

Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agroalimentarias
Universidad de Costa Rica

**EFFECTO DEL ENCALADO EN ARROZ (*Oryza sativa*) EN UN
ULTISOL CON PROBLEMAS DE ACIDEZ DE LA ZONA NORTE DEL
PAÍS**

Juan Manuel Valerio Valerio

*Tesis presentada a la Facultad de
Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería
Agronómica con énfasis en Fitotecnia*

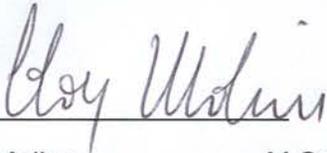
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2013

Efecto Del Encalado En Arroz (*Oryza Sativa*) En Un Ultisol Con Problemas De Acidez De La Zona Norte Del País

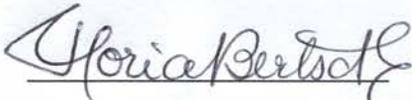
Juan Manuel Valerio Valerio

Proyecto de graduación presentado a la Comisión de Trabajos Finales de la Escuela de Agronomía para optar por el grado de Licenciado en agronomía



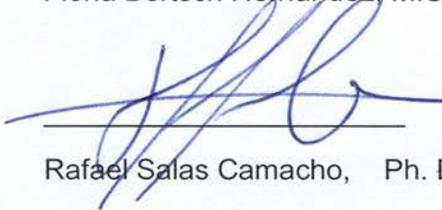
Eloy Molina M.Sc.

Director del Proyecto



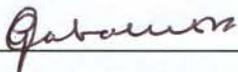
Floria Bertsch Hernández, M.Sc.

Miembro del Tribunal



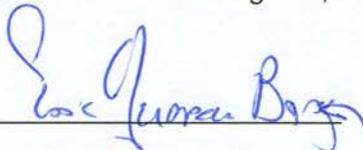
Rafael Salas Camacho, Ph. D

Miembro del Tribunal



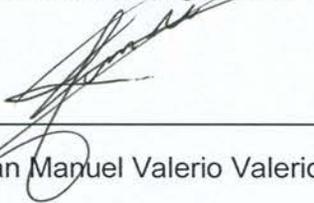
Gilberto Cabalceta Aguilar, M.Sc.

Miembro del Tribunal



Eric Guevara Berger, Ph. D

Director de la Escuela



Juan Manuel Valerio Valerio

Sustentante

Dedicat3ria

A mi familia por ser un pilar
en mi vida y haberme brindado
amor, comprensi3n y apoyo
durante todo mi est3dio y hasta
el d3a de hoy.

Agradecimientos

A Dios

Por ser la luz que guía mi camino en el transitar por la vida.

Al director de este proyecto M.Sc. Eloy Molina

Por su colaboración y por sus consejos, durante este trabajo, y por brindarme su amistad.

A la profesora M.Sc. Floria Bertsch

Por sus valiosos consejos, su apoyo incondicional durante todo el desarrollo del trabajo, por su amistad, y por ser un ejemplo a seguir en mi vida profesional.

A los profesores M.Sc. Gilberto Cabalceta y Dr. Rafael Salas

Por sus valiosos consejos y por apoyar este trabajo y creer en esta investigación.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Foliares

Sin la ayuda de todos ellos este trabajo no sería una realidad.

A mi novia

Por sus palabras de aliento y por ser una fuerza extra en los momentos difíciles.

A mis amigos

Por estar siempre en los momentos en que necesité de una amistad sincera.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL:	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	11
3. REVISIÓN DE LITERATURA	12
3.1. ORIGEN DEL ARROZ	12
3.2. IMPORTANCIA DEL ARROZ	12
3.3 SISTEMAS DE CULTIVO	13
3.4 FERTILIZACIÓN DEL ARROZ	14
3.5. SUELOS PARA EL CULTIVO DEL ARROZ	16
3.5.1 <i>Ultisoles</i>	17
3.6. ACIDEZ DE SUELO	18
3.6.1 <i>Componentes de la acidez del suelo</i>	19
3.6.2 <i>Naturaleza de la acidez de suelo</i>	19
3.6.3 <i>Toxicidad de Al</i>	20
3.7 ENCALADO	20
3.8 CALIDAD MOLINERA DEL ARROZ.....	24
3.9 VARIEDAD PALMAR 18	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
A) PREPARACIÓN DEL TERRENO	26
B) TRATAMIENTOS	26
C) APLICACIÓN DE LAS ENMIENDAS.....	27
C) SIEMBRA DEL CULTIVO	27
E) MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO	28
F) DISEÑO EXPERIMENTAL	29
F) VARIABLES DE CRECIMIENTO	30
J) COSECHA.....	30
K) CALIDAD MOLINERA	32
H) ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1 EFECTO DE LAS ENMIENDAS EN LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD MOLINERA	33
5.2 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS EN LA FERTILIDAD DEL SUELO	44
6. CONCLUSIONES	53
7. LITERATURA CITADA	54

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales fertilizantes utilizados en arroz de secano en Costa Rica.	15
Cuadro 2. Análisis químico del suelo antes de iniciar el experimento.	26
Cuadro 3. Resumen de promedios en variables evaluadas.	60
Cuadro 4. Resumen de promedios finales de las variables de suelo evaluadas.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución aleatoria de los tratamientos en el campo.	30
Figura 2. Cosecha y aporrea del arroz en las parcelas.	31
Figura 3. Efecto de la aplicación de enmienda en el tamaño de la panícula de arroz.	33
Figura 4. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de tallos fértiles de arroz.	34
Figura 5. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de granos vanos por panícula.	34
Figura 6. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de espigas por panícula.	35
Figura 7. Efecto de la aplicación de enmienda en el número total de granos por panícula.	36
Figura 8. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de granos llenos por panícula.	37
Figura 9. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de arroz en granza.	39
Figura 10. Efecto de la aplicación de enmienda en el % de rendimiento de pilada.	40
Figura 11. Efecto de la aplicación de enmienda en el % de grano.	40
Figura 12. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano entero.	41
Figura 13. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano quebrado.	42
Figura 14. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano dañado.	43
Figura 15. Efecto de la aplicación de enmienda en el pH del suelo.	45
Figura 16. Efecto de la aplicación de enmienda en la acidez intercambiable del suelo.	46
Figura 17. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Ca en el suelo.	47
Figura 18. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Mg en el suelo.	48
Figura 19. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de K en el suelo.	48
Figura 20. Efecto de la aplicación de enmienda en la Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE) en el suelo.	49
Figura 21. Efecto de la aplicación de enmienda en el % Saturación de Acidez en el suelo.	50
Figura 22. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Fe en el suelo.	51
Figura 23. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Mn en el suelo.	51

RESUMEN

Se realizó un ensayo para evaluar el efecto de diferentes dosis y tipos de enmiendas en la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivo del arroz, en suelo ácido de Los Chiles, Alajuela. Los tratamientos fueron un testigo si cal, CaCO_3 en dosis de 1, 2, 4 y 6 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, Dolomita 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, Ecosulfocal 0,75 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, y Supercal 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los resultados mostraron diferencias significativas para varias de las variables de rendimiento, en la cual los tratamientos de CaCO_3 en dosis de 1 y 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, presentaron los rendimientos más altos, superando al testigo en más de 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de arroz en granza. Todos los tratamientos de enmiendas, con excepción de la dolomita, presentaron rendimientos superiores al testigo, aunque sólo el CaCO_3 en 1 y 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ fue estadísticamente superior. En cuanto a las variables de calidad molinera, los resultados demostraron diferencias estadísticas significativamente, para las variables de rendimiento grano quebrado, rendimiento de grano entero y % de grano dañado. La aplicación de enmiendas incrementó el pH, el contenido de Ca y la CICE, y redujo la acidez intercambiable y el porcentaje de saturación de acidez, con diferencias significativas principalmente para las dosis más altas de CaCO_3 .

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cultivos alimenticios con mayor antigüedad en el mundo, el cual se siembra en más de 111 países. Su cultivo se realiza desde el nivel del mar, hasta algunos miles de metros de altitud (Chaudary et al 2003).

Debido a esta gran diversificación en áreas de siembra, según Chaudary et al. (2003), la planta de arroz se ha tenido que enfrentar no solo a las plagas y enfermedades que han evolucionado con la especie, sino también, se ha tenido que adaptar a una gran variedad de climas y suelos.

En Costa Rica el arroz se siembra en diferentes zonas, en lugares como la provincia de Guanacaste, en los cantones de Liberia, Carrillo, Santa Cruz y Nandayure, la zona sur del país en los cantones de Corredores, Osa y Golfito; también en el Pacífico Central en Parrita y por último en la zona norte del país principalmente en los cantones de Los Chiles y Upala (Villegas et al. 2008).

El cultivo del arroz en Costa Rica está establecido en diferentes tipos de suelos, entre los que se destacan suelos de los órdenes Vertisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles (Murillo y González 1983). De todos estos suelos, los Ultisoles presentan mayores limitaciones para el crecimiento del cultivo debido a su naturaleza ácida y su baja fertilidad (Bertsch 1998).

La acidez de los suelos causa la aparición de problemas de toxicidades de aluminio, hierro y manganeso, así como también una disminución en la producción debido a los problemas que ocurren en el sistema radical de las plantas. Por este motivo se considera que el encalado constituye la práctica

más apropiada y económica para corregir los problemas de acidez y mejorar la producción (Molina 1998).

La acidez del suelo se debe a diferentes factores, tales como una baja concentración de bases (Ca, Mg y K), debido a un pobre material de origen en el proceso de formación o al proceso de meteorización que fue sometido el suelo a través de cientos de miles de años; a la pérdida de profundidad de suelo o capa arable, debido a la erosión, el uso de fertilizantes nitrogenados amoniacales, la extracción de bases por parte de los cultivos, y además por la falta de utilización de enmiendas (Molina 1998).

La respuesta favorable de los cultivos al encalado se da principalmente como resultado de la neutralización de la acidez intercambiable causada por Al^{+3} e H^+ , y como resultado del suministro de Ca, Mg o ambos (Kamprath 1984).

Los problemas de acidez en los suelos pueden ser corregidos a través del uso de enmiendas, principalmente con el uso básicas de carbonatos de Ca y/o Mg y sus derivados. No existen estudios sobre el efecto de la aplicación de enmiendas en el cultivo del arroz a nivel local, y no se acostumbra a encalar el suelo para sembrar arroz. El presente trabajo se justifica como una alternativa para generar conocimiento en la producción de arroz en suelos con problemas de acidez, el cual es un tema donde no existe información en nuestro país y es de gran importancia hoy en día, ya que la acidez es uno de los principales problemas de fertilidad y estudios recientes muestran que se ha incrementado su nivel en los suelos del país (Méndez y Bertsch 2012), los cuales son cada vez más comunes en el campo de la agricultura. Debido al mal manejo y al

creciente problema de acidificación de suelos que acontece hoy en día, esta práctica va a tener que ser adoptada por el cultivo del arroz en ciertos suelos que presenten problemas de pH ácidos, escasez de bases, alta acidez intercambiable y alto porcentaje de saturación de acidez.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas en el crecimiento y producción de arroz de secano.

2.2 Objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de diferentes dosis y tipos de enmiendas en el crecimiento y producción de arroz.
2. Evaluar el efecto de las enmiendas en las características del suelo.
3. Determinar el efecto de las enmiendas en la calidad del arroz.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen del arroz

Aunque en sus orígenes el arroz crecía de manera salvaje, hoy en día las variedades que se cultivan en la mayoría de los países pertenecen al tipo *Oryza*, la cual cuenta con una veintena de especies, de las cuales solamente dos presentan un interés agrícola para el hombre:

- *Oryza sativa*: arroz común asiático y presente en la mayoría de los países arroceros en el mundo, originario de Extremo Oriente al pie de del Himalaya hacia el lado chino la subespecie *O. sativa japonica* y del lado indio la subespecie *O. sativa indica*. La gran mayoría de las variedades que se cultivan pertenecen a esta especie, que se caracteriza por su plasticidad y por su cualidad gustativa;
- *Oryza glaberrima*, especie anual originaria de África occidental, desde el delta central del Níger hasta Senegal (Tinoco y Acuña 2009): ¿Alguna característica?

3.2. Importancia del arroz

El arroz es uno de los alimentos más importante para más de la mitad de la población del mundo que lo consume por lo menos una vez al día y constituye el alimento básico predominante para 17 países de Asia y el Pacífico, nueve países de América del Norte y del Sur y ocho países de África; y además este cereal proporciona el 20 por ciento del suministro de energía alimentaria del mundo, en tanto que el trigo suministra el 19 % y el maíz el 5 % (FAO 2004).

Entre los mayores productores mundiales de este cultivo están los países asiáticos de China, India, Indonesia, Vietnam y Bangladesh (De Datta 1981).

Para el periodo 2008/2009, el área de siembra en Costa Rica alcanzó las 63329 has, de las cuales la mayor parte se sembró en la región Chorotega (Guanacaste) con un porcentaje de 31% del área total, en segundo lugar estuvo la región Brunca con 29%, seguida por la región Huetar Atlántica con el 15%, la región Huetar Norte con 13% y Pacífico Central con 12% (CONARROZ 2009).

Para este mismo periodo la producción nacional fue de 129909 toneladas métricas, superando por mucho la producción del periodo anterior (2007/2008), ya que la producción para este periodo apenas alcanzó las 75800 toneladas métricas. Según el CONARROZ (2009) uno de los motivos de esta alza en la producción se debió al aumento en área sembrada en todo el país.

3.3 Sistemas de cultivo

El arroz en Costa Rica se siembra bajo dos modalidades distintas: riego y seco (Cordero 1991). Según Murillo y González (1983) en el sistema bajo riego, una de las modalidades que más se utiliza es la de lámina de agua estática, que es aplicar una lámina permanente de agua del mismo espesor por todo el bancal de siembra. Para esta práctica es necesaria una adecuación del bancal, la cual consiste en una nivelación del terreno al hacer cortes y rellenos, para formar las terrazas con formas regulares o siguiendo las curvas de nivel, generalmente no pueden exceder una hectárea de terreno (Blázquez 2006).

