



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo
en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora –
Tocache – San Martín**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Deygar Luis Cruzado Medina

ASESOR:

Ing. M.Sc. Guillermo Vásquez Ramírez

Tarapoto – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo
en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora –
Tocache – San Martín**

AUTOR:

Deygar Luis Cruzado Medina

Sustentada y aprobada el 7 de setiembre del 2017 ante el honorable jurado

.....
Dr. Carlos Rengifo Saavedra
Presidente

.....
Ing. M.Sc. Javier Ormeño Luna
Secretario

.....
Ing. Eybis José Flores García
Miembro

.....
Ing. M.Sc. Guillermo Vásquez Ramírez
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Deygar Luis Cruzado Medina, con DNI N° 44946265, egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, con la tesis titulada: Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora-Tocache-San Martín

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se construirán en aportes a la realidad investigativa.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio, (al presentar otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Tarapoto, 7 de setiembre de 2017



.....
Deygar Luis Cruzado Medina
DNI. 44946265

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Cruzado Medina Deygar Luis		
Código de alumno :	101335	Teléfono:	910 805282
Correo electrónico :	deygarluis@gmail.com	DNI:	44946265

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ciencias Agrarias		
Escuela Profesional de:	Agronomía		

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(x)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos de trabajo de investigación

Título:	Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), Distrito de Pólvora - Tocachi - San Martín		
Año de publicación:	2017		

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(x)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indiquen el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el Título Profesional o Grado Académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

12 / 02 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Índice general

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 La acidez de los suelos	3
1.2 Enmiendas del suelo	6
1.3 Cálculo de dosis	10
1.4 Efecto residual, época y forma de aplicación de las enmiendas	11
1.5 Encalado superficial en un suelo con praderas permanentes	11
1.6 Parámetros de acidez en un suelo sembrado en forma tradicional y con cero labranzas	12
1.7 Cultivo del Cacao	12
1.8 Efectos de la agricultura en la acidez del suelo	20
1.9 Establecimiento y manejo del suelo	21
1.10 Nutrición vegetal y/o suelo	21
1.11 Factores que influyen en la aplicación de enmiendas calcáreas	22
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1 Tipo y nivel de investigación	27
2.2 Diseño de la investigación	27
2.3 Población y muestra	27
2.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos	28
2.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	28
2.6 Ubicación del campo experimental	30
2.7 Conducción del experimento	32
2.8 Características del campo experimental	33
2.9 Indicadores evaluados	33
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1 Número de mazorcas por planta	35
3.2 Peso de la mazorca (kg)	36
3.3 Número de granos por mazorca	38

3.4	Peso fresco de granos por mazorca	39
3.5	pH	41
3.6	Número de mazorcas pérdidas por monilia	42
3.7	Longitud de la mazorca (cm)	44
3.8	Peso de granos por mazorca en seco (kg)	45
	CONCLUSIONES	48
	RECOMENDACIONES	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	ANEXOS	54

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Niveles adecuados de pH para el desarrollo de las principales especies cultivadas	10
Tabla 2: Capacidad tampón de algunos suelos según textura	11
Tabla 3: Tratamientos, claves, descripción y dosis	28
Tabla 4: Análisis de varianza para el experimento	29
Tabla 5: Condiciones climáticas durante el experimento	31
Tabla 6: Análisis físico-químico del suelo	32
Tabla 7: ANVA para el número de mazorcas por planta: Dato $\sqrt{R^2}$	35
Tabla 8: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos	35
Tabla 9: ANVA para el Peso de mazorca (Kg)	36
Tabla 10: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de peso de mazorca (kg), en los tratamientos	37
Tabla 11: ANVA para el Número de granos por mazorca	38
Tabla 12: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos	38
Tabla 13: ANVA para el Peso fresco de granos por mazorca (Kg)	39
Tabla 14: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos	40
Tabla 15: ANVA para el pH	41
Tabla 16: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de pH, en tratamientos	41
Tabla 17: ANVA para el Número de mazorcas perdidas por monilia	42
Tabla 18: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos	42
Tabla 19: ANVA para el Longitud de la mazorca (cm)	44
Tabla 20: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos	44
Tabla 21: ANVA para el Peso de granos por mazorca en seco (Kg)	45
Tabla 22: Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de peso de mazorca en los tratamientos	45

