas (6 t ha⁻¹) en el peor de los casos, valor aceptable si se considera que la tolerancia del maíz a la acidez cambiabile se estima que es de 30% (SANCHEZ, 1981).

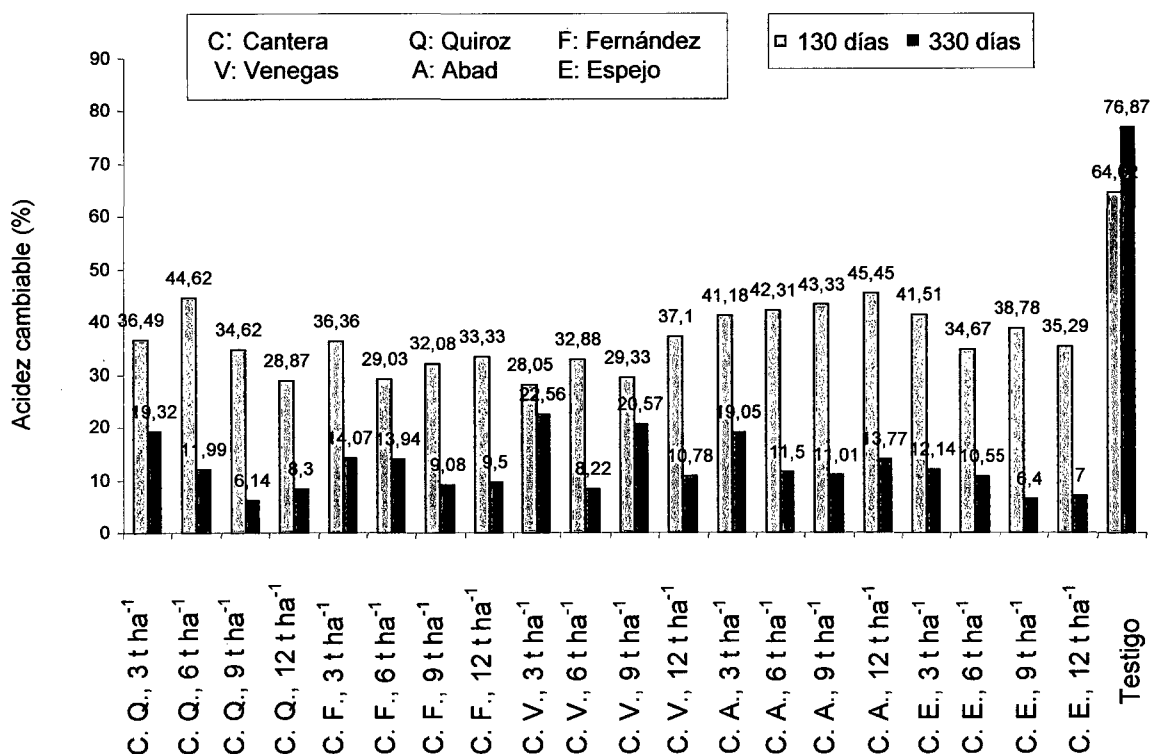


Figura 2. Variaciones del porcentaje de acidez cambiabile del suelo al final del primer y segundo cultivo.

Se observa entonces una reducción gradual de la acidez cambiabile debido a la solubilización del material calcáreo en el segundo cultivo, evidenciando un notable efecto residual.

Variación de la acidez cambiabile al final del experimento

El Cuadro 12 muestra el ANVA de la acidez cambiabile del suelo a los 330 días después del encalado, es decir, al final del experimento,

observándose alta significación estadística en el efecto principal de canteras, niveles, interacción canteras por niveles y en la combinación Factorial vs. Testigo. Las diferencias fueron tan altas que todas las fuentes de variación, con excepción del efecto de bloques, alcanzaron alta significación estadística.

Cuadro 12. Análisis de variancia para el porcentaje de acidez cambiante del suelo a los 330 días después del encalado.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Signif.
Bloques	2	20.49	NS
Tratamientos	20	660.83	AS
Factorial	19	68.69	AS
A (canteras)	4	73.74	AS
B (dosis)	3	180.10	AS
A x B	12	39.15	AS
Factorial vs testigo	1	11911.56	AS
Error experimental	40	25.22	
Total	62		

CV (%) = 32.67

NS : No significativo

AS : Altamente significativo

Efecto principal entre canteras

Del Cuadro 13 se desprende que en promedio de los niveles de aplicación, la cantera de Espejo fue la que tuvo un mayor efecto en la neutralización de la acidez cambiante, deducido por el menor porcentaje de acidez hallado en las unidades experimentales donde se aplicó el material encalante. No se encontró diferencias estadísticas significativas entre las canteras Quiroz y Fernández, que ocuparon el segundo lugar, siendo las canteras de Abad y Venegas las que tuvieron un menor efecto.

Cuadro 13. Prueba de Duncan del efecto de las canteras en el porcentaje de la acidez cambiabile del suelo.

Material encalante	%	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Abad	15.53	a
Cantera Venegas	13.83	b
Cantera Quiroz	11.65	c
Cantera Fernández	11.44	c
Cantera Espejo	9.04	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efecto principal entre niveles

En el Cuadro 14, se presentan los resultados del efecto principal entre niveles en promedio de las canteras, observándose que la neutralización de la acidez cambiabile fue mayor al incrementarse las dosis de aplicación. Sin embargo, para los niveles 12, 9 y 6 t ha⁻¹, no se encontró diferencias estadísticas significativas, pero fueron superiores al nivel de 3 t ha⁻¹.

Cuadro 14. Prueba de Duncan del porcentaje de acidez cambiabile del suelo para el efecto principal de niveles.

Niveles	%	Significación ($\alpha = 0.05$)
3 t ha ⁻¹	17.43	a
6 t ha ⁻¹	11.24	b
9 t ha ⁻¹	10.66	b
12 t ha ⁻¹	9.87	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Aun cuando no hubo significación entre los niveles antes mencionados, resulta evidente la existencia de una tendencia, ya que a mayor concentración

habrá una mayor cantidad de material soluble, por lo que las mayores dosis produjeron una mayor reducción de la acidez cambiante. La solubilidad también es influenciada por la humedad, por lo que la mayor precipitación producida durante el segundo cultivo (arroz), afectó favorablemente la acción de las calizas.

Efectos simples

En el Cuadro 15, se presenta el resumen del ANVA de los efectos simples observándose diferencias estadísticas altamente significativas entre las canteras, con la dosis de 9 t ha^{-1} , así como entre niveles en las canteras Quiroz y Venegas.

Cuadro 15. Resumen del ANVA de los efectos simples del porcentaje de acidez cambiante del suelo.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Signific.
Entre canteras, 3 t ha^{-1}	4	53.89	NS
Entre canteras, 6 t ha^{-1}	4	13.14	NS
Entre canteras, 9 t ha^{-1}	4	103.98	AS
Entre canteras, 12 t ha^{-1}	4	20.17	NS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	100.41	S
Entre niveles, cantera Fernández	3	22.29	NS
Entre niveles, cantera Venegas	3	150.78	AS
Entre niveles, cantera Abad	3	40.61	NS
Entre niveles, cantera Espejo	3	22.60	NS
Error experimental	40	25.22	

S : Significativo

AS : Altamente significativo

NS : No significativo

Similarmente a lo sucedido con el pH, también se observó diferencias estadísticas en la acidez cambiante entre canteras en el nivel de 9 t ha^{-1} , por lo que se presenta el Cuadro 16, en el que se aprecia que la cantera Venegas con 9 t ha^{-1} , sólo redujo la acidez cambiante hasta el 20.57%, siendo estadísticamente inferior a todas las demás canteras. Asimismo, la cantera Quiroz con 9 t ha^{-1} , redujo hasta 6.14% la acidez cambiante.

Cuadro 16. Prueba de Duncan del efecto simple del porcentaje de acidez cambiante producido por las canteras en el nivel de 9 t ha^{-1} .

Tratamientos	%	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Venegas, en el nivel de 9 t ha^{-1}	20.57	a
Cantera Abad, en el nivel de 9 t ha^{-1}	11.01	b
Cantera Fernández, en el nivel de 9 t ha^{-1}	9.08	b
Cantera Espejo, en el nivel de 9 t ha^{-1}	6.48	b
Cantera Quiroz, en el nivel de 9 t ha^{-1}	6.14	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Haciendo un análisis de los efectos simples de los niveles de aplicación de las canteras de Quiroz y Venegas, se aprecia en el Cuadro 17 que en términos generales, hubo una mayor reducción de la acidez cambiante por efecto del encalado, conforme se incrementaron los niveles de aplicación.

De esta manera, con la cantera Quiroz, a partir de la aplicación de 6 t de caliza se alcanzó una mayor reducción de la acidez, deducido ello de la falta de significación estadística alcanzada por los niveles de $6, 9$ y 12 t ha^{-1} . Mientras tanto, con la de Venegas lo fue a partir de 9 t ha^{-1} (falta de significación entre los niveles de 9 y 12 t ha^{-1}), lo que significaría que esta última cantera tendría

una menor capacidad de neutralización de la acidez cambiante. Sin embargo, es necesario hacer notar que para el caso del maíz, SANCHEZ (1981) considera que este cultivo puede tolerar hasta 30% de saturación de acidez cambiante, por lo que serían suficientes 3 t ha⁻¹ de cualquiera de las canteras para bajar la saturación de acidez hasta el nivel tolerable.

Cuadro 17. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) del porcentaje de acidez cambiante producido por las canteras de Quiroz y Venegas en los cuatro niveles de aplicación

Nivel (t ha ⁻¹)	Cantenas			
	Quiroz	Significación	Venegas	Significación
3	19.32	a	22.56	a
6	11.99	a b	20.57	b
9	8.30	b	10.78	c
12	6.14	b	8.22	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

En el Cuadro 18, se presenta finalmente la Prueba de Duncan de los tratamientos en estudio. En general, todos conducen a una reducción de la saturación de la acidez hasta niveles tolerables por el maíz; sin embargo, para cultivos menos tolerantes tendrían que elegirse las canteras y los niveles de aplicación más convenientes de acuerdo al presente cuadro así como tener en consideración los costos de aplicación.