La otra modalidad de siembra utilizada en nuestro país es el sistema de siembra de arroz de secano, en el cual el cultivo depende exclusivamente del régimen de precipitación para suplir el agua. El arroz de secano puede ser de dos tipos: secano favorecido y secano no favorecido. En el primer tipo el cultivo tiene mayor cantidad de agua disponible para llenar su requerimiento. Esta modalidad es muy utilizada en la zona Huetar Norte, en los cantones de Los Chiles y Upala (Tinoco y Acuña 2009).

Según el informe anual del CONARROZ (2009) durante el periodo 2008/2009 el 75% del arroz sembrado fue en la modalidad de secano, mientras que sólo un 25% en la modalidad inundado.

3.4 Fertilización del arroz

De acuerdo con Rodríguez (1999), la fertilización del arroz debe tomar en cuenta varios factores importantes, como lo son:

El suelo: las características físicas, químicas, microbiológicas y sus interacciones.

El clima: principalmente radiación solar, temperatura, vientos y precipitación; esta última es crítica principalmente para el cultivo del arroz en secano.

Manejo de cultivo: deberán considerarse aspectos como el sistema de cultivo (secano o de riego), preparación del terreno, manejo de plagas y enfermedades.

Variiedad: se debe considerar el genotipo, el tipo de planta, su fenología (diferentes estados de crecimiento) y los días a cosecha.

En la modalidad de arroz secano la fertilización se puede llevar a cabo con el uso de diferentes tipos de fuentes de fertilizantes que ofrece el mercado para el

agro. En el Cuadro 1 se observa los diferentes fertilizantes, sus fuentes y dosis, que son comúnmente utilizados en nuestro país en arroz seco según el CONARROZ (2008).

Cuadro 1. Principales fertilizantes utilizados en arroz de seco en Costa Rica.

Fertilizantes utilizados en arroz seco en Costa Rica.			
Elemento	Fuentes	Dosis	Momento de aplicar
N	Urea, Nitrato de amonio, sulfato de amonio.	De 80 a 140 kg/Ha de N dependiendo de la variedad.	Fraccionada en 3 etapas: inicio de macollamiento, max macollamiento y al inicio del primordio.
P	MAP, DAP, 10-30-10; 12-24-12.	De 2 a 4 sacos/Ha de P ₂ O ₅ .	Se aplica al momento de la siembra.
K	KCL, KMag, 26-0-26; 24-0-24.	De 40 a 80 kg/Ha de k ₂ O.	Después de 40 días de sembrado, pero se puede fraccionar con el N y aplicar al mismo momento.
S	KMag; sulfato de amonio y Urea sulfatada.	De 15 a 20 kg/Ha de azufre.	De los 20 a 40 días después de haber germinado.
Zn	Sulfato de Zn al suelo o quelatos foliares.		De 15 a 25 días después de haber germinado y al inicio del primordio.

Normalmente el arroz de seco requiere dosis bajas de N que oscilan entre 70-120 kg.ha⁻¹, en tanto que en arroz bajo riego la dosis sube a un rango de 120-160 kg.ha⁻¹ de N (Cordero 1991, Coto 1991).

En un ensayo realizado en arroz inundado, Quirós y Ramírez (2006) encontraron que la fertilización con 120 kg.ha⁻¹ de N fraccionado en tres aplicaciones, logró mejores rendimientos que una sola aplicación temprana.

Molina y Rodríguez (2012), en un ensayo de fertilización de arroz en la variedad CFX 18, encontraron que el mejor tratamiento fue de 120 kg N ha⁻¹, 40 kg P₂O₅ ha⁻¹, 50 kg K₂O ha⁻¹, y 20 kg S ha⁻¹.

Las recomendaciones de P en arroz en Costa Rica oscilan en un rango de 30-60 kg P₂O₅ ha⁻¹, y generalmente se aplica a la siembra, aprovechando la incorporación del fertilizante en banda con el uso de la abonadora (Cordero 1993). Los suelos con contenidos inferiores a 10 mg.l⁻¹ de P disponible responden a las dosis más altas de P, en tanto que un valor superior a 15 mg.l⁻¹ de P se considera óptimo para el cultivo (Cordero y Miner 1975).

La dosis de K en los programas de fertilización es muy variable, dependiendo del resultado del análisis de suelo y varía entre 20 y 75 kg K₂O ha⁻¹ (Cordero 1993), fraccionada en dos aplicaciones al inicio del macollamiento y en la formación del primordio floral (Rodríguez 1999).

3.5. Suelos para el cultivo del arroz

La mayoría de suelos en donde se produce arroz en Costa Rica se pueden agrupar dentro de los siguientes órdenes de suelos: Mollisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Ultisoles, aunque también se puede encontrar algunas pequeñas áreas sembradas sobre Alfisoles (Cordero 1993).

De todos estos órdenes de suelos los que más comúnmente se encuentran diseminados en el territorio nacional son los Inceptisoles, los cuales son suelos de una fertilidad muy variable, ya que se pueden encontrar Inceptisoles de alta fertilidad como lo son los de origen aluvial, hasta los

Inceptisoles de muy baja fertilidad como los Dystrustepts (Mata 2003, Bertsch 1995).

Otro de estos órdenes de suelo muy utilizado en arroz son los Vertisoles, los cuales se encuentran en mayor cantidad en la región Chorotega, ya que ocupan un área aproximada de 629 km² de todo el territorio nacional, pero la mayor cantidad se ubican en la provincia de Guanacaste (Mata et al. 1996). En este orden de suelo es donde se encuentran los suelos más fértiles del país, ya que los Vertisoles son por naturaleza suelos arcillosos y muy ricos en Ca y Mg, por lo cual se encuentran en un rango de fertilidad alta (Bertsch 1995, Mata 2003, Mata et al. 1996).

3.5.1 Ultisoles

Los Ultisoles son suelos viejos, en los cuales sus materiales de origen están muy meteorizados debido a la acción de los factores formadores de suelo, como lo puede ser: el clima, el relieve, material parental, organismo y tiempo (Alvarado 1985). Estos suelos se originan por el paso vertical del agua a través de los horizontes del suelo, por periodos prolongados de tiempo y bajo condiciones de alta temperatura.

Estos suelos se pueden encontrar desde la Zona Norte del país en los cantones de Sarapiquí, San Carlos y Cutris; en el sur de país, en cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, y regiones fronterizas con Panamá; y en las estribaciones de la cordillera de Talamanca tanto al Pacífico como al Atlántico, ocupando el 21% del territorio nacional (Molina 1998).

Los Ultisoles se utilizan en cultivos como la piña, cítricos, mango, tubérculos, raíces, palmito y caña de azúcar entre otros (Molina 1998).

La mayoría de estos suelos presentan fertilidad de media a baja, predominando los suelos con pH ácido, alto contenido de acidez intercambiable y saturación de acidez, y deficiencias de Ca y Mg (Bertsch 1995, Molina 1998).

3.6. Acidez de suelo

La acidez en los suelos se origina a partir de la presencia de altos contenidos de iones ácidos como Al^{+3} e H^{+} que reducen el pH e incrementan el nivel de acidez intercambiable, llegando a afectar el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo (Espinosa y Molina 1999). La acidez afecta de forma significativa algunas de las características químicas y biológicas del suelo, reduciendo el crecimiento de las plantas, causando la disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes como Ca, Mg, K, y P, y favoreciendo la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn (Molina 1998, Bertsch 1995).

La acidez de los suelos causa la aparición de problemas de toxicidades de Al, Fe y Mn, así como también una disminución en la producción debido a los problemas que ocurren en el sistema radical de las plantas. Por este motivo se considera que el encalado constituye la práctica más apropiada y económica para corregir los problemas de acidez y mejorar la producción (Molina 1998).

3.6.1 Componentes de la acidez del suelo

Los componentes de la acidez de suelo son: la acidez activa, la acidez pasiva, la acidez intercambiable y la no intercambiable. Estos componentes según Camargo (2005), se pueden definir de la siguiente forma:

Acidez activa: se refiere a este tipo de acidez, a todos los iones H^+ libres que se encuentran disueltos en la solución del suelo.

Acidez intercambiable: se puede definir como el Al^+ e H^+ intercambiables, que se encuentran adsorbidos en la superficie de las arcillas o coloides orgánicos o minerales, debido a cargas eléctricas débiles. Este tipo de acidez puede ser medida en el laboratorio utilizando una solución extractara como KCl.

Acidez no intercambiable: es debida a los iones H^+ que no participan en reacciones de intercambio, debido a los enlaces covalentes que los unen con los coloides o arcillas, los cuales requieren de una energía fuerte para romperse.

3.6.2 Naturaleza de la acidez de suelo

En zonas tropicales los suelos presentan características ácidas debido a las condiciones climáticas con alta temperatura y precipitación predominantes que han favorecido la meteorización y la lixiviación de elementos como Ca, Mg y K, y la acumulación de iones ácidos como el Al e H (Pereira et al. 2005).

Existen diversas causas por lo que un suelo puede tener características ácidas, como lo es el material de origen del suelo, ya que un suelo puede ser de naturaleza ácida cuando el material parental que lo originó es pobre en bases (Pereira et al. 2005). Otra causa es la pérdida de bases de los coloides,

que ocurre cuando el material parental que da origen al suelo ha perdido elementos básicos por lixiviación, como el Ca, Mg y K, debido a un acelerado proceso pedogenético ocasionado por factores como el clima (Camargo 2005, Kass 2007).

El uso de fertilizantes de efecto residual ácido también tiene gran influencia en la acidez de suelo. Los fertilizantes nitrogenados de origen amoniacal o la urea producen una reacción ácida a mediano o largo plazo en el suelo. Según Espinosa y Molina (1999), el sulfato de amonio, la urea y el nitrato de amonio forman parte del grupo de fertilizantes nitrogenados que incrementan la acidez del suelo, siendo el sulfato de amonio el que presenta el mayor Índice de Acidez Fisiológica (Tisdale et al. 1993).

El efecto residual de los fertilizantes nitrogenados se debe a la nitrificación del amonio por la acción de las bacterias nitrificantes Nitrosomonas y Nitrobacterias (Espinosa y Molina 1999).

3.6.3 Toxicidad de Al

La toxicidad por Al se presenta en suelos ácidos cuando el pH es inferior a 5, causando daños en el sistema radical de las plantas, particularmente en las raíces más finas. Conforme el pH se reduce por debajo de 5,5, el Al se vuelve más soluble y activo afectando en forma negativa las raíces (Kamprath 1984).

3.7 Encalado

El encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez, como por ejemplo carbonatos, óxidos, hidróxidos y

silicatos de calcio y/o magnesio. Los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones OH^- producidos al entrar la cal en contacto con el agua del suelo (Espinosa y Molina 1999).

La información disponible acerca del efecto del encalado en arroz es prácticamente nula en nuestro país, debido a que gran parte del área de siembra se concentra en suelos altos en bases intercambiables y de pH neutro o ligeramente ácido ubicados en Guanacaste y la costa Pacífica. Sin embargo, existe un área de siembra importante que se ubica en suelos ácidos de la Zona Norte y Atlántica del país.

Los materiales utilizados como correctivos de acidez del suelo son principalmente carbonatos, hidróxidos y óxidos de Ca ó Mg (Alcarde 1992). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Chaves 1993). En Costa Rica, la principal fuente de encalado es el $CaCO_3$, debido a la abundancia natural de yacimientos de roca caliza y su bajo costo. En otros países como Guatemala y Honduras, existen yacimientos de cal dolomita (carbonatos de Ca y Mg), material que es más conveniente como enmienda en suelos ácidos debido a su aporte de Mg, pero que resulta de alto costo en nuestro país (Molina 1998).

En Costa Rica, se estudió el efecto del encalado en las propiedades químicas de suelos ácidos, en donde Chavarría (1983) indica que la aplicación de $CaCO_3$ causó un aumento en el pH del suelo, hasta de dos unidades y una disminución del contenido de Al intercambiable.

En un estudio del efecto de la cal en arroz en un ultisol en Panamá, Name (1992), encontró un efecto favorable a la aplicación de 4 t.ha^{-1} de CaCO_3 , que resultó en un incremento de 66% en el rendimiento de grano con respecto al testigo sin cal, y un aumento de pH de 4.9 a 5.6.

Molina y Rojas (2005), realizaron un estudio sobre encalado en naranja Valencia en un suelo ácido, de baja fertilidad, utilizando tres materiales de encalado: CaCO_3 granulometría gruesa, CaCO_3 granulometría fina y una mezcla física 85% CaCO_3 y 15% óxido de Mg, cada uno de estos a dosis de 1, 2, 3 t.ha^{-1} , y un testigo sin aplicación alguna. Los resultados mostraron un incremento gradual en la producción de naranja, según la cantidad de cal aportada al cultivo, además, se observó que la mezcla de carbonato y óxido de magnesio obtuvo los valores más bajos de acidez, los más altos de Mg en el suelo, y el rendimiento más alto de fruta y de sólidos solubles totales.

En un trabajo efectuado en piña por Mite et al. (2009) en Ecuador, encontraron que con la aplicación de $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de carbonato de calcio, alcanzaron un rendimiento máximo de 124 t.ha^{-1} , mientras que el tratamiento testigo, en el cual no se aplicó cal, alcanzó un rendimiento de 107 t.ha^{-1} .

En Centroamérica, Braeuner et al. (2005) realizaron un ensayo en Guatemala sobre el efecto del encalado con dolomita y yeso agrícola, en cafetales afectados con el "Mal de Viñas". Estos investigadores comprobaron que con la aplicación de cal, el pH subió con respecto al testigo, sin haber diferencias significativas entre los tratamientos (5 y 10 t.ha^{-1}), mientras que como lo esperaban el yeso no produjo diferencias significativas en el pH, a 28 cm de profundidad. Por el contrario, ambas enmiendas obtuvieron resultados

similares al reducir la saturación de Al, pero el yeso mostró resultados más variables en los tratamientos.

López (1987) en Venezuela estudió el efecto residual de la cal en sorgo durante un periodo de tiempo determinado, para lo cual utilizó CaCO_3 aplicándolo en dos dosis (1200 y 2100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), y las comparó contra un testigo absoluto. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre las dos dosis de cal, pero si entre los tratamientos y el testigo.