Resumen

El trabajo de investigación efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora – Tocache – San Martín, tuvo como objetivo general determinar la enmienda agrícola con mejores resultados en el pH y disponibilidad de nutrientes del suelo para incrementar la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en la provincia de Tocache, región San Martín, realizado en la finca “El Pedregal” de propiedad del señor Artemio Velásquez Olascuaga, en el sector San Miguel-Nuevo Horizonte, ubicado a 25 km del distrito de Tocache, provincia de Tocache, región San Martín, con ubicación geográfica Latitud sur 08° 06’ 36.70”; Longitud Oeste 76° 39’ 30.30”; Altitud de 567 m.s.n.m., con una zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). La conducción del experimento fue de muestra del suelo, deshierbo, aplicación de las enmiendas, cuyos indicadores evaluados son nivel de pH del suelo, análisis físico-químico del suelo, parámetros de producción y análisis económico; concluyendo de la siguiente manera con una aplicación de Magnecal (T3) de 95,83kg se obtuvieron los mejores resultados agronómicos y estadísticamente superiores a los demás tratamientos en el número de mazorcas por planta (8 mazorcas), peso de la mazorca (0,8kg), número de granos por mazorca (46,25), peso fresco de granos por mazorca (0,205kg), tamaño de mazorca (25,25 cm), peso seco de granos por mazorca (0,073 kg) y 3,5 mazorcas perdidas por monilia, en función al pH promedio del T0 con 4,91, con la aplicación de los tratamientos T4 (magnocal), T1 (Cal agrícola), T3 (Magnecal) y T2 (Dolomita) se incrementaron los valores del pH del suelo en 0,02; 0,07; 0,22 y 0,24.

Palabras clave: Aplicación de enmiendas, origen mineral, pH, plantaciones de cacao, *Theobroma cacao*, disponibilidad de nutrients, incremento de la productividad.

Abstract

The research work effect of the application of amendments of mineral origin on the pH of the soil in cocoa plantations (*Theobroma cacao*), district of Pólvora - Tocache - San Martín, had as general objective to determine the agricultural amendment with better results in pH and availability of nutrients from the soil to increase the productivity of the cocoa crop (*Theobroma cacao*) in the province of Tocache, San Martín region, carried out on the “El Pedregal” farm owned by Mr. Artemio Velásquez Olascuaga, in the San Miguel sector Nuevo Horizonte, located 25 km from the district of Tocache, province of Tocache, region San Martín, with geographic location Latitude south $08^{\circ} 06' 36.70''$; West Longitude $76^{\circ} 39' 30.30''$; Altitude of 567 m.a.s.l., with a tropical dry forest (bs-T) life zone. The conduct of the experiment was a sample of soil, weeding, application of the amendments, whose indicators evaluated are soil pH level, physical-chemical analysis of the soil, production parameters and economic analysis; concluding in the following way with an application of Magnecal (T3) of 95.83kg the best agronomic results were obtained and statistically superior to the other treatments in the number of ears per plant (8 ears), weight of the ear (0.8kg), number of grains per ear (46.25), fresh weight of grains per ear (0.205kg), size of cob (25.25 cm), dry weight of grains per ear (0.073 kg) and 3.5 lost ears per monilia, depending on the average pH of T0 with 4.91, with the application of treatments T4 (magnocal), T1 (agricultural lime), T3 (Magnecal) and T2 (Dolomite), the pH values of the soil were increased in 0.02; 0.07; 0.22 and 0.24.

Keywords: Application of amendments, mineral origin, pH, cocoa plantations, *Theobroma cacao*, nutrient availability, increased productivity.