Los resultados obtenidos demuestran el efecto de los materiales enalantes (cuatro dolomitas y una caliza cálcica o marga calcárea), que redujeron la acidez cambiante a menos del 10% con los mayores niveles de 6, 9 y 12 t ha⁻¹.

Se observa también que en el testigo aumentó la acidez cambiante de 69.1 % (Cuadro 2) hasta 76.87% debido probablemente a la fertilización nitrogenada y la acidificación progresiva natural (TISDALE y NELSON, 1970).

Cuadro 18. Prueba de Duncan de tratamientos del porcentaje de acidez cambiante del suelo.

Tratamientos	%	Significación ($\alpha = 0.05$)
Testigo	76.87	a
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	22.56	b
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	20.57	b c
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	19.32	b c d
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	19.05	b c d e
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	14.07	b c d e f
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	13.94	b c d e f
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	13.77	b c d e f
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	12.14	c d e f
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	11.99	c d e f
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	11.50	c d e f
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	11.01	c d e f
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	10.78	c d e f
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	10.55	c d e f
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	9.50	d e f
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	9.08	e f
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	8.30	f
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	8.22	f
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	7.00	f
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	6.48	f
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	6.14	f

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

4.2. Características biométricas de la planta de maíz

Los resultados de los análisis estadísticos de las características biométricas del cultivo de maíz se presentan en el Cuadro 19.

En él se observa que para las variables altura de planta, diámetro de tallo y rendimiento de grano se hallaron diferencias altamente significativas para las fuentes de variación canteras, dosis e interacción canteras por dosis y no significativas para el efecto de bloques y el contraste Factorial vs. Testigo.

Cuadro 19. Resumen del análisis de variancia de las características biométricas del cultivo de maíz

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios							
		Altura de planta		Diámetro tallo		Materia seca		Rendimiento de grano	
Bloques	2	331.01	NS	4.23	NS	3.54	NS	17283.43	NS
Tratamientos	20	866.68	AS	5.73	AS	10.32	AS	74386.07	AS
Factorial	19	910.07	AS	5.98	AS	8.16	AS	78111.82	AS
A (Canteras)	4	2207.21	AS	5.74	AS	2.30	NS	184019.01	AS
B (Dosis)	3	611.59	AS	7.87	AS	6.63	S	115661.77	AS
A x B	12	552.30	AS	5.59	AS	10.50	AS	33421.94	AS
Fact. vs. Testigo	1	42.34	NS	1.06	NS	51.40	AS	3596.65	NS
Error experimental	40	137.74		1.47		2.31		5369.44	
Total	62								
CV (%)		7.40		6.52		6.00		13.28	
S : Significativo		AS : Altamente significativo				NS : No significativo			

4.2.1. Altura de la planta de maíz

Efecto principal de Canteras

El Cuadro 20 muestra el efecto principal de las diferentes canteras en promedio de los niveles del material encalante aplicado. Como se observa, no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre las canteras Quiroz y Espejo, las cuales fueron superiores a las demás canteras. Asimismo, las canteras Fernández, Abad y Venegas, no fueron estadísticamente diferentes en cuanto a su efecto en el crecimiento de la planta de maíz.

Cuadro 20. Prueba de Duncan del efecto de las canteras en la altura de la planta del maíz.

Canteras	Altura (cm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz	173.75	a
Cantera Espejo	172.24	a
Cantera Fernández	151.38	b
Cantera Abad	148.95	b
Cantera Venegas	145.36	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Es muy probable que estos resultados se deban a que las canteras Quiroz y Espejo tienen un mayor porcentaje de partículas más finas (menores a 1 mm) de 80 y 85%, respectivamente, en comparación con las otras canteras que tenían granulometría más gruesa (menor de 50% de partículas más finas). La mayor proporción de partículas finas de las Canteras Quiroz y Espejo, podrían haber influenciado en una mayor disolución y acción más rápida con los constituyentes del suelo. Con respecto a los tratamientos que produjeron plantas de menor altura, las canteras Venegas y Abad presentaron menor porcentaje de partículas finas, 40 y 20% respectivamente, coincidiendo con ALCARDE (1986) y CEPEDA (1991), que indican que la eficiencia de las calizas no sólo dependen de su capacidad de neutralización sino también de la granulometría. La probable mayor eficiencia podría haberse traducido en una mejora de las características químicas y biológicas del suelo con la consecuente liberación de N, P y otros elementos, propiciando un mayor crecimiento de las plantas.

Sobre el poder neutralizante o carbonato de calcio equivalente, al parecer no hubo efecto de esta característica de las calizas ya que justamente las canteras Venegas y Abad fueron las que tenían el mayor porcentaje de carbonato de calcio equivalente, 120.78 y 120.48 respectivamente (Cuadro 3).

Efecto principal de los niveles de material encalante

El Cuadro 21 muestra que no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre los niveles 12, 6 y 9 t ha⁻¹, en promedio de las canteras, dosis que produjeron el mayor crecimiento de las plantas de maíz, en relación al nivel de 3 t ha⁻¹.

Cuadro 21. Prueba de Duncan de los niveles de caliza en la altura de la planta del maíz.

Nivel	Altura (cm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
12 t ha ⁻¹	163.26	a
6 t ha ⁻¹	162.34	a
9 t ha ⁻¹	158.45	a
3 t ha ⁻¹	149.28	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Estos resultados muestran que adiciones de caliza hasta de 12 t ha⁻¹, contribuyen a un mayor crecimiento de las plantas de maíz sin causar problemas de antagonismo con otros cationes. Ello se debería a la baja solubilidad de estos materiales, más aún considerando que se trata del primer cultivo de la rotación, tiempo probablemente insuficiente para su disolución y acción neutralizante. Sin embargo, 6 t ha⁻¹ fueron suficientes para alcanzar alturas máximas.

En realidad, estos niveles pueden ser considerablemente altos en relación al contenido de aluminio cambiante (4.9 cmol (+) / kg), aproximadamente de 1.2 a 2.4 X, donde X constituye la acidez cambiante (HAYNES, 1984).

Efectos simples

El ANVA de los efectos simples del Cuadro 22, muestra diferencias altamente significativas para el efecto entre canteras en los niveles 9 y 12 t ha⁻¹ y entre niveles en las canteras Fernández y Espejo. En la cantera Quiroz las diferencias entre niveles fueron sólo significativas.

Cuadro 22. Resumen del ANVA de los efectos simples de la altura de planta del maíz.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Sign.
Entre canteras, 3 t ha ⁻¹	4	287.36	NS
Entre canteras, 6 t ha ⁻¹	4	314.46	NS
Entre canteras, 9 t ha ⁻¹	4	2508.05	AS
Entre Canteras, 12 t ha ⁻¹	4	754.24	AS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	516.39	S
Entre niveles, cantera Fernández	3	1113.39	AS
Entre niveles, cantera Venegas	3	245.30	NS
Entre niveles, cantera Abad	3	310.67	NS
Entre niveles, cantera Espejo	3	635.06	AS
Error experimental	40	137.74	

S : Significativo AS : Altamente significativo NS : No significativo

Analizando el efecto de la aplicación de 9 y 12 t ha⁻¹ entre las cinco canteras, se observa en el Cuadro 9 que las canteras Quiroz y Espejo lograron

un mayor crecimiento en altura del maíz, sin diferencias estadísticas entre ellas, confirmando lo visto en el efecto principal entre canteras.

Cuadro 23. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) del efecto de aplicación de dos niveles de material encalante de cinco canteras en la altura de planta del maíz

Cantera	Altura de planta (cm)			
	Nivel 9 t ha ⁻¹	Sign.	Nivel 12 t ha ⁻¹	Sign.
Quiroz	191.32	a	175.34	a
Espejo	184.67	a	183.86	a b
Abad	154.99	b	157.46	b c
Venegas	133.63	c	145.29	c
Fernández	127.66	c	154.38	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

En justificación a esta igualdad de eficiencia, en el Cuadro 3 se vio que tales canteras tuvieron similares porcentajes de óxido de Ca (29.61 y 24.17) y Mg (29.4 y 24.76), respectivamente, así como de carbonato de calcio equivalente. Las canteras de Venegas y Fernández confirmaron su más baja eficiencia atribuido a su bajo porcentaje de partículas finas.

En el Cuadro 24 se presenta el efecto de los cinco niveles de aplicación de caliza de las canteras Quiroz, Fernández y Espejo, los cuales resultaron con significación estadística en el ANVA de los efectos simples del Cuadro 22. Se aprecia que con la cantera Quiroz, el mayor crecimiento del maíz se alcanzó con 9 y 12 t ha⁻¹, aun cuando con 12 t ha⁻¹ la altura fue numéricamente inferior que con la aplicación de 9 t ha⁻¹.

Cuadro 24. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) del efecto de los niveles de encalante de tres canteras en la altura de planta del maíz

Canteras	Quiróz		Fernández		Espejo	
	Altura (cm)	Sign	Altura (cm)	Sign	Altura (cm)	Sign
9 t ha ⁻¹	191.32	a	127.66	c	184.67	a
12 t ha ⁻¹	175.34	a b	154.38	b	183.86	a
6 t ha ⁻¹	167.46	b	174.53	a	165.50	a b
3 t ha ⁻¹	160.88	b	148.96	b	154.92	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Es probable que se esté produciendo un efecto de sobreencalado, aunque las diferencias no alcanzaron significación estadística. Los niveles de 3 y 6 t ha⁻¹ no fueron suficientes como para lograr cambios en las características del suelo que pudieran inducir un mayor crecimiento del maíz, como HAYNES (1984) señala que el encalado ejerce un efecto importante en la mineralización de la materia orgánica que permitirá liberar N mineral.

Con la cantera Fernández, las plantas alcanzaron mayor altura cuando se aplicó 6 t ha⁻¹ pero dichos valores fueron inferiores a los alcanzados por las otras dos canteras.