En otro estudio realizado en Venezuela, se evaluó el efecto del encalado sobre el rendimiento de materia seca del maíz (*Zea mays L.*) y la disponibilidad de P en un Ultisol (Martínez y Colmenares 1995). En general, el encalado mostró un efecto altamente significativo sobre la disponibilidad de P en el suelo y en la producción de materia seca, además de aumentar significativamente el pH y disminuir el Al intercambiable. En este cultivo también se han realizado estudios sobre el efecto del encalado sobre la disminución de la germinación de la semilla del maíz en la mazorca, en donde Ramírez (1995), demostró que con una aplicación de 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 la germinación de los granos en la mazorca disminuyó hasta en un 47 %.

Alvarado et al. (2004), encontraron en un estudio realizado en suelos ácidos de Costa Rica, que la teca respondió al encalado, y con la aplicación de 1 kg de CaCO_3 por árbol, la altura promedio se elevó en un 59 %, y la aplicación de 1 kg de CaCO_3 y 150 g de una fórmula de fertilizante, aumentó la altura de los árboles en un 216%.

3.8 Calidad molinera del arroz

La calidad molinera o calidad industrial del arroz, se relaciona directamente con parámetros que evalúan el grano obtenido después de la producción en el campo y del proceso de elaboración industrial. Dentro de estos parámetros se puede decir que el más importante en calidad de molienda es el porcentaje de grano entero, el cual se puede definir como la cantidad de arroz pilado entero que se obtiene de una muestra de arroz en granza sin impurezas y expresado en porcentaje (CONARROZ 2008).

De acuerdo con CONARROZ (2010), el porcentaje de grano entero para el periodo 2008-2009, obtuvo un valor de 68,2%, esto para la variedad de arroz Palmar 18, mientras que la variedad CFX 18 fue la que obtuvo el mejor rendimiento de grano entero alcanzando un 70%.

Además del porcentaje de grano entero, hay otros parámetros importantes para evaluar la calidad pos cosecha del arroz, como lo son: el rendimiento de pilada, rendimiento de grano quebrado, el porcentaje de grano dañado y el porcentaje de grano yesoso (CONARROZ 2008).

3.9 Variedad Palmar 18

Esta variedad de arroz fue desarrollada en Costa Rica por la empresa nacional Semillas del Nuevo Milenio S.A (SENUMISA), la cual es una empresa que se crea por la fusión de otras empresas, y con el objetivo de crear un programa de mejoramiento genético en el cultivo de arroz.

Según SENUMISA, la variedad Palmar 18, tiene las siguientes características agronómicas:

Cuadro 1. Principales características de la variedad Palmar 18.

Inicio primordio floral (días)	30 - 35
Floración (días)	70 - 75
Días a cosecha	110 - 115 dde
Ciclo vegetativo	Intermedio
Macollamiento	Intermedio
Acame	Tolerante
Altura de la planta (cm.)	110-115 cm.
Excursión de la panícula	Emergida
Tipo de crecimiento	Abierto
Desgrane	Intermedio
Tipo de grano	Largo
Peso 1000 granos (gr.)	21.1 gr.
Rend. Potencial genético (TM/Ha)	4-4.5 (secano) 6-7 (riego)
Plagas y enfermedades	Tolerante a piricularia, grano manchado, VHB, medianamente susceptible a Rhizoctonia.
Grano entero	80%
Rendimiento molino	69% - 71%
Amilosa	31.2%
Cocción (35 ddc)	Muy buena

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la finca de un productor de arroz entre octubre del 2010 y marzo del 2011, en el cantón de Los Chiles, Alajuela, Costa Rica, en la localidad de San Gerardo. Se utilizó semilla de la variedad de arroz Palmar 18.

El estudio se realizó en un suelo que presentó un nivel de acidez moderada y fertilidad media, cuyo resultado de análisis químico se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Análisis químico del suelo antes de iniciar el experimento.

pH		cmol(+) l ⁻¹				%			mg l ⁻¹		
H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
5,1	0,50	3,78	2,05	0,16	6,49	8	2	1,9	7	139	102

a) Preparación del terreno

Esta labor se llevó a cabo con la ayuda de un tractor y una rastra de disco. Se realizaron un total de dos pases de la rastra por toda el área del ensayo; el primero con el fin de romper el suelo y combatir las arvenses que se encontraban en el sitio, y el segundo pase con la finalidad de afinar el suelo para la siembra.

b) Tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Testigo sin cal
2. Carbonato de calcio 1 t.ha⁻¹
3. Carbonato de calcio 2 t.ha⁻¹
4. Carbonato de calcio 4 t.ha⁻¹
5. Carbonato de calcio 6 t.ha⁻¹

6. Dolomita 1 t.ha⁻¹

7. Mezcla de 70% dolomita y 30% yeso (Ecosulfocal) 0,75 t.ha⁻¹

8. Mezcla de 60% dolomita, 25 % óxidos de Ca y Mg, 15% yeso (Supercal) 0,75 t.ha⁻¹

Los tratamientos se utilizaron en dosis crecientes, para tratar de ver una posible curva de respuesta al Ca. Se utilizaron cuatro tipos de enmiendas: carbonato de calcio (CaCO₃) de Carbonatura con PRNT de 93%, dolomita (CaMg(CO₃)₂) de Agromsa, Guatemala, con PRNT de 99%, mezcla de 70% dolomita y 30% yeso (Ecosulfocal) de PRNT 90%, y mezcla de 60% dolomita, 25 % óxidos de Ca y Mg, 15% yeso (Supercal) con PRNT de 114%.

c) Aplicación de las enmiendas

La aplicación de enmiendas en el campo se realizó mediante la metodología del voleo en forma manual, con la utilización de baldes de 20 kg, los cuales se llenaban y se realizaban las aplicaciones en cada parcela, esto con el fin de reducir al máximo la deriva de producto de una parcela a otra. Las enmiendas se esparcieron de forma uniforme por toda el área de cada parcela experimental, y luego se hizo un pase de rastra superficial para permitir la incorporación de las enmiendas, y se dejó incubar por un periodo de 15 días antes de sembrar.

c) Siembra del cultivo

La siembra de cultivo se llevó a cabo con la utilización de un tractor y una sembradora. La sembradora se calibró para que descargara una densidad de siembra de 2,5 qq.ha⁻¹. La metodología que se llevó a cabo fue la de pasar el tractor por toda el área de siembra a una velocidad constante. Todos los

tratamientos recibieron el programa convencional de fertilización edáfica de arroz que fue de 120 kg.ha⁻¹ de N, 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg.ha⁻¹ de K₂O, y 15 kg.ha⁻¹ de S. Todo el P se aplicó con voleadora a la siembra, el N se aplicó fraccionado al inicio del macollamiento, al macollamiento activo y al inicio del primordio del cultivo, el K y S se aplicaron al macollamiento y al primordio junto al N. Como fuentes de fertilizantes se utilizaron MAP (10-52-0), Daphos (0-25-0-6-35(CaO)-3(S)-22(SiO₂)), Urea (46-0-0), KCl(0-0-60) y Sulfato de amonio (21-0-0-24(S)). Además, se hicieron dos aplicaciones de quelato de Zn foliar en dosis de 1 l.ha⁻¹, en macollamiento y prefloración. El control de malezas, plagas y enfermedades fue el mismo manejo comercial que se le dio a la plantación.

e) Muestreo y análisis de suelo

El muestreo de suelos se realizó en dos ocasiones en el tiempo que duró el ensayo. Se tomó una muestra de suelo inicial antes de la aplicación de los tratamientos en toda el área experimental. Luego se tomaron muestras de suelos en cada tratamiento y repetición después de la cosecha, aproximadamente a los 5 meses después de aplicar las enmiendas. Las muestras se tomaron con ayuda de un barreno y a una profundidad de 0 a 20 cm y éstas consistían en 5 sub-muestras, las cuales se mezclaron y se cuartearon para conformar la muestra que se envió al laboratorio para ser analizada. El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y consistió en un análisis de pH en agua; Ca, Mg y Acidez intercambiable extraíbles con KCl; P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraíbles con Olsen Modificado, según la metodología del laboratorio (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Se calculó el % de saturación de bases utilizando la suma de bases + acidez no intercambiable, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Saturación de bases} = \frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} \text{ (cmol(+).l}^{-1}\text{)}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Acidez no interc. (cmol(+).l}^{-1}\text{)}} \times 100$$

f) Diseño experimental

El área del estudio fue de 3200 m², la cual estaba dividida en parcelas de 100 m² (10x10 m de longitud), y el diseño experimental con que se realizó el proyecto fue de Bloques Completos al Azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones.

8	3	2	5	80m
6	1	8	3	
4	7	5	2	
2	6	4	1	
3	2	1	7	
5	4	6	8	
7	8	3	4	
1	5	7	6	
Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	

40 m

Figura 1. Distribución aleatoria de los tratamientos en el campo.

f) Variables de crecimiento

Se determinó el número de espiguillas fértiles mediante un conteo manual de una muestra compuesta de 10 panículas seleccionadas al azar dentro del área total de cada parcela útil. La obtención de estas panículas se realizó manualmente recorriendo toda el área de la parcela de cada uno de los tratamientos, cortando las inflorescencias con un cuchillo, para luego depositarlas en una bolsa identificada según fuera el tratamiento y la repetición de la parcela. La metodología seguida fue la de contar cada una de las espigas que conformaban cada una de las panículas. Se midió el tamaño de las 10 panículas seleccionadas utilizando una cintra métrica. También se determinó el número de tallos fértiles por m² utilizando un marco de 1 m² el cual se colocó al azar en cada repetición y se contó el número de tallos en esa área de muestreo.

Se realizaron 5 mediciones al azar de la altura de planta en cada repetición. La altura se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo distal de la panícula con la utilización de una cinta métrica.

j) Cosecha

Tanto la cosecha como la aporrea del arroz, se realizaron de forma manual. En el caso de la cosecha, se utilizó un cuchillo para cortar las plantas

de arroz en cada una de las parcelas, al momento que estas ya mostraban el grado de madurez y la humedad adecuadas. Luego de esto se realizó la aporrea del arroz, con la utilización de un manteado y una tarima de madera, se procedió a golpear las plantas ya cortadas contra la tarima, la cual se encontraba encima del manteado, y de esta manera desprender los granos de arroz que se encontraban en las panículas (figura 2) . En cada parcela se cosechó un área de 16 m² (4 x 4 m).



Figura 2. Cosecha y aporrea del arroz en las parcelas.

El rendimiento de cada tratamiento se calculó en base a la cantidad total de grano obtenido en el área útil cosechada, el cual se pesó en una romana. Se determinó el peso de mil granos obtenidos en 10 espigas muestreadas de cada parcela experimental.

En cada repetición se determinó el porcentaje de humedad del arroz en granza, el cual se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad de la empresa Demasa, en Parrita, y con esto se determinó el peso del arroz a 4% de humedad.

k) Calidad molinera

Con el fin de obtener los resultados de las variables de calidad de molienda, se procedió a tomar una muestra de 1 kg de grano por cada parcela y se enviaron al laboratorio de la empresa DEMASA, en Parrita, en donde fueron procesadas según la metodología del reglamento técnico de arroz en granza estipulada por el CONARROZ (CONARROZ 2009). Las variables evaluadas fueron el % de rendimiento de arroz pilado, yesoso, grano entero, quebrado y dañado.

h) Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Andeva) a cada una de las variables, utilizando el programa Infostat, y una prueba Fischer de comparación de medias en aquellas variables que presentaron diferencias significativas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Efecto de las enmiendas en las variables de rendimiento y calidad molinera

Como se observa en la Figura 3, los resultados para la variable tamaño de panícula, mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

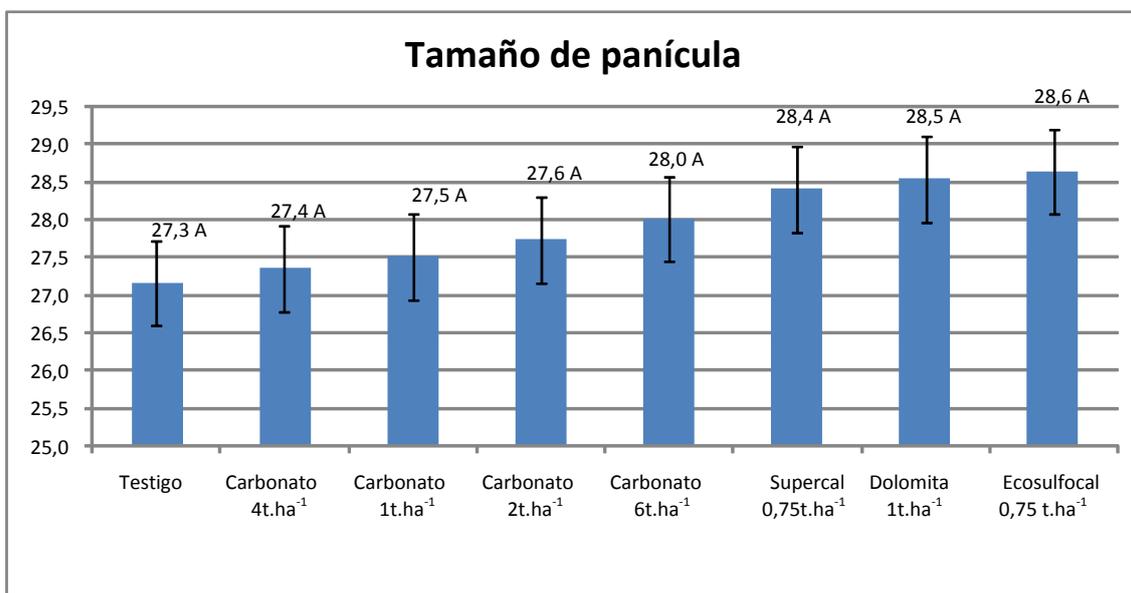


Figura 3. Efecto de la aplicación de enmienda en el tamaño de la panícula de arroz.

Un comportamiento similar, se observó para las variables de número de tallos fértiles (m^2) y número de granos vanos (Figuras 4 y 5), las cuales tampoco obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos. Y al igual que en el tamaño de panícula, los gráficos de estas variables muestran que no hubo respuesta de la adición de enmiendas en ninguna de los tratamientos.