Introducción

El cacao es un árbol nativo de América Tropical. Estima que su población se extiende naturalmente a lo largo de la parte central, el oeste y el norte de las Guayanas en el Amazonas y el sur de México. De estos lugares, se dispersaron los dos tipos principales de cacao: el criollo y el forastero (Arévalo, 2016).

Los suelos de la Amazonía y en particular de la Selva Alta del Perú, se caracterizan por que aproximadamente el 70% de ellos cuenta con pH ácido deficiente en fósforo y nitrógeno, siendo esta la razón de su génesis por un lado y el cambio de uso de la tierra por el otro; cuando el pH de los suelos baja a valores menores de 5,5 aparecen efectos nocivos de acidez del suelo, resumiéndose estos en el bajo tenor de bases, pérdidas por lixiviación, alto poder de fijación de fósforo debido a la formación de fosfatos insolubles de aluminio y hierro insolubles, concentración tóxica de Al y Mn y débil actividad microbiana, entre otros (Arévalo, 2016).

Actualmente el mercado nacional e internacional demanda una alta producción de cacao, siendo la producción en nuestra provincia considerada de baja escala, debido a que los agricultores cacaoteros tienen dificultades en el manejo adecuado del cultivo, por lo que es de vital importancia conocer, manejar el cultivo bajo condiciones de pH del suelo, ya que esta condición es crítica e importante dentro del proceso de producción del cultivo (White et al, 2005, Alegre 1993).

Con el estudio se pretende conocer el efecto de aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora, Provincia de Tocache en la perspectiva de mejorar la producción de cacao en la provincia.

El trabajo de investigación tuvo como objetivo general de: Determinar la enmienda agrícola con mejores resultados en el pH y disponibilidad de nutrientes del suelo para incrementar la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en la provincia de Tocache, región San Martín.

Como objetivos específicos: Evaluar el efecto de la aplicación de cuatro enmiendas

agrícolas sobre el pH del suelo en el cultivo de cacao y evaluar el efecto de la aplicación de cuatro diferentes enmiendas agrícolas sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 La acidez de los suelos

El análisis de suelos es una de las herramientas más útiles para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos. En el caso de la acidez, mediante este procedimiento es posible detectar su presencia y a su vez generar una recomendación para solventar adecuadamente el problema. La acidez o aluminio intercambiable se determina mediante la extracción del suelo con una sal neutra no tamponada, tal como el KCl 1N, y la titulación del extracto con una base. Esta fracción constituye el aluminio e hidrogeno intercambiable y el de la solución del suelo que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas. La mayor parte de la acidez en los suelos tropicales (excluyendo los suelos orgánicos) proviene del aluminio, por lo que generalmente se habla de acidez intercambiables (Al^{+3} ; H^+) y aluminio intercambiable como si fuera sinónimos (Molina, 1998).

La saturación de acidez es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por aluminio e hidrógeno. El valor del porcentaje de saturación de aluminio o acidez intercambiables es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez. Cada cultivo, variedad o cultivar tiene su grado de tolerancia a la acidez, lo cual depende de las características genéticas de la planta. Sin embargo, en términos generales se puede indicar que casi ningún cultivo puede soportar más de 60% de saturación de acidez, y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25 %. El pH del suelo está directamente relacionado con el porcentaje de saturación de acidez, ya que el aluminio intercambiable precipita entre pH 5,5 y 6,0. Cuando el pH es menor de 5,5 el aluminio se solubiliza, y por lo tanto, resulta más abundante y tóxico para las plantas. La suma de bases ($Ca+Mg+K$) es también importante, ya que se considera que un valor inferior a 5 $cmol(+)/L$ puede llegar a disminuir el rendimiento de los cultivos (Molina, 1998).

Las aplicaciones de enmiendas y/o enclada consisten en la aplicación masiva de las sales básicas con el objetivo de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno

y aluminio. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable. La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio, y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligadas estos cationes: CO^{2-} , OH^- y SiO_3^{2-} . Los cationes reemplazan a los iones de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo (Espinoza, 1995) las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- . Los OH^- generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la nutrición de las plantas. Por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso.