Con la cantera de Espejo, más altos crecimientos se lograron con los niveles de 6, 9 y 12 t ha⁻¹, aunque con 12 t ha⁻¹ hubo una reducción del crecimiento, pero en términos generales, el crecimiento en todos los niveles fue menor que con la cantera de Quiroz.

Con la cantera de Fernández, el maíz creció mucho menos en todos los niveles, pero a diferencia de las otras canteras, la mayor altura se obtuvo con 6

t ha⁻¹. Sin embargo, no se pueden extraer conclusiones claras debido a la poca consistencia de ellos.

En todos los casos, con la aplicación de 3 t ha⁻¹ no se alcanzó un crecimiento notorio. Al respecto, HAYNES (1984) refiere que en el suelo existen formas de Al, quizás en la forma de complejos con la materia orgánica o en intercapas de los minerales arcillosos, que no son extraíbles con la solución extractante de KCl 1N.

Cuadro 25. Prueba de Duncan de tratamientos de la altura de planta del maíz.

Tratamientos	Altura (cm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	191.32	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	184.67	a b
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	183.86	a b c
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	175.34	a b c d
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	174.53	a b c d
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	167.46	b c d e
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	165.50	b c d e
Testigo	162.18	b c d e
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	160.88	c d e
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	157.42	d e f
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	155.62	d e f g
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	154.99	d e f g
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	154.92	d e f g
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	154.38	d e f g
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	148.96	e f g h
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	148.58	e f g h
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	146.90	e f g h
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	145.29	e f g h
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	134.75	f g h
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	133.63	g h
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	127.66	h

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Finalmente, con el fin de observar el efecto de las canteras en sus diferentes niveles en comparación con el testigo, se presenta el Cuadro 25, donde se observa que no se hallaron diferencias estadísticas entre las canteras Quiroz con 9 y 12 t ha⁻¹, Espejo con 9 y 12 t ha⁻¹, y Fernández con 6 t ha⁻¹, y que fueron superiores a todos los demás tratamientos.

La ubicación del Testigo, en el octavo lugar de 21 tratamientos, en relación a los que se ubicaron posteriormente, carece de una explicación lógica, desde que no podría atribuirse a posibles antagonismos catiónicos por efecto del encalado.

4.2.2. Diámetro del tallo de la planta de maíz

Para la variable diámetro de tallo se hallaron diferencias altamente significativas para el efecto principal de canteras, niveles e interacción canteras por niveles (Cuadro 19). No se halló significación para las demás fuentes de variación.

Efecto principal de canteras

En el Cuadro 26 se muestra el efecto principal de las diferentes canteras en promedio de los niveles del material encalante aplicado. Como se observa, no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre las canteras Espejo y Quiroz, tal como sucedió en la altura de planta, las cuales fueron superiores a las demás canteras. Asimismo, las canteras de Quiroz, Abad, Venegas y Fernández, no fueron estadísticamente diferentes en cuanto a su efecto en el diámetro del tallo de la planta de maíz.

Cuadro 26. Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Venegas, Abad y Espejo, en el diámetro del tallo del maíz.

Material encalante	Diámetro (mm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo	19.67	a
Cantera Quiroz	19.04	a b
Cantera Abad	18.18	b
Cantera Venegas	18.16	b
Cantera Fernández	18.13	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Los resultados obtenidos sólo confirman lo mostrado en la altura de tallo y se justifican en igual forma, desde que resulta más importante en este experimento el efecto del tamaño de partícula en la solubilidad de la caliza, que los porcentajes de Ca y Mg contenidos en los materiales.

Efecto principal de niveles de material encalante

El Cuadro 27 muestra que no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre los niveles 6, 9 y 12 t ha⁻¹, en promedio de las canteras, dosis que produjeron el mayor diámetro de tallo de las plantas de maíz; en relación al nivel de 3 t ha⁻¹, que juntamente con el nivel de 6 t ha⁻¹, no lograron un buen desarrollo del diámetro del tallo.

Los resultados obtenidos demuestran que a mayor aplicación de material calcáreo, se incrementó la posibilidad de tener un mayor efecto de las calizas en la modificación de las propiedades del suelo que permitan una mayor disponibilidad de elementos. Asimismo, como se verá más adelante los

valores del diámetro reportados en el Cuadro 27 resultan numéricamente inferiores al del Testigo, lo que resulta poco explicable.

Cuadro 27. Prueba de Duncan de los niveles de material encalante en el diámetro de tallo de la planta del maíz.

Niveles	Diámetro (mm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
12 t ha ⁻¹	19.20	a
9 t ha ⁻¹	19.20	a
6 t ha ⁻¹	18.47	a b
3 t ha ⁻¹	17.68	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efectos simples

El resumen del ANVA de los efectos simples del Cuadro 28 mostró diferencias altamente significativas entre canteras en el nivel de 9 t ha⁻¹. En los otros niveles no hubo significación entre canteras. Por otra parte, sólo se halló diferencias estadísticas entre niveles en la cantera Quiroz.

Analizando el efecto de la aplicación de 9 t ha⁻¹ de cada una de las canteras, se observa en el Cuadro 29, que nuevamente la cantera Quiróz obtuvo el mayor valor. Del mismo modo se observa que las canteras de Venegas, Abad y Fernández ocuparon los últimos lugares, sin diferencias estadísticas entre ellas.

Analizando el efecto de los niveles de aplicación de la cantera de Quiroz del Cuadro 30, se desprende que cuando se aplicó el nivel de 9 t ha⁻¹, se obtuvo un mayor diámetro de tallo, observándose asimismo que hubo una reducción significativa del diámetro del tallo cuando se aplicó el nivel más alto.

Cuadro 28. ANVA de los efectos simples del diámetro de tallo del maíz

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Signific.
Entre canteras, 3 t ha ⁻¹	4	3.45	NS
Entre canteras, 6 t ha ⁻¹	4	1.83	NS
Entre canteras, 9 t ha ⁻¹	4	14.03	AS
Entre canteras, 12 t ha ⁻¹	4	3.19	NS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	16.30	AS
Entre niveles, cantera Fernández	3	2.81	NS
Entre niveles, cantera Venegas	3	4.49	NS
Entre niveles, cantera Abad	3	3.59	NS
Entre niveles, cantera Espejo	3	3.03	NS
Error experimental	40	1.47	

NS : No significativo

AS : Altamente significativo

Cuadro 29. Prueba de Duncan de las canteras aplicadas al nivel de 9 t ha⁻¹ en el diámetro del tallo de la planta del maíz

Tratamientos	Diámetro (mm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	22.34	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	20.32	b
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	18.32	b c
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	18.24	b c
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	16.78	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Es probable que esto se deba a efectos antagónicos entre el Ca y Mg aplicados con las canteras en relación al K , que según los análisis químicos del Cuadro 2, se encuentra en un nivel bajo.

Cuadro 30. Prueba de Duncan de los niveles de aplicación de la cantera Quiroz, en el diámetro del tallo de la planta del maíz

Tratamientos	Diámetro (mm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	22.34	a
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	18.95	b
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	17.74	b
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	17.12	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Finalmente, al igual que en el caso de la altura de planta, en el Cuadro 31 se observa que el tratamiento Testigo no fue muy diferente de los tratamientos que llevaron material encalante, y sólo la cantera de Quiroz aplicada al nivel de 9 t ha⁻¹ lo superó estadísticamente. Ello es confirmado por el resumen del ANVA del Cuadro 19, donde hubo falta de significación en la combinación Factorial vs. Testigo en las mencionadas dos características.

Tratando de explicarse estos resultados se diría que de acuerdo con la información meteorológica del Cuadro 1, la precipitación en el mes de septiembre fue la más baja con 136.20 mm, mientras que las horas de sol y la temperatura alcanzaron los valores más altos con 184 horas y 30.7°C, respectivamente.

Por tal razón, la germinación y emergencia de las plantas fueron afectadas apreciándose en el campo una germinación y emergencia desuniformes, reflejándose claramente en la evaluación de este parámetro. Es probable que ello haya influenciado en los resultados.

Del mismo modo, el hecho de que no haya diferencias entre niveles de encalado en la mayoría de canteras, podría indicar pues que el diámetro del

tallo es una característica de la especie, que es poco influenciada por factores externos.

Cuadro 31. Prueba de Duncan de los tratamientos del diámetro del tallo de la planta del maíz.

Tratamientos	Diámetro (mm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	22.34	a
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	20.73	a b
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	20.32	a b c
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	19.67	b c d
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	19.57	b c d
Testigo	19.25	b c d e
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	18.95	b c d e f
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	18.89	b c d e f
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	18.83	b c d e f
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	18.79	b c d e f
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	18.76	b c d e f
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	18.32	b c d e f
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	18.24	c d e f
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	18.11	c d e f
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	18.01	c d e f
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	17.97	c d e f
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	17.74	d e f
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	17.12	e f
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	16.91	e f
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	16.78	f
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	16.69	f

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

4.2.3. Porcentaje de materia seca de la planta de maíz.

Para este carácter (Cuadro 19), presentaron diferencias estadísticas el efecto de niveles, la interacción canteras por niveles y el contraste Factorial vs. Testigo. No alcanzó significación estadística el efecto principal entre canteras, por lo que no se presentarán los resultados obtenidos del efecto principal de canteras.

Efecto principal de niveles de material encalante

El Cuadro 32 muestra la producción de materia seca en cada nivel de material encalante aplicado, en promedio de las canteras. Se aprecia que las más altas producciones de biomasa se produjeron con los niveles de 9, 6 y 3 t ha⁻¹, sin diferencias estadísticas entre ellos. La aplicación del nivel más alto condujo a una reducción significativa de la biomasa, en relación a los niveles 9 y 6 t ha⁻¹.

Cuadro 32. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) de los niveles de material encalante en el porcentaje de materia seca de la planta del maíz.

Niveles	Mat. Seca (%)	Significación ($\alpha = 0.05$)
9 t ha ⁻¹	26.14	a
6 t ha ⁻¹	26.10	a
3 t ha ⁻¹	25.19	a b
12 t ha ⁻¹	24.81	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

De acuerdo a estos resultados se presume que para las condiciones del suelo en estudio, la dosis de 3, 6 y 9 t ha⁻¹, son las que mejor se adecuan; dosis mayores a 9 t ha⁻¹, representan menor porcentaje de materia

seca, debido aparentemente al efecto antagonista, que pudo causar una sobredosis de los materiales calcáreos, es decir, que el calcio podría inhibir la disponibilidad y asimilación del magnesio y del potasio por la planta según lo manifiestan MENGEL y KIRKBY (1987).