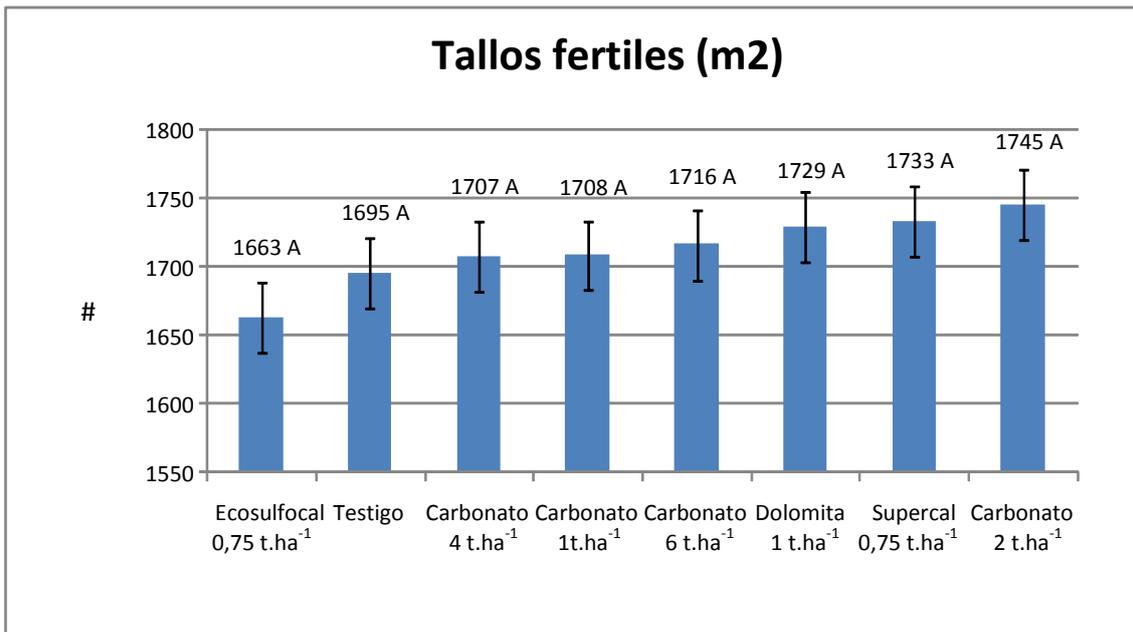


Figura 4. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de tallos fértiles de arroz.

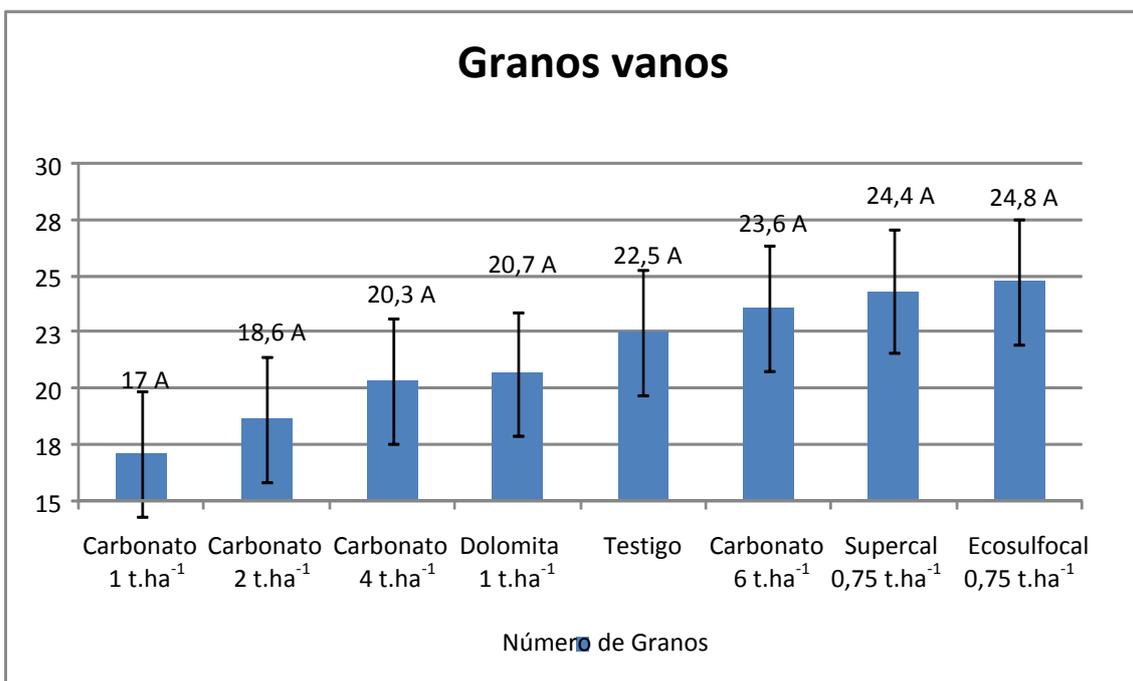


Figura 5. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de granos vanos por panícula.

Para la variable de número de espigas por panícula, se encontraron diferencias significativas entre dos de los tratamientos (Figura 6). Sólo el

tratamiento de mezcla de dolomita 70% y yeso 30% (Ecosulfocal) presentó un valor estadísticamente superior al testigo sin enmienda. Todos los demás tratamientos de enmiendas obtuvieron valores más altos que testigo aunque sin diferencias significativas, lo cual indica que estos no son diferentes a éste.

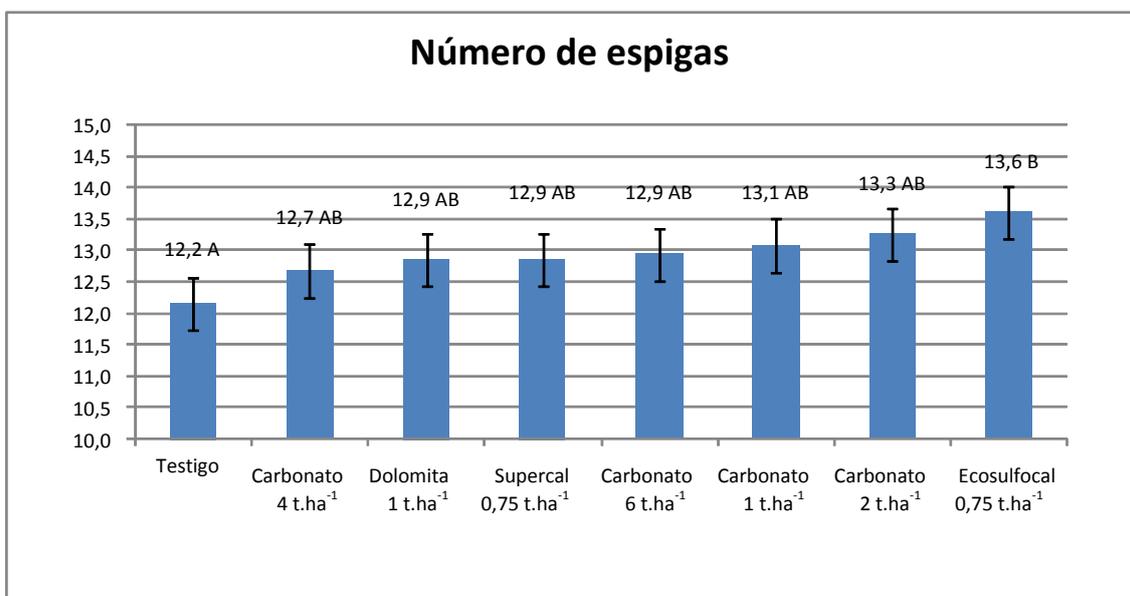


Figura 6. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de espigas por panícula.

Con la variable de número total de granos por panícula (Figura 7), hubo diferencias significativas entre el tratamiento de la mezcla dolomita + yeso y el testigo, en forma similar a los resultados que se presentaron con el número de espigas. El testigo sin cal mostró el valor más bajo en esta variable, alcanzando un valor de 120,7, siendo superado estadísticamente por el Ecosulfocal con un valor de 153,8 granos totales. Lo cual demuestra que pudo haber respuesta hacia el azufre (S), ya que aunque este elemento, no es de los que más se consume el cultivo, si participa en un mejor aprovechamiento de otro nutriente de gran importancia, como lo es el nitrógeno (Rodríguez 1999), y

este a su vez es un elemento de gran importancia en el macollamiento del cultivo, lo cual puede beneficiar a una mayor producción de granos.

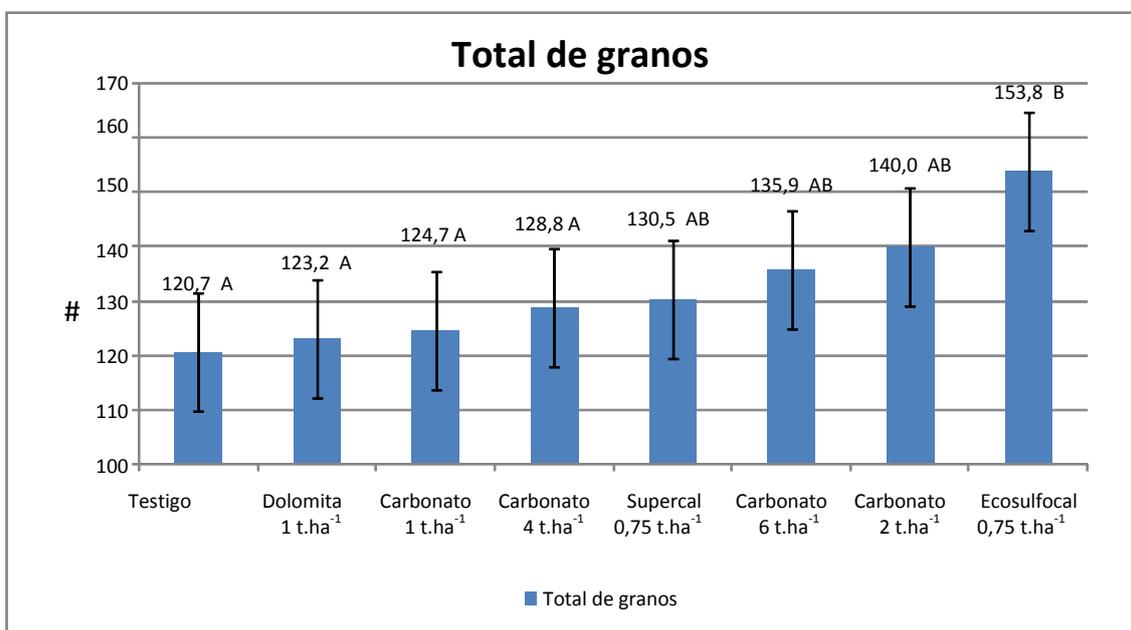


Figura 7. Efecto de la aplicación de enmienda en el número total de granos por panícula.

Para la variable granos llenos por panícula (Figura 8), hubo efecto significativo de la aplicación de enmiendas. Los tratamientos de la mezcla dolomita + yeso, y CaCO_3 en dosis de 2 y 6 t.ha⁻¹, presentaron diferencias significativas con respecto al testigo sin cal, el cual tuvo el valor más bajo en esta variable.

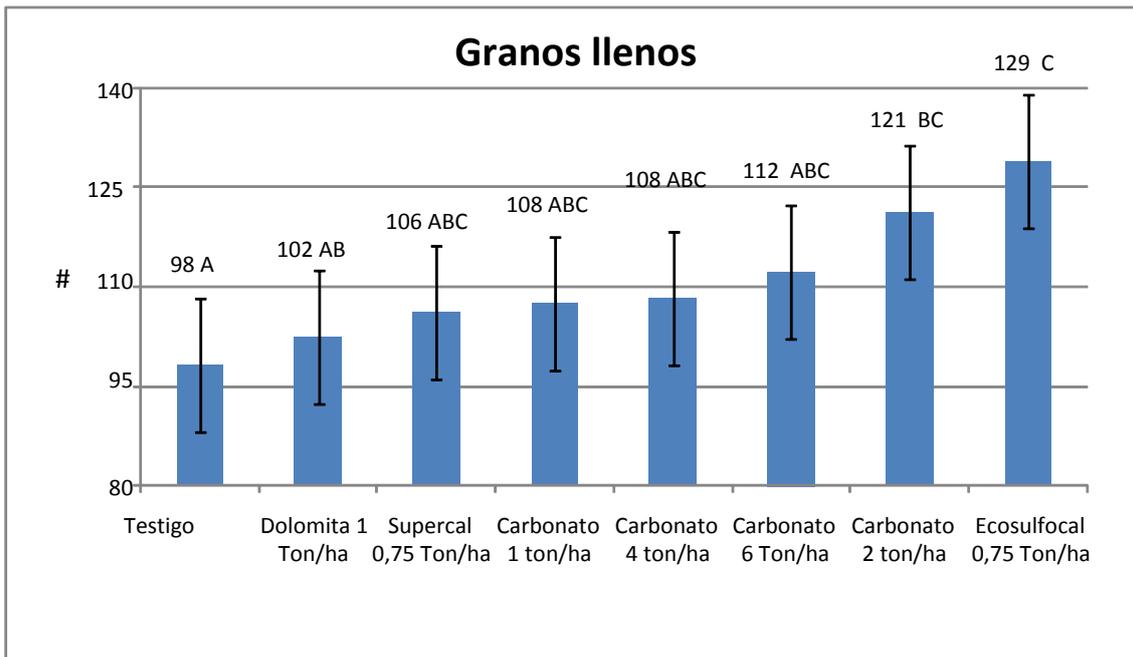


Figura 8. Efecto de la aplicación de enmienda en el número de granos llenos por panícula.

La aplicación de enmiendas causó un incremento en el rendimiento de arroz en granza, esta variable presentando diferencias significativas de los tratamientos de CaCO_3 en dosis de 1 y 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con respecto al testigo (Figura 9). Estos tratamientos presentaron los rendimientos más altos que el testigo en más de 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de arroz en granza limpio y a una humedad de 14%. Los demás tratamientos de enmiendas, con excepción de la dolomita, obtuvieron rendimientos más altos que el testigo, aunque sólo el CaCO_3 en 1 y 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ fueron estadísticamente superiores, por lo cual el testigo y los demás tratamientos no son diferentes, significativamente hablando. Esto indica que hubo una respuesta del cultivo hacia el calcio, aunque a dosis bajas, lo cual puede deberse a que a partir de estas dosis el efecto del Ca, tanto en el suelo como en la planta, puede desencadenar una respuesta adversa, tal como una

menor absorción de K, lo cual implicaría que el llenado de granos sea menor y por ende el peso disminuya.