1.1.1 Referencias de investigaciones realizadas en el manejo de la acidez del suelo

A continuación indicamos algunos resultados de estudios realizados y tomados de la tesis Doctoral de Rengifo (2014):

- En un estudio a nivel de invernadero la toxicidad del aluminio en suelos de Tingo María (Perú) con pH 4,2 y aluminio 3,5 cmol (+)/kg de suelo usando algodón como planta indicadora y se encontró que adiciones de 0, 2, 4, 6, 8 y 12 cmol (+)/kg de cal apagada al suelo, aumentó progresivamente el pH del suelo con la consiguiente disminución de la saturación de aluminio (Del Águila, 1968). A su vez, los rendimientos de materia seca del cultivo aumento hasta los 6 cmol/kg de cal; niveles mayores provocaron disminución de rendimientos con la elevada cantidad de calcio en el suelo que ocasionó desequilibrio en las relaciones Ca/K y Ca/Mg y probablemente inmovilización de algunos macro y micronutrientes del suelo disminuyendo su absorción.
- En Colombia, se encontró respuesta significativa a aplicaciones de carbonatos de calcio sobre el rendimiento de la caña de azúcar en suelos de cenizas volcánicas (Parra, 1971). Sin embargo, encalamientos sucesivos con una y dos toneladas de CaCO_3 por corte tuvieron un efecto detrimental.

- En Yurimaguas (Perú), se evaluó el efecto residual en cuarta campaña de aplicaciones de cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de 0, 1, 2, 3 y 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en los cultivos de maíz y soya. Los resultados mostraron que el maíz variedad PD (MS)6, alcanzó los máximos rendimientos con 2 t/ha de cal, incrementándose el rendimiento linealmente llegando hasta 2,41 t/ha de grano. La soya variedad nacional, también respondió linealmente a la enmienda. En el suelo la saturación de aluminio bajo enormemente después de la aplicación del material calcáreo, pero aumentó en forma rápida y lineal después de 18 meses. Calcio + magnesio cambiante, permaneció relativamente sin cambio después del primer año de muestreo (Wade y Sánchez, 1975). La roca fosfórica se usa exitosamente en muchas regiones del mundo como fuente de fósforo con la ventaja de ser soluble cuando el pH del suelo es inferior a 5,5 (Anderson, 1995).

En diversas localidades de Centro América mediante pruebas donde se aplicó roca fosfórica como fuente de fósforo indistintamente sobre suelos de los órdenes Andisoles, Inceptisoles y Ultisoles, en cultivos de ciclo corto se alcanzaron buenos resultados (Raun, 1995).

Resultados de muchos experimentos sobre fuentes de fósforo (P) han mostrado que los superfosfatos son las fuentes más eficientes a corto plazo, pero sus efectos residuales son bajos si se comparan con los efectos residuales en las rocas fosfóricas (Juo and Kang, 1978).

- Chappa y Moncada, (1992) en su ensayo evaluación preliminar de fuentes y niveles de fósforo para el cultivo de maíz en suelos ácidos de la Banda de Shilcayo – San Martín, utilizaron superfosfato triple de Ca y Roca fosfatada de Bayovar, determinado que con una dosis de 180 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Roca Fosbayovar se obtuvo el más alto rendimiento.

1.2 Enmienda del suelo

1.2.1 ¿Qué son las enmiendas?

Son productos naturales a base de Calcio y Magnesio que se utilizan para corregir la acidez del suelo y neutralizar los efectos tóxicos causados por altas concentraciones de Aluminio, Hierro y Manganeso en los suelos ácidos. Así mismo, se usan para suministrar Calcio y Magnesio cuyas deficiencias son muy comunes en dichos suelos. Por sus altos contenidos de calcio también se les denomina CALES. Las enmiendas también pueden ser utilizadas para corregir los suelos alcalinos, o sea aquellos que tienen pHs muy altos (generalmente pH mayor de 8), caracterizados por sus altas concentraciones de sales.