Efectos simples

El resumen del ANVA del Cuadro 33, muestra que se obtuvieron diferencias estadísticas entre canteras en los niveles 3, 6 y 9 t ha⁻¹, y entre niveles en las canteras Quiroz, Abad y Espejo.

Cuadro 33. ANVA de efectos simples, del porcentaje de materia seca de la planta del maíz.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Significac.
Entre canteras, en el nivel 3 t ha ⁻¹	4	6.63	S
Entre canteras, en el nivel 6 t ha ⁻¹	4	9.42	AS
Entre canteras, en el nivel 9 t ha ⁻¹	4	11.71	AS
Entre canteras, en el nivel 12 t ha ⁻¹	4	6.04	NS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	6.62	S
Entre niveles, cantera Fernández	3	4.73	NS
Entre niveles, cantera Venegas	3	6.10	NS
Entre niveles, cantera Abad	3	14.91	AS
Entre niveles, cantera Espejo	3	16.27	AS
Error experimental	40	2.31	

S : Significativo

AS : Altamente significativo

NS : No significativo

Como consecuencia de los resultados del Cuadro 33, se confeccionó el Cuadro 34, donde se observa el efecto de las diversas canteras en los niveles de 3, 6 y 9 t ha⁻¹.

Cuadro 34. Prueba de Duncan de canteras en los niveles de 3, 6 y 9 t ha⁻¹, en el porcentaje de materia seca de la planta del maíz

Cantera	Materia seca (%)					
	3 t ha ⁻¹	Sign.	6 t ha ⁻¹	Sign.	9 t ha ⁻¹	Sign.
Venegas	27.18	a	24.75	a b	23.81	c
Fernández	25.86	a b	27.16	a	24.31	b c
Espejo	25.04	a b	28.31	a	28.20	a
Quiroz	24.75	a b	26.37	a b	26.77	a b
Abad	23.14	b	23.94	b	27.62	a

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Se observa que cuando los materiales se aplicaron en los niveles de 3 y 6 t ha⁻¹ no hubo diferencias de significación entre las canteras Venegas, Fernández, Espejo y Quiroz, mientras que con 9 t ha⁻¹, Espejo, Quiroz y Abad tuvieron mejor efecto sin diferencias estadísticas entre ellas. Asimismo se observa que en los niveles de 3 y 6 t ha⁻¹, menores resultados se obtuvieron con la cantera de Abad, mejorando esta su eficiencia en el nivel de 9 t ha⁻¹.

Del mismo modo se tiene el Cuadro 35, en el que se expone los resultados del rendimiento en materia seca de las canteras Quiroz, Abad y Espejo en los diferentes niveles aplicados, interacciones que resultaron con significación estadística en el Cuadro 33. En dicho cuadro se observa que en términos generales se obtuvieron mejores resultados con las canteras Abad en

el nivel de 9 t ha⁻¹ y con la de Espejo en los niveles 9 y 12 t ha⁻¹, mientras que con la cantera Quiroz, no se encontró diferencias estadísticas significativas entre los niveles 3, 6 y 9 t ha⁻¹.

Cuadro 35. Prueba de Duncan del efecto de las canteras Quiroz, Abad y Espejo en el porcentaje de materia seca del maíz

Nivel	Canteras					
	Quiroz	Sign	Abad	Sign	Espejo	Sign
9 t ha ⁻¹	26.77	a	28.20	a	28.31	a
6 t ha ⁻¹	26.37	a	23.94	b	25.04	b
3 t ha ⁻¹	24.75	a b	23.14	b	23.28	b
12 t ha ⁻¹	23.56	b	25.49	b	27.62	a

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efectuando la Prueba de Duncan por tratamientos (Cuadro 36) se observa que a diferencia de las características altura de planta y diámetro de tallo, el porcentaje de materia seca obtenido con el tratamiento Testigo fue inferior a aquellos que llevaron material encalante. En este caso, la ubicación del Testigo resulta explicable por las condiciones poco favorables, nutricionalmente pobre del suelo en el que se condujo el experimento.

Cuadro 36. Prueba de Duncan de tratamientos en el porcentaje de materia seca de la planta del maíz.

Tratamientos	Mat. seca (%)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	28.31	a
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	28.20	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	27.62	a b
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	27.18	a b c
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	27.16	a b c
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	26.77	a b c d
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	26.72	a b c d
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	26.37	a b c d e
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	25.86	a b c d e f
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	25.49	a b c d e f
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	25.04	b c d e f
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	25.02	b c d e f
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	24.75	b c d e f
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	24.75	b c d e f
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	24.31	c d e f
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	23.94	d e f g
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	23.81	d e f g
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	23.56	e f g
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	23.28	f g
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	23.14	f g
Testigo	21.32	g

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

4.2.4. Rendimiento en grano del maíz.

Para el rendimiento del maíz (Cuadro 19), no hubo diferencias estadísticas significativas para las fuentes de variación bloques y el contraste

Factorial vs. Testigo. Las demás fuentes de variación sí presentaron diferencias estadísticas altamente significativas.

Efecto principal de canteras

En el Cuadro 37 se presenta el efecto principal de canteras en el rendimiento de grano del maíz y se observa la superioridad estadística de la cantera de Espejo sobre todas las demás. Asimismo, las canteras de Abad, Fernández y Quiroz, fueron inferiores estadísticamente.

La superioridad de la cantera Espejo se debería a su alto porcentaje de carbonato de calcio equivalente, así como al mayor porcentaje de partículas finas, los que habrían propiciado el mejoramiento de las condiciones principalmente químicas del suelo, como son una mayor mineralización y liberación de N, P y S orgánicos, paralelamente a la neutralización del Al cambiante y soluble (HAYNES, 1984), dando como resultado el mayor rendimiento en grano de maíz. Asimismo, el menor rendimiento con la cantera Quiroz se ve relacionado con su menor porcentaje de carbonato de calcio equivalente.

Cuadro 37. Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad Venegas y Espejo, en el rendimiento de grano del maíz

Material encalante	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo	759.49	a
Cantera Venegas	565.87	b
Cantera Abad	488.76	c
Cantera Fernández	476.43	c
Cantera Quiroz	460.34	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efecto principal de niveles de material encalante

El efecto principal entre niveles de material encalante se presenta en el Cuadro 38, observándose que los mayores rendimientos se alcanzaron con los niveles 6 y 9 t ha⁻¹, sin diferencias estadísticas entre estos dos niveles.

Cuadro 38. Prueba de Duncan para los niveles 3, 6, 9 y 12 t ha⁻¹, en el rendimiento de grano del maíz.

Niveles de encalado	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Significación ($\alpha = 0.05$)
6 t ha ⁻¹	641.87	a
9 t ha ⁻¹	593.58	a
12 t ha ⁻¹	525.74	b
3 t ha ⁻¹	439.53	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

El mejor efecto de estos niveles indicaría que los 4.2 me/100 g de suelo de acidez intercambiable que presenta el suelo en el que se condujo el experimento, estarían siendo neutralizados por 1.5 a 2.2X equivalentes de CaCO₃ según Kamprath, 1970, citado por HAYNES (1984).

Los rendimientos más bajos se alcanzaron con el nivel de 3 t ha⁻¹, estadísticamente inferior a los otros niveles, lo que indicaría que dicho nivel resultaría insuficiente como para neutralizar suficiente Al intercambiable que induzca a producir cambios en las características del suelo.

Por otra parte, dosis mayores a 9 t ha⁻¹, estarían ocasionando antagonismo del calcio con respecto a otros cationes como magnesio y potasio, produciendo un menor rendimiento del maíz (HAYNES, 1984).

Efectos simples

El resumen del ANVA del Cuadro 39, muestra que se obtuvieron diferencias estadísticas entre canteras en todos los niveles de aplicación, así como entre niveles en todas las canteras, con excepción de la de Fernández.

Cuadro 39. ANVA de los efectos simples en el rendimiento de grano del maíz.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Signif.
Entre canteras, 3 t ha ⁻¹	4	18301.70	S
Entre canteras, 6 t ha ⁻¹	4	70729.93	AS
Entre canteras, 9 t ha ⁻¹	4	62318.89	AS
Entre canteras, 12 t ha ⁻¹	4	132934.32	AS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	28179.40	AS
Entre niveles, cantera Fernández	3	11316.38	NS
Entre niveles, cantera Venegas	3	107623.65	AS
Entre niveles, cantera Abad	3	26108.38	AS
Entre niveles, cantera Espejo	3	76121.73	AS
Error experimental	40	5369.44	

S : Significativo AS : Altamente significativo NS : No significativo

Como consecuencia de los resultados del Cuadro 39, se presenta el Cuadro 40 del que se desprende que, en general, los menores rendimientos se alcanzaron con 3 t ha⁻¹ y que en todos los niveles la cantera de Espejo produjo los mayores rendimientos, aunque en el nivel de 6 t ha⁻¹, los rendimientos fueron estadísticamente similares a los obtenidos con la cantera de Venegas aunque numéricamente inferior.

Si bien es cierto que los efectos principales entre niveles mostraron que los mejores niveles fueron 6 y 9 t ha⁻¹, con las canteras de Abad y Quiroz los rendimientos fueron más bajos que con las otras canteras.

Cuadro 40. Prueba de Duncan de los efectos simples de canteras en cada nivel de aplicación en el rendimiento de grano de maíz.

Cantera	Niveles de material encalante (t ha ⁻¹)							
	3	Sign.	6	Sign.	9	Sign	12	Sign
Espejo	530.32	a	779.67	a	837.95	a	890.03	a
Fernández	479.47	a b	475.29	b	550.67	b	400.31	b c
Venegas	469.59	a b	825.23	a	578.63	b	390.02	c
Abad	378.26	b c	596.24	b	456.06	b	524.49	b
Quiroz	340.00	c	532.94	b	544.58	b	423.86	b c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Con 12 t ha⁻¹, los rendimientos tendieron a disminuir en las canteras Fernández, Venegas y Quiroz, sugiriendo que podría existir un efecto antagónico entre los cationes Ca y Mg en relación al K en el suelo (HAYNES, 1984; MENGEL y KIRKBY, 1987).