Según el MAG (2009), el rendimiento promedio nacional, para la variedad Palmar 18, es de 5 a 8 mil kilogramos.

Por otra parte, las enmiendas con Mg (Dolomita) presentaron resultados similares al testigo en el rendimiento, mostrando que no hubo ningún efecto de incluir este nutrimento en la enmienda, lo cual se pudo deber a que las concentraciones de Mg en el suelo antes de aplicar las enmiendas, se encontraban por encima del nivel crítico de este elemento (Bertsch 1998), por lo que por sí solo el suelo podía suplir el consumo de Mg en el cultivo. Las dosis de 4 y 6 t.ha⁻¹ de CaCO₃ tampoco superaron al testigo en forma significativa, lo que indica que dosis altas de enmiendas resultaron innecesarias en las condiciones de suelo de este estudio, esto se pudo deber a que el suelo en estudio, no tenía una acidez alta, sino que era moderada, por lo cual las dosis altas no eran necesarias.

El mejor tratamiento para esta variable fue el carbonato de calcio en la dosis de 1 t.ha¹, esto considerando el costo económico del las enmiendas, debido a que fue estadísticamente igual que el de 2 t.ha⁻¹.

El precio promedio de un quintal de las enmiendas utilizadas en este ensayo, cuesta en el mercado nacional 8 mil colones, por lo cual el precio de la tonelada es de 160 mil colones, y por una tonelada de arroz en granza limpio y seco, se le paga a un productor 330 mil colones (CONARROZ 2011). Si se toma en cuenta que la diferencia en producción de arroz en granza limpio y seco entre el tratamiento CaCO₃ 1 t.ha⁻¹ y el testigo sin cal, fue de 875 kg, lo

cual económicamente representa un superávit de 288983 mil colones, y una vez que se resta el costo total de la inversión en la enmienda (160 mil colones), se obtiene, que por la aplicación de 1 t,ha⁻¹ de CaCO₃, se obtuvo una ganancia neta de 128893 mil colones, lo cual es equivalente a un 39% en el aumento de la ganancia económica.

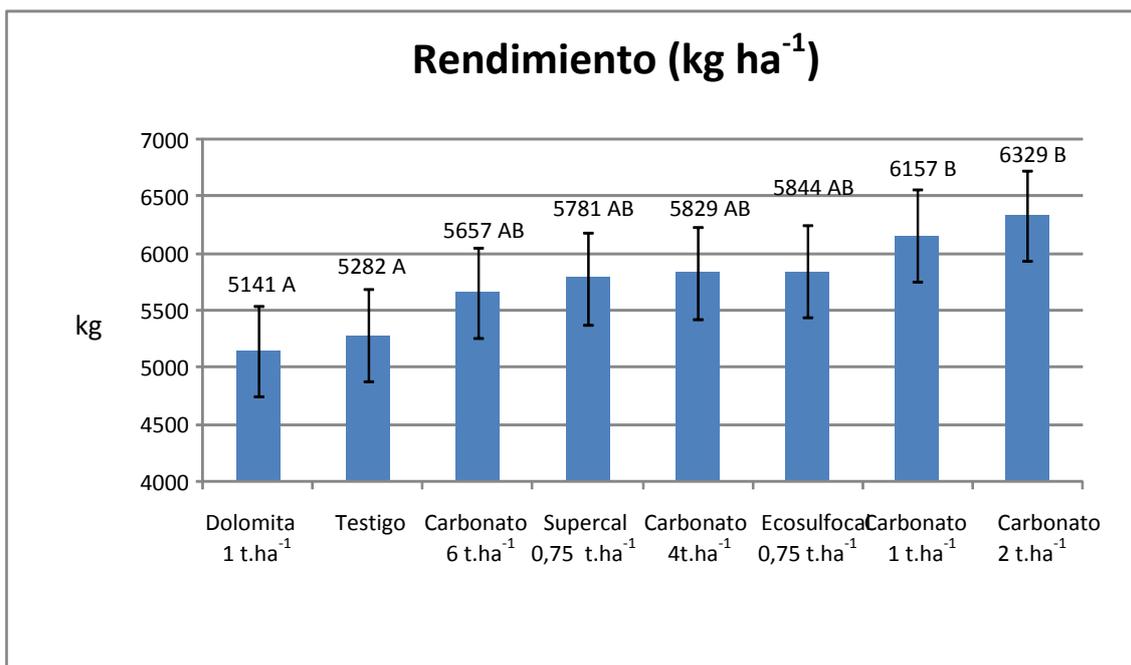


Figura 9. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de arroz en granza.

El análisis estadístico de las variables de calidad molinera no presentó diferencias significativas.

El rendimiento de pilado o % de arroz pilado corresponde a los granos de arroz a los cuales se les ha removido la cáscara, la mayor parte de las capas exteriores al endosperma, y el embrión, se le conoce como arroz elaborado o blanqueado (CONARROZ 2009), y según el MAG (2009), el valor promedio nacional, para la variedad utilizada es de más 70%.

El porcentaje de rendimiento de pilada no mostró efecto significativo a la aplicación de enmiendas y tampoco mostró significancia el porcentaje de grano yesoso (Figura 10 y 11 respectivamente).

Tampoco hubo diferencias con las variables de % de grano yesoso (Figura 11).

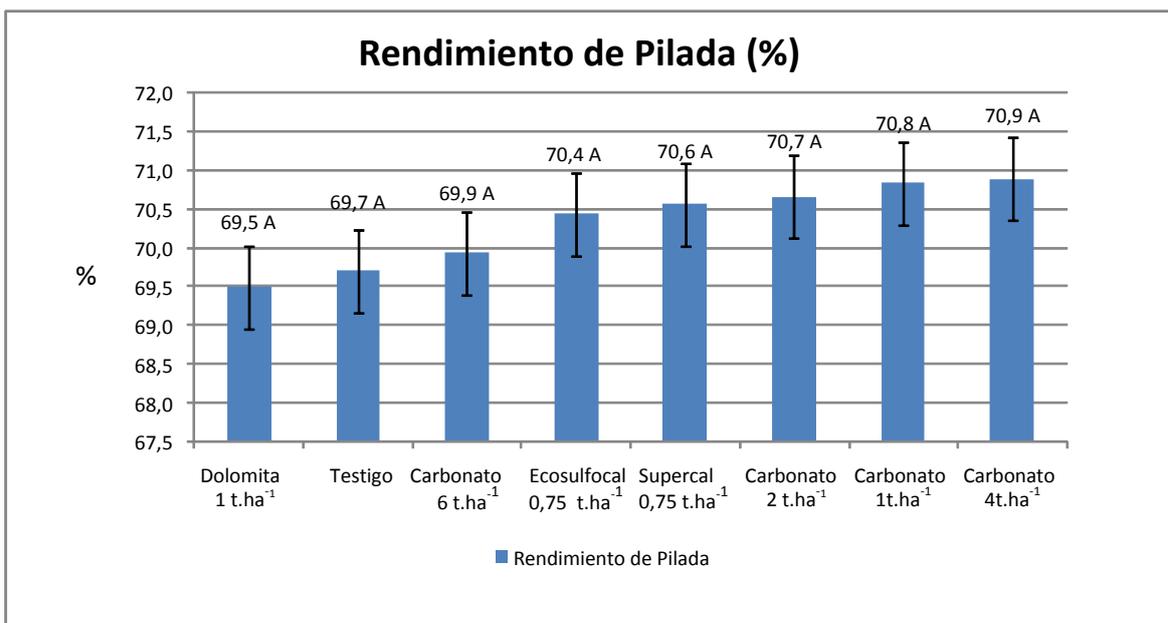


Figura 10. Efecto de la aplicación de enmienda en el % de rendimiento de pilada.

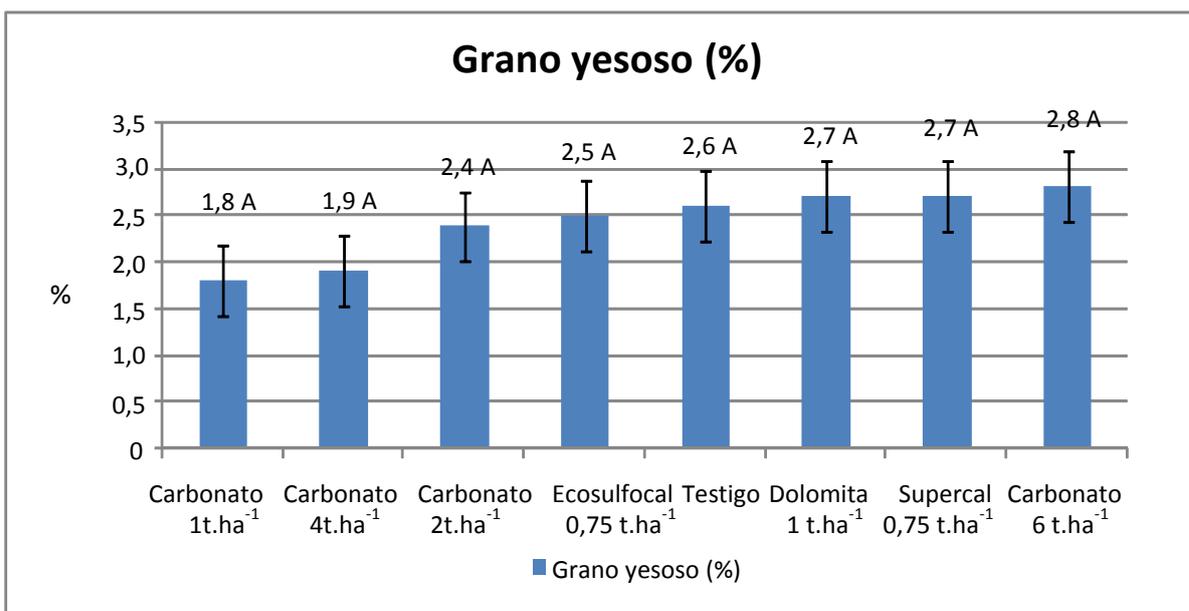


Figura 11. Efecto de la aplicación de enmienda en el % de grano yesoso.

Como lo muestra la Figura 12, con la adición de enmiendas, no hubo respuesta significativa positiva para la variable de rendimiento de grano entero, ya que los tratamientos y el testigo no mostraron diferencias significativas entre sí. Para esta variable los valores promedio más bajos fueron el tratamiento de dolomita 1 t.ha⁻¹ y el testigo, alcanzando un 59,3 y un 60,4%, respectivamente, mientras que los tratamientos de CaCO₃ en dosis de 2 y 4 t.ha⁻¹, fueron los que obtuvieron promedios más altos alcanzando un 63,7 y 63,1 %, respectivamente. El grano entero, es aquel grano de arroz pilado cuya longitud es mayor o igual a tres cuartos del grano sin quebraduras, su valor generalmente oscila entre 50% y 55% en el territorio nacional (CONARROZ 2008).

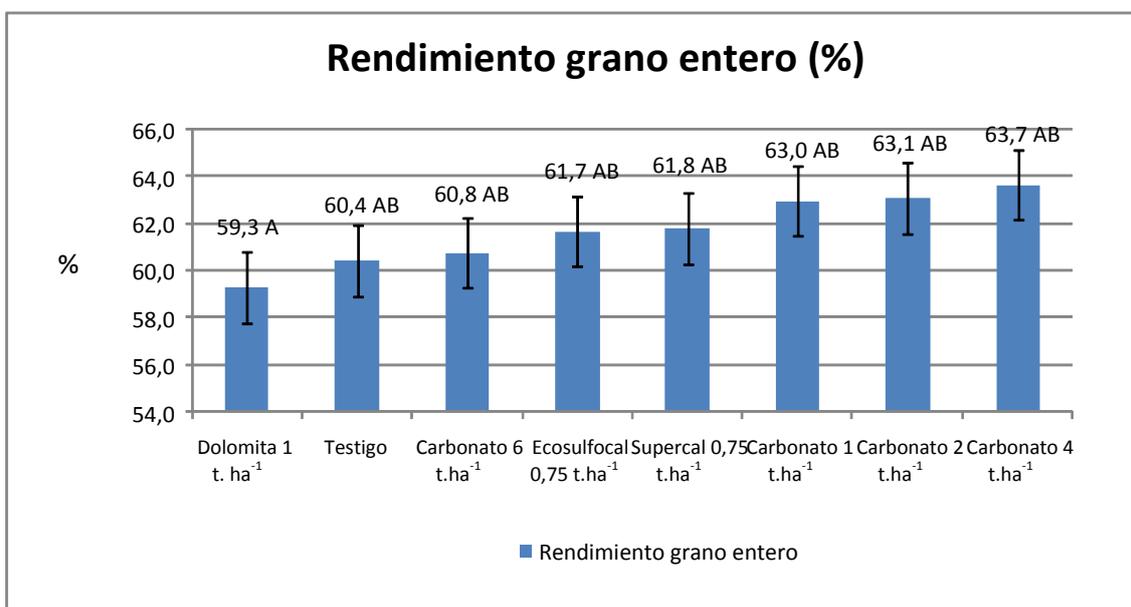


Figura 12. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano entero.

Los resultados obtenidos para la variable rendimiento de grano quebrado (Figura 13), mostraron que hubo diferencias significativas entre los tratamientos

dolomita 1t.ha⁻¹, el cual obtuvo los valores promedio más altos alcanzando un 8,7 % de grano quebrado, mientras que los tratamientos Carbonato 4 t.ha⁻¹ y Carbonato 2 t.ha⁻¹, tuvieron los valores más bajos de grano quebrado con valores de 6,3 y 6,5 % de g respectivamente, siendo de esta manera los mejores tratamientos para esta variable.

Según el CONARROZ (2008), grano quebrado es todo aquel grano de arroz pilado cuya longitud es menor o igual a tres cuartos de longitud del grano sin quebraduras, y su valor oscila entre un 13% y 15%.

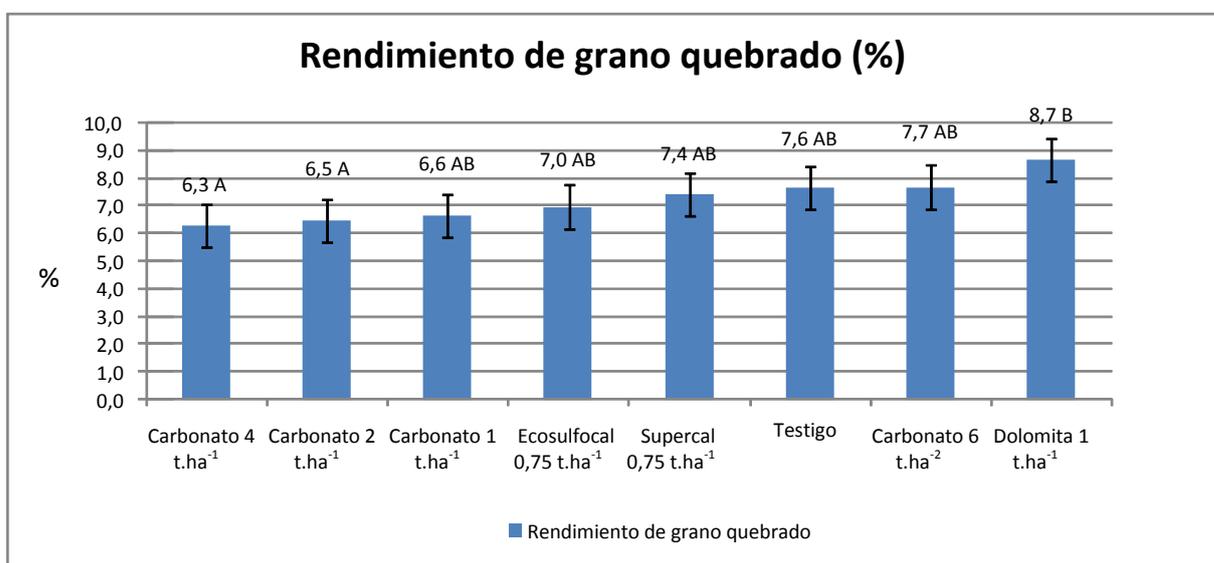


Figura 13. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano quebrado.

El grano dañado, es todo aquel grano de arroz pilado, ya sea entero o quebrado, que presenta deterioro, ya sea por acción de insectos, microorganismos, exceso de humedad o causas mecánicas (CONARROZ 2008).

En la variable porcentaje de grano dañado hubo respuesta significativa al tratamiento dolomita en dosis de 1 t.ha⁻¹, no siendo este significativamente

diferente al testigo, pero si diferente al resto de tratamientos significativamente hablando, el cual obtuvo valores más altos, superando a los otros tratamientos de enmiendas (Figura 14), aunque fue igual que el testigo. El tratamiento dolomita 1t.ha⁻¹ también tuvo escaso efecto en el rendimiento como se mencionó anteriormente, lo que quizás explique su valor más alto de grano dañado.

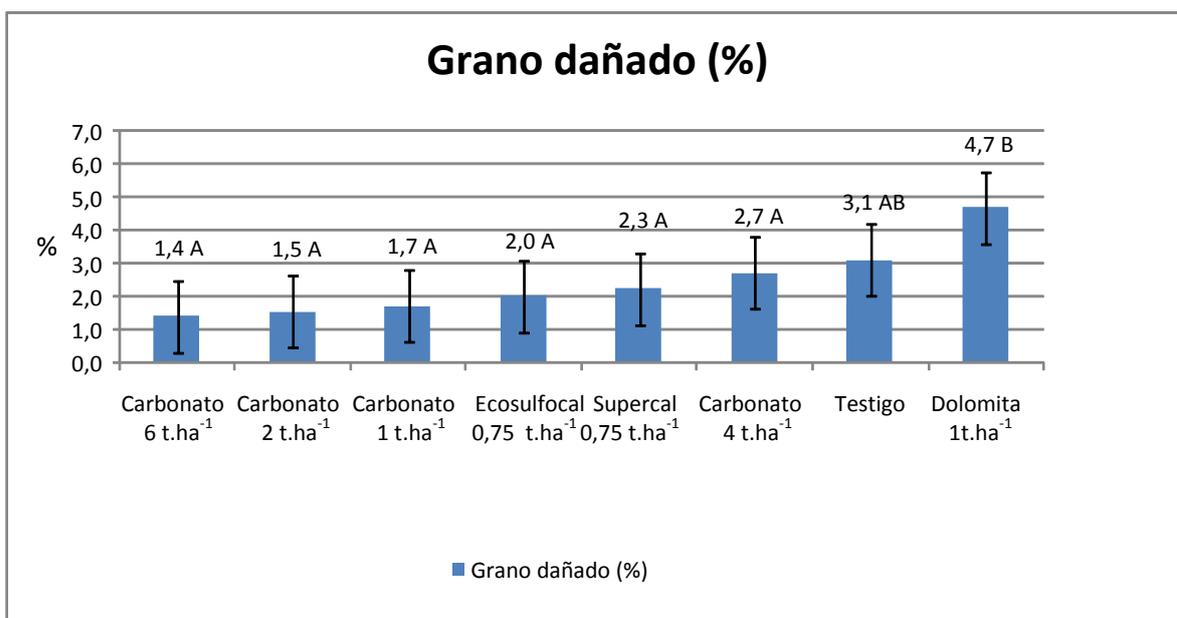


Figura 14. Efecto de la aplicación de enmienda en el rendimiento de grano dañado.

En general para la mayoría de variables de calidad molinera y rendimiento evaluadas, efecto de la adición de enmiendas al suelo, no presenta un patrón claro al analizarlo estadísticamente. Pero agronómicamente, si se pudo observar un efecto positivo de las enmiendas o una respuesta al Ca, a una dosis específica, en varias de las variables evaluadas, siendo la variable de rendimiento, una de las más importantes por el impacto económico. Al evaluar esta variable, utilizando la Eficiencia Agronómica de cada uno de los

tratamientos (Producción (kg)/kg de enmienda aplicada), se observa que el mejor tratamiento debido a la Eficiencia Agronómica, es el tratamiento Carbonato 1 t.ha⁻¹, seguido por los tratamientos Ecosulfocal 0,75 t.ha⁻¹, Supercal 0,75 t.ha⁻¹ y Carbonato 2 t.ha⁻¹, respectivamente. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Valerio y Molina (2012), en un ensayo donde se utilizó una enmienda líquida aplicada al suelo, la cual contiene 56% de CaO. Los resultados de este ensayo, demostraron que todos los tratamientos alcanzaron mayores rendimientos que el testigo, el cual no tuvo aplicación de la enmienda.

5.2 Efecto de la aplicación de enmiendas en la fertilidad del suelo

En general, la aplicación de enmiendas mejoró la fertilidad del suelo, al incrementar el pH, reducir la acidez intercambiable, y aumentar los contenidos de Ca y/o Mg. El pH del suelo aumentó en forma proporcional con la dosis de enmiendas (Figura 14).

El tratamiento testigo obtuvo el menor promedio con un valor de 5,1, manteniendo los valores iniciales de pH que poseía el suelo, seguido por los tratamientos Supercal, Ecosulfocal, CaCO₃ 1 t.ha⁻¹ y Dolomita 1 t.ha⁻¹, los cuales obtuvieron valores promedio que van de 5,20 a 5,38, pero sin ser estos significativamente diferente al testigo. Al aumentar la dosis de CaCO₃ se incrementó el pH, presentando diferencias significativas con respecto al testigo en las dosis más altas. El CaCO₃ en dosis de 6 t.ha⁻¹ subió el pH desde 5,1 a 5,9 mostrando el fuerte poder buffer que presentan estos suelos debido a su naturaleza de mineralogía de arcillas de carga variable que resisten cambios de pH aún con dosis altas de cal (Espinosa y Molina 1999).

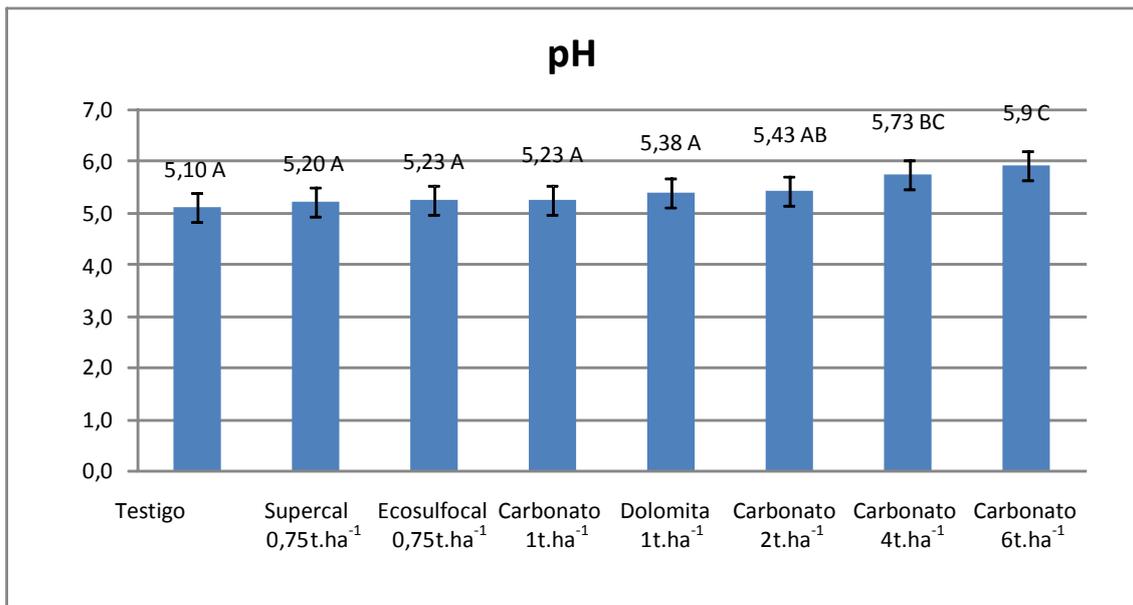


Figura 15. Efecto de la aplicación de enmienda en el pH del suelo.

La aplicación de enmiendas disminuyó el contenido de Acidez Intercambiable como era de esperarse (Figura 15), y en forma similar al efecto que causó sobre el pH, el incremento en la dosis, también redujo la acidez que había en el suelo en forma proporcional a la aplicación. Las dosis más altas de 2, 4 y 6 t.ha⁻¹ de CaCO₃ presentaron diferencias significativas con respecto al testigo sin cal. Las dosis bajas de enmiendas de 1 t.ha⁻¹ o menos fueron estadísticamente superiores al testigo aunque similares entre sí.

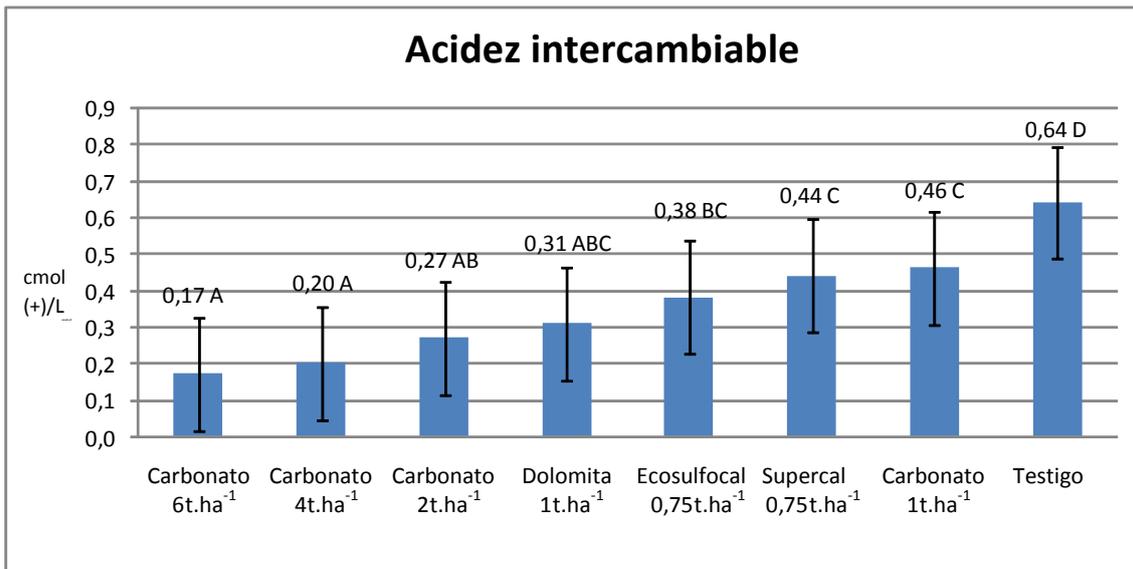


Figura 16. Efecto de la aplicación de enmienda en la acidez intercambiable del suelo.

En la Figura 17 se observa los resultados de la variable para el contenido de calcio en el suelo, para la cual hubo respuesta significativa en la aplicación de enmienda con respecto al testigo y entre tratamientos con aplicación. El tratamiento CaCO_3 en dosis de 6 t.ha^{-1} alcanzó el valor más alto con $7,29 \text{ cmol(+)l}^{-1}$, por lo cual fue estadísticamente diferente al testigo, que el obtuvo el nivel más bajo de Ca, y a los demás tratamientos, sin incluir al tratamiento de $\text{CaCO}_3 \text{ 4t.ha}^{-1}$, con el cual no fue estadísticamente diferente. Hubo un incremento del contenido de Ca al subir la dosis de enmienda, y los tratamiento de 2, 4 y 6 t.ha^{-1} de CaCO_3 superaron con diferencias significativas al testigo. Los resultados obtenidos para esta variable eran de esperarse, ya que con la aplicación de los diferentes tipos de enmiendas, se introduce al suelo una gran cantidad de Ca en el sistema (Molina 1999; Kass 2007).