Con el fin de analizar el efecto de los niveles de aplicación en las canteras que resultaron con significación estadística en el Cuadro 39, se confeccionó el Cuadro 41, observándose que en el caso de la cantera Quiroz fue indiferente la aplicación de 6,9 y 12 t ha⁻¹, y que la aplicación de 3 t ha⁻¹ produjo los más bajos rendimientos. Con la de Venegas, mejores rendimientos se alcanzaron con 6 t ha⁻¹ mientras que con la de Abad lo fue con 6 y 9 t ha⁻¹. En todos los casos menores rendimientos se alcanzaron con 3 t ha⁻¹. En términos generales se diría que el nivel de 6 t ha⁻¹ fue el que en las tres canteras, Quiroz, Venegas y Abad, fue el que tuvo mejor efecto y que con 3 t ha⁻¹ los rendimientos no fueron satisfactorios.

Se confirma entonces que los 4.2 meq de acidez cambiante del suelo, serían neutralizados por 6 t de caliza ha⁻¹ y que aproximadamente

correspondería a 1.5 X según el criterio de Kamprath (1970) citado por HAYNES (1984).

Cuadro 41. Prueba de Duncan de los efectos simples de los niveles de aplicación de las canteras Quiroz, Venegas y Abad

Nivel (t ha ⁻¹)	Canteras					
	Quiroz		Venegas		Abad	
9	544.58	a	578.63	b	524.49	a b
6	532.94	a	825.23	a	596.24	a
12	423.86	a b	356.66	c	456.06	b c
3	340.00	b	469.59	b c	378.26	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Estos resultados demuestran que la aplicación de 3 t ha⁻¹ de cualquiera de las canteras fue insuficiente como para lograr cambios químicos en el suelo y producir rendimientos satisfactorios. Asimismo, muestran que el nivel de 12 t ha⁻¹, puede estar causando antagonismo entre cationes y que la dosis de 9 t ha⁻¹, es la que mejor efecto tuvo en el mejoramiento de las características del suelo y en el rendimiento del maíz.

Analizando los resultados por tratamientos, el Cuadro 42 nos muestra que tan sólo las canteras Espejo (6, 9 y 12 t ha⁻¹) y Venegas (6 t ha⁻¹) sin diferencias estadísticas entre ellos, fueron superiores al Testigo en rendimiento. Los demás tratamientos fueron similares o inferiores estadísticamente.

Resulta sorprendente las diferencias en rendimiento con los hallados por MARROQUÍN (2003) en un suelo ácido residual degradado (ex cocal) en la localidad de Shapajilla. Este autor, aplicando 4 t ha⁻¹ de estiércol de vacuno y 1 t de dolomita o caliza cálcica, obtuvo 3554 y 3477 kg ha⁻¹ con maíz Marginal 28

T, y con gallinaza y los encalantes, 5393 y 4310 kg ha⁻¹, respectivamente. Con el Testigo obtuvo 1009 kg ha⁻¹. Como se aprecia, las diferencias son bastante notorias del orden de 700 hasta 1000% y se explicarían por el mayor nivel de material orgánico aplicado.

Cuadro 42. Prueba de Duncan de tratamientos del rendimiento de grano de maíz.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Significación($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	890.03	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	837.95	a
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	825.23	a
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	779.67	a
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	596.24	b
Testigo	585.66	b
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	578.63	b
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	550.67	b c
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	544.58	b c
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	532.94	b c d
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	530.32	b c d
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	524.49	b c d
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	479.47	b c d e
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	475.29	b c d e
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	469.59	b c d e
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	456.06	b c d e
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	423.86	c d e
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	400.31	d e
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	390.02	d e
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	378.26	e
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	340.00	e

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Por otra parte, durante la conducción del presente experimento, se observó en el campo una germinación y emergencia desuniformes producto de la baja precipitación del mes de setiembre que fue 136.20 mm, reflejándose claramente en el rendimiento. Sin embargo, ello no se reflejó en el coeficiente de variación que estuvo dentro de lo normal para trabajos de campo (13.28%) como se mostró en el Cuadro 19.

4.3 Características biométricas de la planta de arroz

El resumen del ANVA de las características evaluadas en el cultivo del arroz se presenta en Cuadro 43, y muestra diferencias estadísticas significativas para tratamientos y el factorial y altamente significativo para las canteras, en lo que se refiere a altura de planta.

Cuadro 43. ANVA de la altura de planta y rendimiento del cultivo de arroz.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
		Altura planta	Rendimiento
Bloques	2	48.23 NS	131285.96 NS
Tratamientos	20	33.72 S	335034.96 AS
Factorial	19	35.48 S	351369.54 AS
A (Canteras)	4	127.33 AS	567849.40 AS
B (Dosis)	3	5.88 NS	281867.67 AS
A x B	12	12.26 NS	296585.05 AS
Factorial vs. Testigo	1	0.20 NS	24678.04 NS
Error experimental	40	15.28	45456.88
Total	62		
CV(%)		7.30	14.33

S : Significativo

AS : Altamente significativo

NS : No significativo

En cuanto al rendimiento de grano, no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre bloques ni para el contraste Factorial vs. Testigo; para las demás fuentes de variación, las diferencias estadísticas fueron altamente significativas.

4.3.1 Altura de la planta de arroz

Efecto principal de canteras

En el Cuadro 44 se presenta el efecto principal de canteras, observándose que las canteras de Espejo, Abad y Fernández fueron las que propiciaron un mayor crecimiento de las plantas de arroz, sin diferencias estadísticas entre ellas. La cantera de Quiroz fue la menos eficiente en el crecimiento en altura del arroz.

Cuadro 44. Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad Venegas y Espejo, de la altura de planta del arroz

Material encalante	Altura (cm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo	56.40	a
Cantera Abad	55.99	a
Cantera Fernández	54.47	a b
Cantera Venegas	52.50	b
Cantera Quiroz	48.41	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Si se comparan estos resultados con el crecimiento del maíz (Cuadro 20), se puede observar que la cantera de Quiroz que produjo mayor altura del maíz, en el caso del arroz no fue eficiente; las otras canteras, de

Espejo, Abad y Fernández mantuvieron su orden de eficiencia justificándose por el similar contenido de CaO y MgO de las canteras, así como por su mayor porcentaje de partículas menores a 1 mm de diámetro.

Cuadro 45. Prueba de Duncan de tratamientos de la altura de planta de arroz.

Tratamientos	Altura (cm)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	58.10	a
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	57.59	a b
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	56.95	a b c
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	56.83	a b c
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	56.83	a b c
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	56.71	a b c
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	55.88	a b c d
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	55.77	a b c d e
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	55.10	b c d e
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	54.40	c d e f
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	53.40	d e f g
Testigo	53.29	e f g
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	53.19	f g
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	53.09	f g
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	52.77	f g
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	51.19	g
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	49.63	h
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	49.23	h
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	48.99	h i
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	48.60	i
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	46.82	i

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Por otra parte, la cantera Fernández parecería haber mejorado su solubilidad y por lo tanto su efecto residual, al ocupar el tercer lugar sin diferencias significativas.

Analizando los resultados por tratamientos (Cuadro 45), se desprende que no se encontró diferencias estadísticas significativas entre las canteras Espejo con 3, 6 y 9 t ha⁻¹, Abad con 3, 6 y 12 t ha⁻¹, Fernández con 6 t ha⁻¹ y la cantera Venegas con 3 t ha⁻¹, y que fueron superiores a todos los demás tratamientos. Por otro lado, se observa que la cantera Quiroz en todos sus niveles fue estadísticamente inferior a las otras canteras, lo que se justificaría por su menor porcentaje de carbonato de calcio (104.76%). Sin embargo, ello no ocurrió en la evaluación de la altura de planta del maíz.

4.3.2 Rendimiento en grano de arroz

Los resultados de los análisis estadísticos mostrados en el Cuadro 43 mostraron diferencias altamente significativas en casi todas las fuentes de variación, con excepción del efecto de bloques y factorial vs. testigo

Resulta importante mencionar que las condiciones ambientales durante el experimento fueron muy favorables; por ejemplo, la precipitación en los meses de enero, febrero y marzo fue de 501.92, 608.42 y 400.45 mm respectivamente, efectuándose la cosecha en el mes de junio, el cual tuvo una precipitación de 106 mm.

Efecto principal entre canteras

En el Cuadro 46, se observa que no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre las canteras de Abad y Espejo, pero fueron

superiores a las demás canteras en promedio de los cuatro niveles de aplicación. Las canteras de Fernández, Quiroz y Venegas fueron inferiores estadísticamente, a las anteriormente mencionadas en cuanto al rendimiento.

Cuadro 46. Prueba de Duncan para las canteras Quiroz, Fernández, Abad, Venegas y Espejo, en el rendimiento de grano del arroz

Material encalante	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Abad	1770.68	a
Cantera Espejo	1683.34	a
Cantera Fernández	1368.06	b
Cantera Quiroz	1338.31	b
Cantera Venegas	1302.19	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

La cantera de Abad produjo el mayor rendimiento posiblemente debido a las características químicas del material calcáreo (120% de carbonato de calcio equivalente), desde que sus características físicas como el porcentaje de partículas de diámetro menor a 1mm fue de 20%, menor que las demás canteras. La cantera de Espejo ratificó su mayor eficiencia en este cultivo.

Efecto principal entre niveles

Del Cuadro 47, se deduce que se encontró diferencias estadísticas significativas entre niveles, en promedio de las canteras y fue superior la dosis de 9 t ha⁻¹ a todas las demás. Los resultados obtenidos demuestran que la dosis de 9 t ha⁻¹, fue la que mejor efecto tuvo en el mejoramiento principalmente de las condiciones químicas del suelo por lo que se obtuvo los más altos rendimientos a ese nivel, en promedio de las canteras.