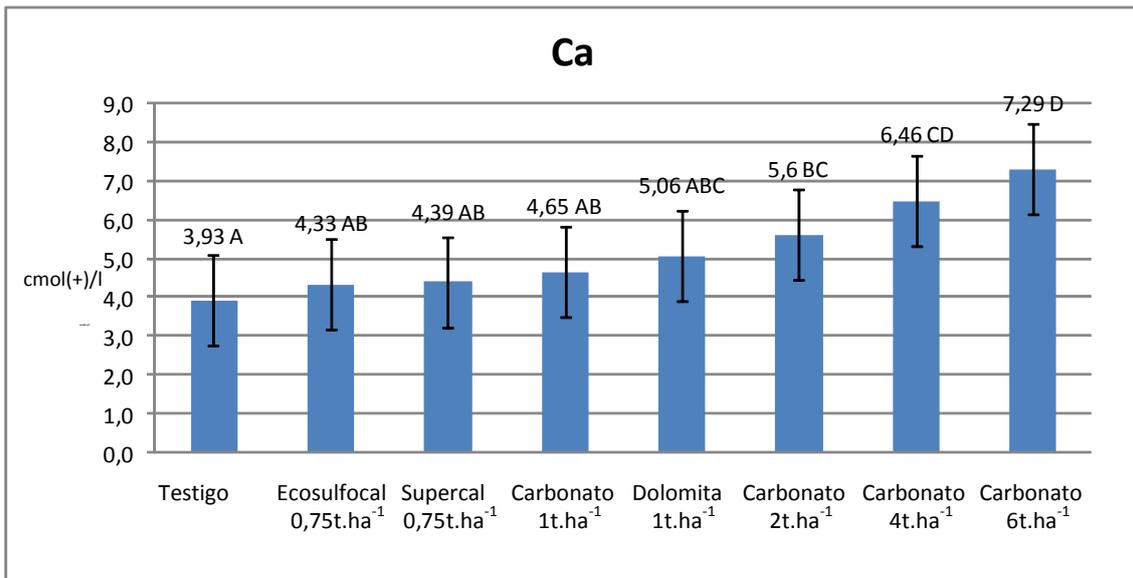


Figura 17. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Ca en el suelo.

En cuanto a las variables de contenido de Mg y K en el suelo, no hubo diferencias significativas (Figuras 18 y 19). Las tres enmiendas con Mg presentaron valores superiores al testigo en el contenido de este elemento, pero sin diferencia significativa, lo cual podría deberse a que en el caso del Mg, los contenidos de este elemento antes de la aplicación de las enmiendas, se encontraban por encima del nivel crítico (Bertsh 1998), por lo cual se podría pensar que el suelo podía suplir el requerimiento de Mg.

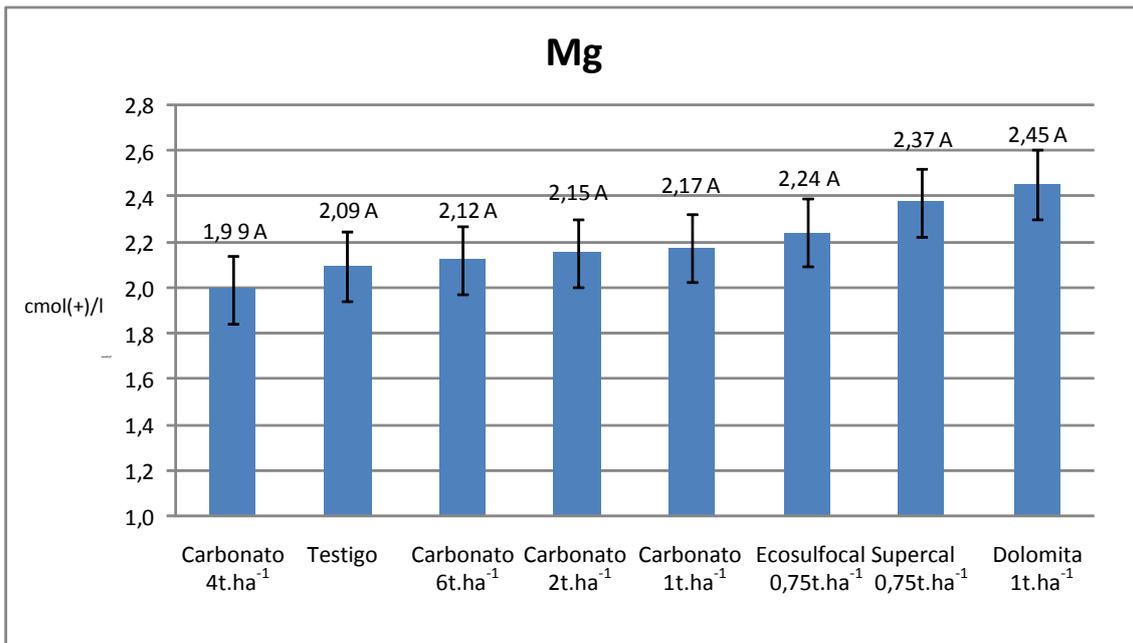


Figura 18. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Mg en el suelo.

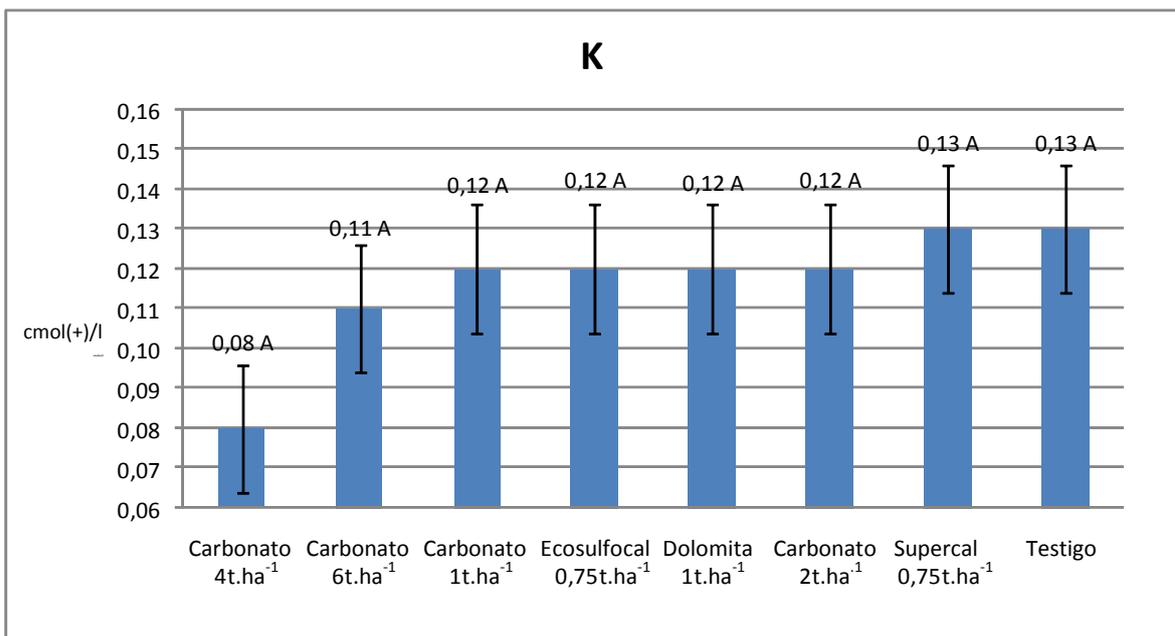


Figura 19. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de K en el suelo.

La Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE), que es la suma de las bases Ca, Mg y K, más la acidez intercambiable obtenida con KCl 1N, se incrementó con la dosis de enmienda, y las dosis más altas de CaCO₃

presentaron valores de CICE superior al testigo con diferencia significativa, probablemente debido al efecto que tuvo el carbonato de calcio en el incremento del Ca en el suelo, elemento que contribuye en mayor grado en la suma de bases.

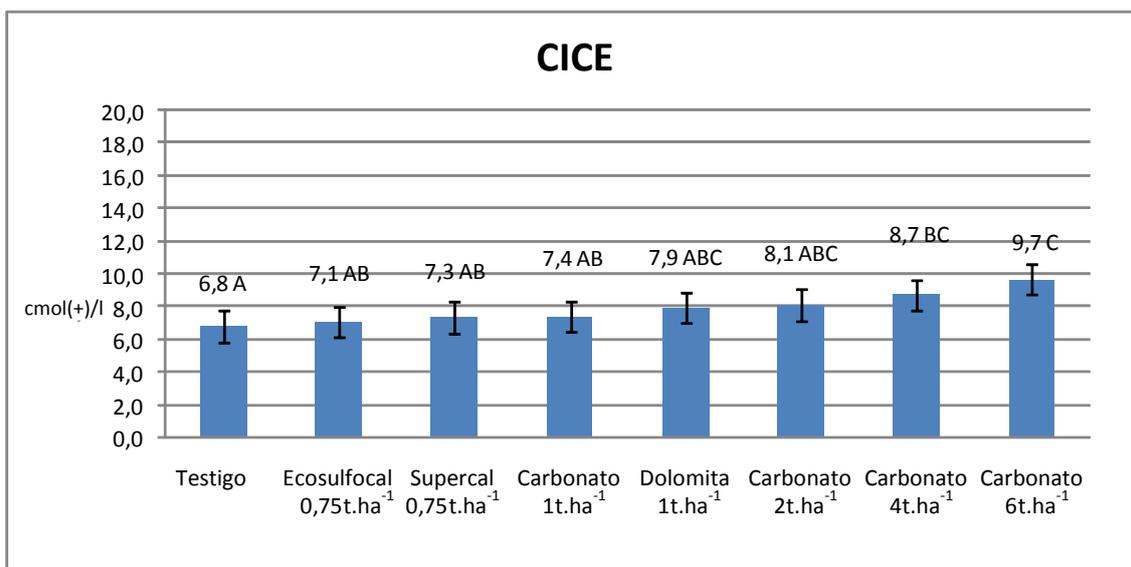


Figura 20. Efecto de la aplicación de enmienda en la Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE) en el suelo.

Para el porcentaje de saturación de acidez, si bien es cierto todos los valores obtenidos son valores bajos en lo que respecta a esta variable, se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 21), destacándose las dosis más alta de CaCO_3 con los valores más bajos debido al efecto que tuvo en disminuir la acidez intercambiable e incrementar el contenido de Ca.

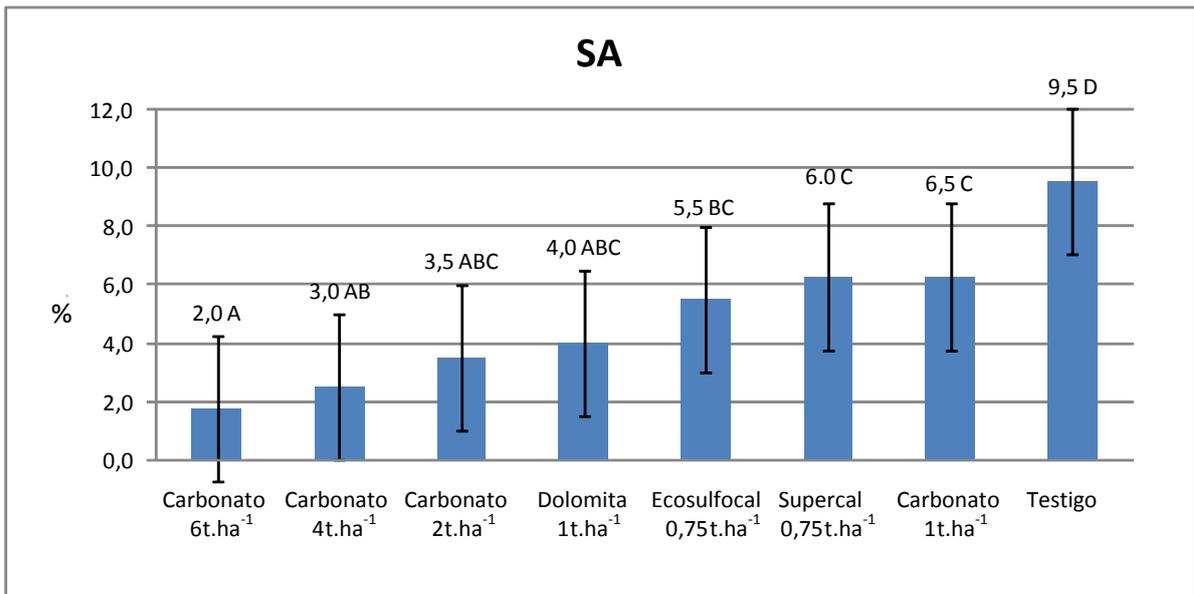


Figura 21. Efecto de la aplicación de enmienda en el % Saturación de Acidez en el suelo.

Los contenidos de Fe y Mn eran altos, como es de esperar en un suelo ácido (Espinosa y Molina 1999). El incremento en la dosis de enmiendas disminuyó los contenidos de ambos elementos pero sin diferencias significativas entre tratamientos (Figuras 22 y 23). Las dosis más altas de CaCO_3 presentaron los niveles más bajos de Fe y Mn, probablemente debido al incremento del pH que redujo la disponibilidad de ambos nutrientes (Bertsch 1995, Kass 2007).

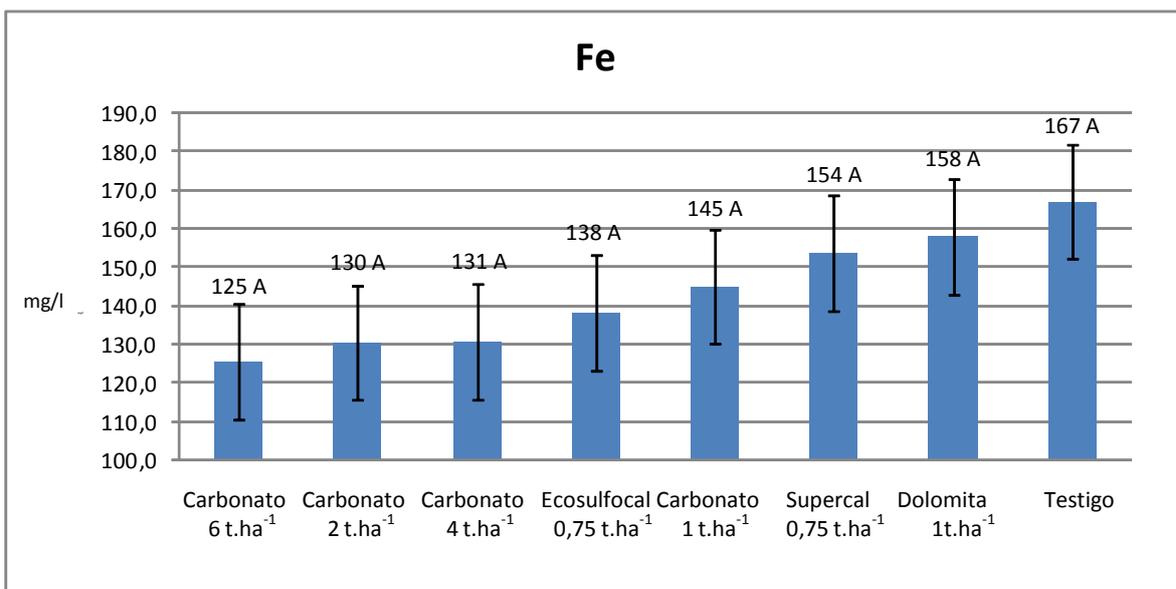


Figura 22. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Fe en el suelo.