Dosis mayores (12 t ha^{-1}), se presume que estaría produciendo antagonismo, mientras que las dosis menores (3 y 6 t ha^{-1}), serian insuficientes como para provocar cambios químicos sustanciales que promuevan mayores rendimientos de grano de arroz.

Cuadro 47. Prueba de Duncan para los niveles de 3 , 6 , 9 y 12 t ha^{-1} , en el rendimiento de grano del arroz.

Dosis	Rendimiento (Kg ha^{-1})	Significación ($\alpha = 0.05$)
9 t ha^{-1}	1685.02	a
12 t ha^{-1}	1487.05	b c
6 t ha^{-1}	1428.94	c
3 t ha^{-1}	1369.06	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Efectos simples

El Cuadro 48 muestra el resumen del ANVA de los efectos simples del rendimiento de grano del arroz.

Cuadro 48. ANVA de los efectos simples del rendimiento de grano del arroz.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	
Entre canteras, 3 t ha^{-1}	4	615978.04	AS
Entre canteras, 6 t ha^{-1}	4	396025.45	AS
Entre canteras, 9 t ha^{-1}	4	261114.92	AS
Entre canteras, 12 t ha^{-1}	4	184486.15	AS
Entre niveles, cantera Quiroz	3	83572.50	NS
Entre niveles, cantera Fernández	3	528165.60	AS
Entre niveles, cantera Venegas	3	73097.69	NS
Entre niveles, cantera Abad	3	220555.85	AS
Entre niveles, cantera Espejo	3	562816.23	AS
Error experimental	40	45456.88	

AS : Altamente significativo

NS : No significativo

Se observan diferencias altamente significativas entre canteras en todos los niveles estudiados, mientras que entre niveles sólo hubo alta significación en las canteras Fernández, Abad y Espejo.

En el Cuadro 49 se presentan las Pruebas de Duncan de los efectos simples de las canteras en cada uno de los niveles aplicados de material encalante.

En el nivel de 3 t ha^{-1} se aprecia que la cantera de Abad produjo el más alto rendimiento de arroz, estadísticamente superior a las otras canteras. Entre las otras canteras, las diferencias no alcanzaron significación estadística.

En el nivel de 6 t ha^{-1} , las canteras de Espejo y Abad produjeron mayores rendimientos estadísticamente sin diferencias entre ellas, mientras que con 9 t ha^{-1} el mayor rendimiento lo produjo la cantera de Espejo ocupando el segundo lugar las otras canteras sin diferencias estadísticas entre ellas. Finalmente, con 12 t ha^{-1} la cantera de Espejo compartió el primer lugar con las canteras de Abad y Fernández, aunque las rendimientos se redujeron en comparación con el nivel de 6 t ha^{-1} con las canteras Espejo y Fernández.

Resumiendo, la cantera de Espejo tuvo mejor desempeño cuando fue aplicado en los niveles de 6 a 12 t ha^{-1} , aunque con el último nivel el rendimiento alcanzado fue menor. En el caso del cultivo del maíz, esta cantera también tuvo un mejor desempeño en casi todos los niveles.

Haciendo un análisis minucioso se observa que hay resultados que resultan poco explicables. Así, si se analiza el efecto de la cantera de Abad en cada nivel, se observa que del nivel 3 donde produjo el más alto rendimiento,

en los niveles 6 y 9 t ha⁻¹ su efecto se redujo hasta el penúltimo lugar en el nivel 9 t ha⁻¹ para subir nuevamente hasta el primer lugar en el nivel 12 t ha⁻¹.

Cuadro 49. Prueba de Duncan de los efectos simples de canteras en cada nivel de aplicación en el rendimiento de grano de arroz.

Cantera	Niveles de material encalante (t ha ⁻¹)							
	3	Sign.	6	Sign.	9	Sign.	12	Sign.
Abad	2146.39	a	1718.35	a b	1498.59	b	1719.41	a
Venegas	1384.40	b	1204.96	c d	1478.18	b	1141.22	c
Espejo	1159.04	b	1858.74	a	2171.08	a	1544.51	a b
Quiroz	1116.27	b	1389.63	b c	1516.04	b	1331.31	b c
Fernández	1039.18	b	973.05	d	1761.24	b	1698.79	a b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

En el primer cultivo, como se apreció en el Cuadro 40, la cantera de Abad produjo muy bajos rendimientos en los tres primeros niveles para alcanzar el segundo lugar en el nivel de 12 t ha⁻¹.

La cantera de Venegas por su parte, aunque ocupó el segundo lugar cuando se aplicó 3 t ha⁻¹, el rendimiento fue significativamente más bajo y al incrementarse los niveles de aplicación, los rendimientos disminuyeron aún más hasta ocupar el último lugar en los niveles más altos. Algo similar ocurrió en el caso del maíz, disminuyendo los rendimientos a partir de 6 t ha⁻¹. Puede resultar probable que debido a su alto poder neutralizante de 120.78% de carbonato de calcio equivalente, esté produciendo efectos antagónicos con el K (MENGEL y KIRKBY, 1987).

En el Cuadro 50 se presentan las pruebas de Duncan del efecto de los niveles de aplicación de las canteras de Fernández, Abad y Espejo, cuyas

fuentes de variación resultaron con alta significación en el resumen del ANVA de efectos simples (Cuadro 48). En el mencionado Cuadro 50, por ejemplo, se observa que con la cantera Fernández, los rendimientos más altos se obtuvieron con el nivel de 9 t ha⁻¹, para bajar el rendimiento en el más alto nivel de aplicación. Sin embargo, no se observó una tendencia definida, sino más bien errática al incrementarse los niveles de aplicación.

Cuadro 50. Prueba de Duncan de efectos simples de los niveles de aplicación de las canteras Fernández, Abad y Espejo.

Nivel (t ha ⁻¹)	Canteras					
	Fernández	Sign.	Abad	Sign.	Espejo	Sign.
3	1039.18	b c	2146.39	a	1159.04	c
6	973.05	c	1718.35	b	1858.74	a b
9	1761.24	a	1498.59	b	2171.08	a
12	1698.79	a	1719.41	b	1544.51	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Con la cantera de Abad, fue suficiente la aplicación de 3 t ha⁻¹ de caliza para producir el mayor rendimiento. En este caso, al igual que en la cantera Fernández, no se ha podido observar ninguna tendencia al incrementar los niveles de aplicación, que sí se observó en el primer cultivo, en el cual los rendimientos disminuyeron al aplicarse dosis mayores a 6 t ha⁻¹.

En el caso de la cantera de Espejo, se observa que los rendimientos se incrementaron hasta con la aplicación de 9 t ha⁻¹, disminuyendo luego en el último nivel. Sin embargo, las diferencias obtenidas con 6 y 9 t ha⁻¹ carecieron de significación estadística.

Analizando los resultados por tratamientos (Cuadro 51), se confirma que la cantera de Espejo con 9 y 6 t ha⁻¹, fue la que produjo mayores rendimientos, al igual que la de Abad (3 t ha⁻¹) y Fernández (9 t ha⁻¹).

Cuadro 51. Prueba de Duncan para tratamientos en el rendimiento de grano del arroz.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Significación ($\alpha = 0.05$)
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	2171.08	a
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	2146.39	a b
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	1858.74	a b c
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	1761.24	a b c d
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	1719.41	b c d e
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	1718.35	c d e
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	1698.79	c d e
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	1544.51	c d e f
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	1516.04	c d e f g
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	1498.59	c d e f g
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	1478.18	c d e f g
Testigo	1399.58	d e f g h
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	1389.63	d e f g h
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	1384.40	d e f g h
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	1331.31	e f g h i
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	1204.96	f g h i
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	1159.04	f g h i
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	1141.22	f g h i
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	1116.27	g h i
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	1039.18	g h i
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	973.05	i

Tratamientos unidos por la misma letra en columnas, no tienen diferencias significativas

Los tratamientos que se ubicaron por debajo del tratamiento testigo, significa que los niveles de cada cantera resultaron insuficientes como para promover un mayor rendimiento o causaron problemas de sobreencalado. De los tratamientos que se ubicaron sobre el testigo, por otra parte, sólo justifican estadísticamente su aplicación, las canteras de Espejo con 6 y 9 t ha⁻¹, la de Abad con 3 t ha⁻¹ y Fernández con 9 t ha⁻¹.

Los resultados mostrados en el mismo cuadro, demuestran que no es necesario reducir totalmente la acidez cambiante del suelo para obtener mayores resultados en el rendimiento; ya se ha visto que con la cantera Abad con 3 t ha⁻¹, se redujo la acidez cambiante de 69.6 a 19.05, obteniéndose rendimientos de 2146.39 kg ha⁻¹, mientras que con la cantera Espejo con 9 t ha⁻¹, se redujo el porcentaje de acidez cambiante de 69.6 a 6.40 %, con rendimientos de 2171.08 kg ha⁻¹, es decir, una diferencia en kilogramos 24.69 kg, y que por lo tanto, no justifica la cantidad de material aplicado con la dosis 9 t ha⁻¹, siendo el gasto económico mayor con la cantera Espejo.

El material calcáreo de la cantera Abad, no es dolomita, sino una caliza cálcica o marga calcárea y tiene el menor porcentaje de óxido de magnesio 4.33 así como el menor porcentaje de partículas con diámetro menor a 1mm es 20%, siendo menor a los demás materiales calcáreos, pero tiene el mayor porcentaje de óxido de calcio.

4.4. Análisis de rentabilidad por tratamientos para el cultivo de maíz y arroz.

En relación al maíz, ningún tratamiento resultó económicamente rentable, situándose el testigo en posición intermedia. Como se aprecia en el Cuadro 52, en todos los tratamientos los costos de producción superaron al ingreso total, originando relaciones beneficio:costo menores a la unidad, lo que constituye pérdidas económicas. Ello se debería a que el suelo degradado donde se instaló el experimento, no reunió las condiciones mínimas como para la producción mínima de un cultivo, debido a su muy baja disponibilidad de nutrientes que no permitieron un rendimiento aceptable. En cuanto al arroz, solamente la cantera de Abad a 3 t ha^{-1} resultó económicamente rentable, con una relación beneficio : costo de 1.1, debido a la menor cantidad de aplicación y al menor precio del material encalante.