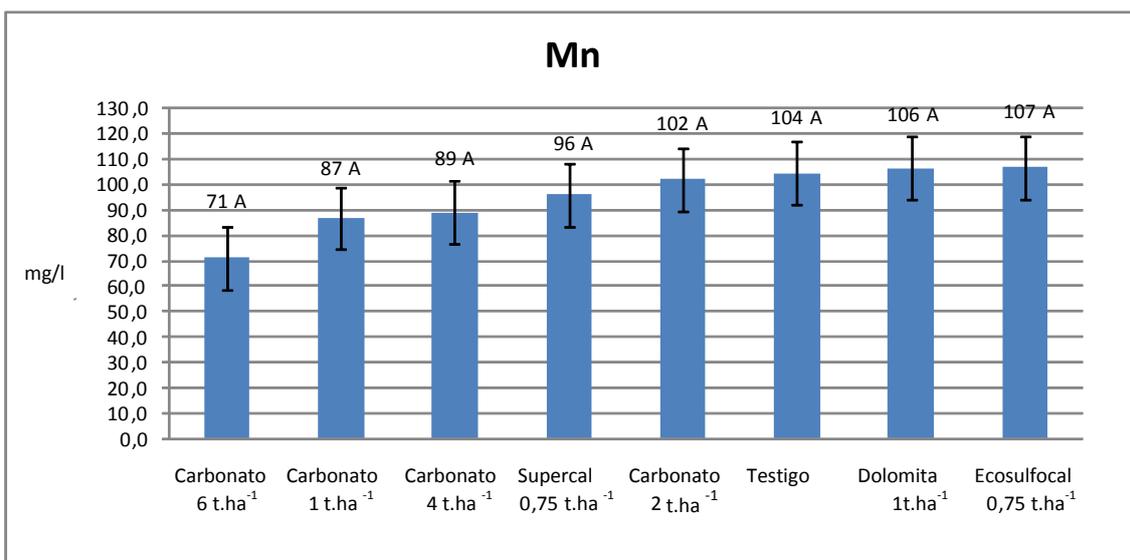


Figura 23. Efecto de la aplicación de enmienda en el contenido de Mn en el suelo.

A nivel general, el efecto de las enmiendas en el suelo mostró un patrón esperado, ya que con la aplicación de los diferentes tipos de enmiendas se subió el contenido de Ca en el suelo, y por ende aumentando los valores de pH, disminuyendo la acidez y la saturación de acidez, debido a la relación que hay entre estas variables. Esto concuerda con lo encontrado por Molina

(2005), en un ensayo de encalado en dosis crecientes de CaCO_3 , y un suelo con problemas de acidez y cultivado con naranja, este autor encuentra que al aumentar la dosis de la enmienda, también aumentó la concentración de Ca en el suelo, los valores de pH y la CICE del suelo, y disminuyó la acidez y la saturación de acidez. En este mismo ensayo los resultados demuestran que el rendimiento de cultivo fue mayor a mayores dosis de la enmienda.

6. CONCLUSIONES

- El uso de uso de enmiendas afecta de forma positiva la variable de rendimiento del cultivo de arroz, lo cual se reflejó en la producción de arroz en granza ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), siendo el mejor tratamiento la dosis de $1\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 .
- La aplicación de las enmiendas aumentó el pH y el contenido de Ca y la CICE, del suelo, y redujo la acidez intercambiable, principalmente con las dosis más altas de CaCO_3 .
- Con la aplicación de $1\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 se obtuvo un aumento en la ganancia económica de un 39%.
- Hubo una respuesta favorable al Ca en el rendimiento del cultivo.

7. LITERATURA CITADA

- ALCARDE J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretacoes técnicas. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim Técnico No. 6. 26 p.
- ALVARADO A., FALLAS J. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la Teca (*Tectona grandis*) en suelos ácidos de Costa Rica. Agronomía costarricense 28(1): 81-87.
- ALVARADO A. 1985. El origen de los suelos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 54 p.
- ÁLVAREZ I., SAM O., REYNALDO I. 2005. Cambios inducidos por el Al en la morfogénesis radicular del arroz (*Oryza sativa*). Cultivos Tropicales 26(1): 21-25.
- BERSTCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 157 p.
- BLÁZQUEZ M. 2006. El manejo del riego en el cultivo del arroz. Organización para Estudios Tropicales (OET), San José, Costa Rica. 14 p.
- BRAEUNER M., ORTIZ R., MacVEAN C. 2005. Efecto de la aplicación de cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (*Coffea arabica*) afectados con el Mal de Viñas en Guatemala. Manejo Integrado de Plagas (CATIE) 76: 17-24.
- CAMARGO S. 2005. Acidez do solo e calagem. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil. Memoria. 26 p.
- CHAUDHARY R., NANDA J., TRAN D. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. FAO, Roma, Italia. 80 p.
- CHAVARRIA A. 1983. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas de cinco suelos ácidos de Costa Rica. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 154 p.

- CHAVES M.A. 1993. Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo. DIECA, San José, Costa Rica. 41 p.
- CORDERO A. 1991. La fertilización del cultivo de arroz bajo riego en Costa Rica In T.J. Smyth, W.R. Raun y F. Bertsch (eds), Segundo Taller Latinoamericano de Manejo de Suelos Tropicales, North Carolina State University. San José, Costa Rica. p. 196-205.
- CORDERO A. 1993. Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 100 p.
- CORDERO A., MINER G.S. 1975. Programa de calibración de análisis de suelo para la fertilización de arroz y maíz en Costa Rica. En Seminario sobre manejo de suelos y el proceso de desarrollo en América Tropical. Manejo de Suelos en América Tropical. San José, Costa Rica. p. 533-548.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2009. Informe estadístico periodo 2008/2009. Boletín informativo. San José, Costa Rica. 48 p.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2008. Fertilización en arroz seco favorecido. Boletín informativo. San José, Costa Rica.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2008. Reglamento técnico del arroz en granza. Memoria, San José, Costa Rica. 28 p.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2010. Caracterización del arroz en granza períodos 2005/2006, 2007/2008 y 2008/2009. Memoria. San José, Costa Rica. 14 p.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2011. Reglamento interno del mecanismo para la valoración del arroz en granza. Memoria. San José, Costa Rica. 16p.
- COTO P. 1991. Respuesta de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L) CR 1821 y las líneas promisorias CR 8334 y CR 8341, a la fertilización

nitrogenada bajo condiciones de riego. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 103 p.

DE DATTA S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Productions. John Willey & Son, New York. 618 p.

DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68 p.

ESPINOSA E., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS, Quito, Ecuador. 42 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2004. El arroz y la nutrición humana. Boletín informativo. Roma, Italia.

KAMPURATH E. 1984. Crop response to lime in soils of the tropics. In F. Adams (ed). Soil acidity and liming, ASA, Wisconsin. p. 349-369.

KASS D. 2007. Fertilidad de suelos. 2^{da} reimpresión, EUNED, San José, Costa Rica. 272 p.

LÓPEZ I. 1987. Efecto residual de cal en un suelo ultisol después de cuatro años de aplicaciones de la enmienda. Agronomía Tropical 37: 43-53.

MATA R. 2003. Principios generales sobre pedología y taxonomía de suelos. Curso de certificadores de uso conforme de suelos. Aguirre, Puntarenas, Costa Rica. Memoria. 107 p.

MATA R., MOLINA E., ALVARADO A. 1996. Los Principales Vertisoles de Costa Rica. In Congreso Agronómico Nacional, X, Colegio de Ing. Agr., San José, Costa Rica, Vol. III, p 39.

MARTÍNEZ E., COLMENARES C. 1995. Efecto del encalado y el fósforo sobre el rendimiento de materia seca del maíz (*Zeamays L.*) y la disponibilidad de fósforo en un Ultisol. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 12: 167-174.

- MÉNDEZ J.C., BERTSCH F. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 108 p.
- MITE F., MEDINA L., ESPINOSA J. 2009. Efecto de la corrección del pH en el rendimiento de piña en suelos volcánicos. Internacional Plant Nutrition Institute, Ecuador, Informaciones Agronómicas No. 73: 1-5.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 45 p.
- MOLINA E., ROJAS A. 2005. Efecto del encalado en el cultivo de naranja Valencia en la Zona Norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(3): 81-95.
- MOLINA E., RODRÍGUEZ J.H. 2012. Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. Agronomía Costarricense 36(1): 39-51.
- MURILLO J., GONZÁLEZ R. 1983. Manual para la producción de arroz de secano en Costa Rica. CAFESA, San José, Costa Rica. 127 p.
- PEREIRA I., APARECIDA K., GONÇALVES K., PIRES F. 2005. Considerações sobre a acidez do solos. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos. 1(1): 1-12.
- PÉREZ R. 1987. Efecto del encalado en la neutralización del Al intercambiable sobre el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicon*). Agronomía Tropical. 36: 89-110.
- QUIRÓS R., RAMÍREZ C. 2006. Evaluación de la fertilización nitrogenada en arroz inundado. Agronomía Mesoamericana 17(2): 179-188.
- RAMÍREZ R. 1995. Relación de la germinación prematura del maíz con el encalado y el molibdeno de la semilla. Agronomía Tropical 45 (4): 595-608.

- RAIJ B. VAN, QUAGGIO J.A., CANTARELLA H., FERREIRA M.E., LOPES A.S., BATAGLIA O.C. 1987. Análise química do solo para fins de fertilidade. Fundação Cargill, Instituto Agrônomo, São Paulo, Brasil. 170 p.
- RODRÍGUEZ J.H. 1999. Fertilización del cultivo del arroz (*Oryza sativa*). In 11° Congreso Nacional Agronómico y Recursos Naturales, 3° Congreso Nacional de Suelos. Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José Costa Rica. Vol. III, p. 123-136.
- TINOCO J., ACUÑA A. 2009. Cultivo De Arroz (*Oryza sativa*). INTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 73 p.
- TISDALE S., NELSON W., BEAT J., HAVLIN J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5^{ta}ed. Mc Millan, Columbus, USA. 378 p.
- USDA. 2010. Keys to soil taxonomy. 11^a ed., USDA, Washington, USA. 338 p.
- VALERIO J.M., MOLINA E. 2012. Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento del arroz en un ultisol de la zona norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense vol. 36 (1).
- VILLEGAS O., VARGAS F., PÉREZ J., GARCÍA R., PORRAS S., MENESES R., QUESADA A., DELGADO G., ALPIZAR D., MORA B., LEON R., ALFARO D. 2008. Programa nacional de producción de alimentos región Huetar Norte. Boletín técnico, MAG, San José, Costa Rica. 35 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Promedios de las variables del cultivo.

Cuadro 3. Resumen de promedios en variables evaluadas.

Tratamiento	Largo (cm)		Número			Rendimiento (kg.ha)
	Panícula	Espigillas	Total Gr.	Gr. vanos	Gr. llenos	
Testigo	27,13	12,15	120,68	22,53	98,15	5141
Carbonato 1t.ha	27,50	13,08	124,68	17,10	107,58	5282
Carbonato 2t.ha	27,72	13,25	139,98	18,63	121,35	5657
Carbonato 4t.ha	27,35	12,68	128,75	20,33	108,43	5781
Carbonato 6t.ha	27,99	12,93	135,90	23,60	112,30	5828
Dolomita 1t.ha	28,53	12,85	123,20	20,68	102,53	5844
Ecosulfocal 0,75t.ha	28,63	13,60	153,80	24,78	129,03	6157
Supercal 0,75t.ha	28,42	12,85	130,45	24,35	106,10	6329

Anexo 2. Promedios finales de las variables de suelo.

Cuadro 4. Resumen de promedios finales de las variables de suelo evaluadas.

Tratamiento	pH	ACIDEZ	cmol(+)/L				CICE	%	mg/L				
	H ₂ O		Ca	Mg	K	SA		P	Zn	Cu	Fe	Mn	
	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	
Testigo	5,10	0,64	3,93	2,09	0,13	6,78	10	3,50	1,48	7,50	167	104	
Carbonato 1t.ha	5,23	0,46	4,65	2,17	0,12	7,39	6	2,50	1,25	8,00	145	87	
Carbonato 2t.ha	5,43	0,27	5,60	2,15	0,12	8,14	3	3,25	1,35	7,75	130	102	
Carbonato 4t.ha	5,73	0,20	6,46	1,99	0,08	8,73	2	1,75	1,20	8,50	131	89	
Carbonato 6t.ha	5,90	0,17	7,29	2,12	0,11	9,68	2	2,00	1,23	7,75	125	71	
Dolomita 1t.ha	5,38	0,31	5,06	2,45	0,12	7,94	4	2,50	1,40	8,25	158	106	
Ecosulfocal													
0,75t.ha	5,23	0,38	4,33	2,24	0,12	7,07	5	2,00	1,25	8,00	138	107	
Supercal													
0,75t.ha	5,20	0,44	4,39	2,37	0,13	7,34	6	3,25	1,30	8,25	154	96	

Anexo 3. Cálculos económicos

Cuadro 5. Lista de precios en colones de enmienda y bulto de arroz

Lista de precios (colones)	
Precio saco enmienda	8000
Precio t.enmienda	160000
Precio bulto de arroz	24300
Precio t.arroz granza	330163

Cuadro 6. Diferencia obtenida en la producción entre aplicación y no aplicación de cal.

Diferencia en producción (kg)	
Rendimiento con cal	6157
Rendimiento sin cal	5282
Diferencia en producción	875

Cuadro 7. Cálculos para estimar la ganancia obtenida.

Ganancia económica (colones)	
Valor de la diferencia	288893
Precio t.enmienda	160000
Ganancia	128893