El testigo aparece en una posición intermedia debido al proceso de incorporación del material encalante con el suelo que al parecer no fue incorporado de una manera homogénea.

Cuadro 52. Análisis de rentabilidad para cada tratamiento en el cultivo de maíz.

Tratamiento	Precio de caliza/t	Costo para 1 hectárea	Costo de producción/ha	Costo total	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (S/.)	Beneficio/costo
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	270.00	3240	4635	7875	890	890	0.11
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	270.00	2430	4635	7065	837	837	0.12
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	180.00	1080	4635	5715	825	825	0.14
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	270.00	1620	4635	6255	779	779	0.12
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	180.00	1080	4635	5715	596	596	0.10
Testigo	0	0	4592	4592	585	585	0.13
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	180.00	1620	4635	6255	578	578	0.09
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	200.00	1800	4635	6435	550	550	0.09
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	200.00	1800	4635	6435	544	544	0.08
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	200.00	1200	4635	5835	532	532	0.09
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	270.00	810	4635	5445	530	530	0.10
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	180.00	2160	4635	6795	524	524	0.08
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	200.00	600	4635	5235	479	479	0.09
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	200.00	1200	4635	5835	475	475	0.08
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	180.00	540	4635	5175	469	469	0.09
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	180.00	1620	4635	6255	456	456	0.07
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	200.00	2400	4635	7035	423	423	0.06
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	200.00	2400	4635	7035	400	400	0.06
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	180.00	2160	4635	6795	390	390	0.06
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	180.00	540	4635	5175	378	378	0.07
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	200.00	600	4635	5235	340	340	0.06

Precio del maíz: S/. 1.00 (febrero 2008)

Cuadro 53. Análisis de rentabilidad para cada tratamiento en el cultivo de arroz.

Tratamientos	Precio caliza/t	Costo para 1 ha	Costo de 1 ha de producción	Costo total	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (S/.)	Beneficio/costo
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	270.00	2430	2383	4813	2171	3256.5	0.68
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	180.00	540	2383	2923	2146	3219.0	1.10
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	270.00	1620	2383	4003	1858	2787.0	0.70
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	200.00	1800	2383	4183	1761	2641.5	0.63
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	180.00	2160	2383	4543	1719	2578.5	0.57
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	180.00	1080	2383	3463	1718	2577.0	0.74
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	200.00	2400	2383	4783	1698	2547.0	0.53
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	270.00	3240	2383	5623	1544	2316.0	0.41
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	200.00	1800	2383	4183	1516	2274.0	0.54
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	180.00	1620	2383	4003	1498	2247.0	0.56
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	180.00	1620	2383	4003	1478	2217.0	0.55
Testigo	0	0	2383	2383	1399	2098,5	0.88
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	200.00	1200	2383	3583	1389	2083,5	0.58
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	180.00	540	2383	2923	1384	2076.0	0.71
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	200.00	2400	2383	4783	1331	1996,5	0.42
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	180.00	1080	2383	3463	1204	1806.0	0.52
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	270.00	810	2383	3193	1159	1738,5	0.54
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	180.00	2160	2383	4543	1141	1711,5	0.38
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	200.00	600	2383	2983	1116	1674.0	0.56
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	200.00	600	2383	2983	1039	1558,5	0.52
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	200.00	1200	2383	3583	973	1459,5	0.41

Precio del arroz : S/. 1.50 (junio 2008)

V. CONCLUSIONES

1. La cantera que tuvo mayor influencia en la modificación del pH del suelo fue la cantera de Quiroz con 9 t ha^{-1} , habiendo elevado el pH de 4 a 4.8 a los 130 días y de 4.8 a 6.1 a los 330 días.
2. Similarmente, se redujo el porcentaje de acidez cambiante de 69.01% a 34.62% a los 130 días y de 34.62% a 6.14% a los 330 días, con el mismo tratamiento.
3. Los mayores rendimientos de grano de maíz, se obtuvieron con la cantera Espejo con 12 t ha^{-1} ($890.03 \text{ kg ha}^{-1}$), 9 t ha^{-1} ($837.95 \text{ kg ha}^{-1}$) y 6 t ha^{-1} ($779.67 \text{ kg ha}^{-1}$) y Venegas con el nivel de 6 t ha^{-1} ($825.23 \text{ kg ha}^{-1}$).
4. Las mayores producciones de arroz se obtuvieron con la cantera Espejo con 9 t ha^{-1} ($2171.08 \text{ kg ha}^{-1}$) y 6 t ha^{-1} ($1858.74 \text{ kg ha}^{-1}$), Abad con 3 t ha^{-1} ($2146.39 \text{ kg ha}^{-1}$) y Fernández con 9 t ha^{-1} ($1761.24 \text{ kg ha}^{-1}$).
5. El análisis económico demostró que para la producción de maíz, no hubo tratamiento económicamente rentable, y para la producción de arroz el único tratamiento rentable fue con la cantera Abad con 3 t ha^{-1} , obteniendo una relación beneficio:costo de 1.10.

VI. RECOMENDACIONES

1. Repetir el experimento con los tratamientos que mejores resultados se obtuvieron.
2. Tener en cuenta que las canteras con material calcáreo (dolomita) son la cantera Quiroz, Fernández, Venegas y Espejo. Por lo tanto, en las comparaciones definir mejor el material calcáreo para la investigación.
3. Efectuar ensayos con menores dosis, por la falta de rentabilidad con las dosis empleadas, tanto para el cultivo de maíz como para el arroz.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, R. 1984. Evaluación del efecto de enmiendas y fuentes de fósforo en suelos ácidos de Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 79 p.
2. ALCARDE, J. 1986. Produtos utilizados para a correcao da acidez dos solos. Informacoes agronómicas. Nº 34. Jan. POTAFOS. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potasa e do Fosfato. Brasil. 14 p.
3. ALCARDE, J. 2005. Corretivos da acidez dos solos. Caracteristicas e interpretacoes técnicas. Boletim técnico Nº 6. ANDA. Associacao Nacional para difusao de adubos. Sao Pauló. Nov. 24 p. En línea: www.anda.org.br.
4. ARÉVALO, J. 1986. Efecto de la dolomita en el comportamiento de siete variedades de caupi en condiciones de acidez. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 121p.
5. BUCKMAN, H. y BRADY, N.,1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. R. Salor, Barcelona, UTEHA. España. 590 p.
6. CABREJOS, O. 1978. Efecto del encalado y abonamiento con nitrógeno y magnesio, sobre el rendimiento y absorción de nutrientes por el maíz. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 101 p.
7. CEPEDA, J. 1991. Química de suelos. 2ª edición. Edit. Trillas. México. 168 p.

8. COLEMAN, N. and THOMAS, G. 1967. The basic chemistry of soil acidity. In: Soil acidity and liming. Pearson, R. and Adams, F. Monograph 12. A.S.A. Mad. Wisc. USA. 44 pp.
9. DEL VALLE, L. 1974. Efecto residual de siete niveles de cal en el rendimiento de maíz vr. Cuban Yellow, como segundo cultivo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 95 p.
10. HUANG, W. 1990. Aluminium effects on calcium uptake in Al-Sensitive and Al-Tolerant wheat varieties. USDA-ARS and Cornell Univer. American Society of Agronomy. USA. 270 p.
11. MALAVOLTA, E. y VIOLANTE NETTO, A. 1989. Nutricao mineral, calagem, gessagem e adubacao dos citros. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. Sao Paulo. 153 p.
12. MENGEL, K. y KIRKBY, E. 1987. Principios de nutrición vegetal. Traducido por Melgar, R. y Ruiz, M. Cuarta edición. Brinkmann, Mulhouse, Francia. 605 p
13. KAMPRATH, E. 1967. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. International soil testing. Boletín técnico N° 4. 22 p.
14. MARROQUIN, L. 2003. Efecto de dos materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en siembra directa en un suelo ácido". Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 122 pp.
15. PAREDES, R. 1990. Efecto de la dolomita, fuentes de fósforo y micorriza VAN en la nutrición y crecimiento de la soya (*Glycine max* L. Merrill) en un suelo ácido. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 97 p.

16. SÁNCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico. IICA. San José de Costa Rica. 707 pp.
17. SÁNCHEZ, R. 1995. Efecto del encalado y fuentes de materia orgánica en el rendimiento de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) de un año de instalado. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria. Perú. 117 p.

VIII. ANEXO

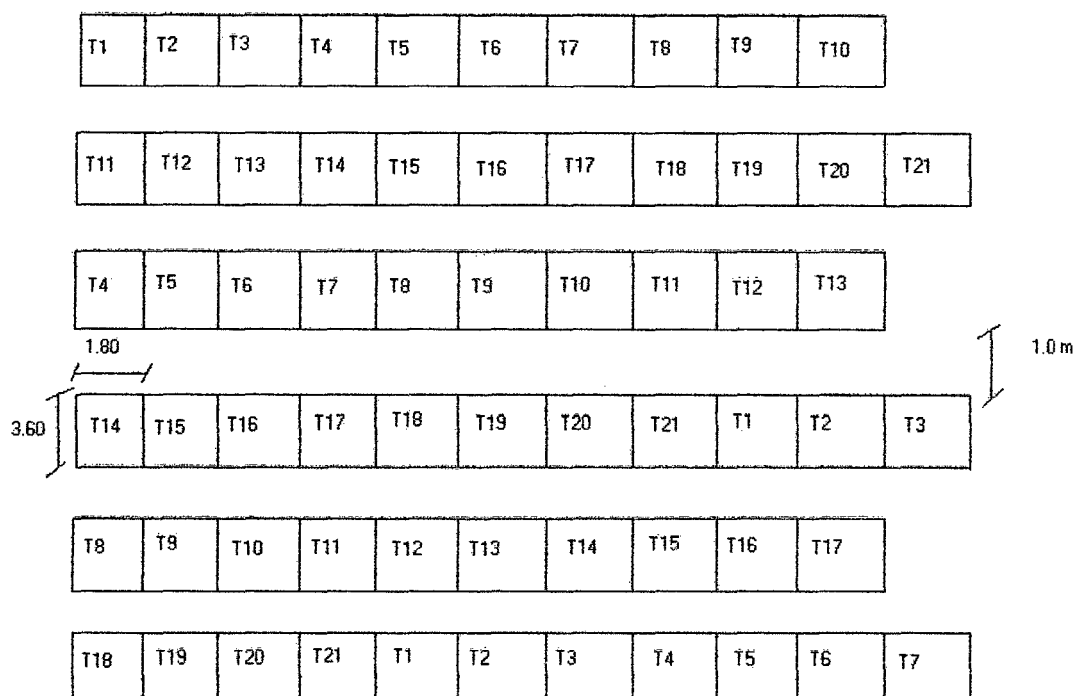


Figura 3. Disposición experimental de los tratamientos

Cuadro 54. Comparación de los tratamientos, rendimiento, pH, el porcentaje de la acidez cambiante, el porcentaje de la saturación de aluminio y la relación calcio magnesio, en el cultivo de maíz.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	pH		Acidez cambiante (%)		Saturación de aluminio (%)		Ca/Mg
		130 días	330 días	130 días	330 días	130 días	330 días	
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	890.03	4,7	5,2	35,29	7,00	27,27	7,77	1,18
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	837.95	5,0	5,7	38,78	6,40	24,32	12,88	1,18
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	825.23	4,7	5,3	32,88	8,22	29,09	8,81	1,19
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	779.67	4,6	5,6	34,67	10,55	26,92	4,77	1,18
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	596.24	4,4	5,2	42,31	11,30	22,58	10,84	14,23
Testigo	585.66	4,0	3,7	64,62	76,87	29,03	8,44	0
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	578.63	4,5	4,6	29,33	20,57	21,33	14,96	1,19
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	550.67	4,9	5,3	32,08	9,08	20,00	6,22	1,14
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	544.58	4,8	6,1	34,62	6,14	23,68	18,46	1,23
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	532.94	4,7	4,9	44,62	11,99	27,94	12,93	1,23
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	530.32	5,2	5,5	41,51	12,14	30,19	8,83	1,18
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	524.49	5,3	5,4	45,45	13,77	27,27	10,55	14,23
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	479.47	4,6	4,9	36,36	14,07	25,00	4,96	1,14
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	475.29	4,4	5,0	29,03	13,94	40,00	47,58	1,14
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	469.59	4,6	5,0	28,05	22,56	34,62	9,41	1,19
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	456.06	4,7	5,0	43,33	11,01	21,92	5,48	14,23
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	423.86	4,8	5,4	28,87	8,30	36,67	9,32	1,23
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	400.31	4,9	5,6	33,33	9,50	22,64	6,41	1,14
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	390.02	4,8	5,1	37,10	10,78	24,00	7,30	1,19
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	378.26	4,4	5,3	41,18	19,05	29,23	7,85	14,23
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	340.00	4,8	5,0	36,49	19,32	23,53	4,10	1,23

Cuadro 55. Comparación de los tratamientos, rendimiento, pH, el porcentaje de la acidez cambiante, el porcentaje de la saturación de aluminio y la relación calcio magnesio, en el cultivo de arroz.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	pH inicial 4,0		Acidez cambiante %		Saturación de aluminio %		Ca Mg ⁻¹
		130 días	330 días	130 días	330 días	130 días	330 días	
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	2171.08	5,0	5,7	38,78	6,48	23,53	4,1	1,18
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	2146.39	4,4	5,3	41,18	19,05	27,94	12,93	14,23
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	1858.74	4,6	5,6	34,67	10,55	24	7,3	1,18
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	1761.24	4,9	5,3	32,08	9,08	22,64	6,41	1,14
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	1719.41	5,3	5,4	45,45	13,77	29,09	8,81	14,23
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	1718.35	4,4	5,2	42,31	11,50	34,62	9,41	14,23
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	1698.79	4,9	5,6	33,33	9,50	27,27	7,77	1,14
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	1544.51	4,7	5,2	35,29	7,00	25	4,96	1,18
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	1516.04	4,8	6,1	34,62	6,14	26,92	4,77	1,23
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	1498.59	4,7	5,0	43,33	11,01	36,67	9,32	14,23
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	1478.18	4,5	4,6	29,33	20,57	21,33	14,96	1,19
Testigo	1399.58	4,0	3,7	64,62	76,87	40	47,58	0
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	1389.63	4,7	4,9	44,62	11,99	29,23	7,85	1,23
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	1384.40	4,6	5,0	28,05	22,56	23,68	18,46	1,19
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	1331.31	4,8	5,1	28,87	8,30	20	6,22	1,23
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	1204.96	4,7	5,3	32,88	8,22	21,92	5,48	1,19
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	1159.04	5,2	5,5	41,51	12,14	30,19	8,83	1,18
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	1141.22	4,8	5,1	37,10	10,78	29,03	8,44	1,19
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	1116.27	4,8	5,0	36,49	19,32	24,32	12,88	1,23
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	1039.18	4,6	4,9	36,36	14,07	27,27	10,55	1,14
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	973.05	4,4	5,0	29,03	13,94	22,58	10,84	1,14

Cuadro 56. Análisis de caracterización por tratamiento, a los 130 días del encalado.

Tratamientos	Análisis mecánico			Textura	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	Cationes cambiabiles							
	Arena	Limo	Arcilla							me/100g						BC	AC
	%	%	%							1:1	%	%	ppm	kg ha ⁻¹	Ca	Mg	Al
Cantera Quiroz, 3 t ha ⁻¹	54	21	25	Fo.Ar.Ao	4.8	4.9	0.22	9.50	311	3.60	1.10	1.80	0.90	7.40	63.51	36.49	
Cantera Quiroz, 6 t ha ⁻¹	48	23	25	Fo.Ar.Ao	4.7	4.5	0.20	9.80	254	2.60	1.00	1.90	1.00	6.50	55.38	44.62	
Cantera Quiroz, 9 t ha ⁻¹	52	25	25	Fo.Ar.Ao	4.8	4.7	0.21	9.20	259	2.50	0.90	1.40	0.40	5.20	65.38	34.62	
Cantera Quiroz, 12 t ha ⁻¹	50	25	23	Fo.Ar.Ao	4.8	4.5	0.20	9.70	286	3.20	1.20	1.20	0.40	6.00	73.33	26.67	
Cantera Fernández, 3 t ha ⁻¹	52	27	21	Fo.Ar.Ao	4.6	4.6	0.25	9.60	296	2.70	0.80	1.50	0.50	5.50	63.64	36.36	
Cantera Fernández, 6 t ha ⁻¹	52	25	25	Fo.Ar.Ao	4.4	5.1	0.23	9.80	292	3.00	1.40	1.40	0.40	6.20	70.97	29.03	
Cantera Fernández, 9 t ha ⁻¹	50	25	23	Fo.Ar.Ao	4.9	4.9	0.22	9.70	270	2.80	0.80	1.20	0.50	5.30	67.92	32.08	
Cantera Fernández, 12 t ha ⁻¹	52	19	25	Fo.Ar.Ao	4.9	4.4	0.20	9.50	315	3.20	1.20	1.80	0.40	6.60	66.67	33.33	
Cantera Venegas, 3 t ha ⁻¹	56	25	25	Fo.Ar.Ao	4.6	4.9	0.22	9.70	271	3.90	1.50	1.80	0.40	7.60	71.05	28.95	
Cantera Venegas, 6 t ha ⁻¹	50	25	25	Fo.Ar.Ao	4.7	4.5	0.20	9.50	262	3.70	1.20	1.60	0.80	7.30	67.12	32.88	
Cantera Venegas, 9 t ha ⁻¹	50	25	25	Fo.Ar.Ao	4.5	4.6	0.21	9.60	265	3.80	1.50	1.60	0.60	7.50	70.67	29.33	
Cantera Venegas, 12 t ha ⁻¹	50	27	21	Fo.Ar.Ao	4.8	5.1	0.23	9.80	296	2.70	1.20	1.80	0.50	6.20	62.90	37.10	
Cantera Abad, 3 t ha ⁻¹	52	21	25	Fo.Ar.Ao	4.4	4.7	0.21	9.60	269	2.80	1.20	1.90	0.90	6.80	58.82	41.18	
Cantera Abad, 6 t ha ⁻¹	54	25	21	Fo.Ar.Ao	4.4	4.7	0.21	9.60	287	2.20	0.80	1.80	0.40	5.20	57.69	42.31	
Cantera Abad, 9 t ha ⁻¹	54	25	21	Fo.Ar.Ao	4.7	4.4	0.20	9.80	272	2.90	0.50	2.20	0.40	6.00	56.67	43.33	
Cantera Abad, 12 t ha ⁻¹	54	25	21	Fo.Ar.Ao	5.3	4.7	0.21	9.80	258	2.60	0.40	1.60	0.90	5.50	54.55	45.45	
Cantera Espejo, 3 t ha ⁻¹	54	25	21	Fo.Ar.Ao	5.2	5.5	0.25	9.70	264	2.70	0.40	1.60	0.60	5.30	58.49	41.51	
Cantera Espejo, 6 t ha ⁻¹	54	19	21	Fo.Ar.Ao	4.6	4.9	0.22	9.80	262	3.70	1.20	1.80	0.80	7.50	65.33	34.67	
Cantera Espejo, 9 t ha ⁻¹	50	29	17	Fo.Ar.Ao	5.0	5.2	0.23	9.80	304	3.00	1.30	1.60	0.90	6.80	63.24	36.76	
Cantera Espejo, 12 t ha ⁻¹	54	21	25	Fo.Ar.Ao	4.7	5.1	0.23	9.60	279	3.20	1.20	1.70	0.70	6.80	64.71	35.29	
Testigo	52	27	21	Fo.Ar.Ao	4.0	4.0	0.18	7.90	260	1.90	0.40	2.60	1.60	6.50	35.38	64.62	