En estos casos se usa el sulfato de calcio (CaSO_4) que por su reacción ácida en el suelo actúa como corrector de la alcalinidad.

1.2.1 ¿Cómo se originan los suelos ácidos?

Las principales causas que originan suelos ácidos son:

- ✓ Aplicación continua de fertilizantes que dejan residuos ácidos. Ejemplo: los fertilizantes nitrogenados conocidos en el mercado como urea, sulfato de amonio (SAM) y Nitrato de amonio, contienen o transforman su nitrógeno a la forma amoniacal (NH_4) que, al oxidarse en el suelo, se nitrifica (NO_3^-), liberando Hidrógeno (H^+), el cual acidifica el suelo.
- ✓ Durante el proceso de descomposición de la materia orgánica se liberan ácidos en el suelo, disminuyendo el pH.
- ✓ El lavado continuo del suelo como consecuencia del uso excesivo de la maquinaria y del agua de riego o en zonas con altas y frecuentes lluvias.

Este proceso se conoce como lixiviación del suelo.

- ✓ Algunas reacciones de intercambios de cationes que ocurren en la interface raíz-suelo generan acidez.
- ✓ El cacao es un cultivo **moderadamente tolerante** a la acidez del suelo y se desarrolla en sustratos con pHs comprendidos entre 5,6 y 6,4. Que corresponde a suelos ligeros a moderadamente ácidos. Cuando se siembra bajo condiciones de riego, el agua incrementa el pH en los suelos ácidos y lo disminuye en los suelos

alcalinos alcanzando niveles muy cercanos al rango antes mencionado, por lo cual, las respuestas al ENCALAMIENTO son muy relativas. Sin embargo, cuando las concentraciones de Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) son muy altas es necesario neutralizar sus efectos tóxicos aplicando CAL, teniendo el cuidado de escoger el tipo y la dosis más apropiada, de tal manera que se corrija el problema sin alterar el balance nutricional del suelo.

1.2.2 ¿Qué tipos de Enmiendas o Cales se encuentran en el mercado?

Los principales tipos de enmiendas o cales que se encuentran en el mercado son los siguientes:

- a) **Cal viva:** Es la misma piedra calizada calcinada o quemada en hornos. Es un óxido de calcio (CaO) que contiene alrededor del 70% de calcio. Para aplicarla al suelo se pulveriza y se recomienda usarla solamente cuando se puede asegurar una mezcla completa con el suelo, pues existe el peligro de afectar la semilla. Es un material de difícil manejo y muy quemante al entrar en contacto con la piel.
- b) **Cal apagada:** Conocida también como cal hidratada (Ca(OH)_2), se obtiene al tratar la cal viva con agua. Es menos fuerte que la cal viva y se vende como un polvo blanco, difícil y desagradable de manipular. El contenido de Calcio es cercano al 50%. Similar a la cal viva, es un material que reacciona rápidamente, por lo cual, se debe incorporar muy bien al suelo, por lo menos 20-30 días antes de la fertilización.
- c) **Cal agrícola:** En su forma natural se encuentra como Carbonato de Calcio (CaCO_3) y tiene una concentración aproximada del 40% de Calcio.
- d) **Cal dolomítica:** Es una mezcla de carbonatos de Calcio y de Magnesio. ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en diferentes proporciones. Esta cal es la más recomendada para corregir suelos ácidos deficientes en Calcio y Magnesio porque, además de neutralizar la acidez del suelo, permite mantener la relación entre estos dos elementos alrededor de tres, que es la más indicada para la mayoría de cultivos, es decir tres partes de Calcio por una de Magnesio. La dosis necesaria para elevar una unidad de pH en distintas clases de suelo y para una profundidad de 15 cm (si se quiere modificar 30 cm de suelo o se multiplican estas cantidades por 2). Es importante indicar que en el proceso de encalado es necesario tener conocimiento de las características físico químicas del suelo a encalar, para

poder calcular la dosis necesaria de la enmienda a utilizar, por lo que presentamos algunos ejemplos de estos cálculos y necesidades de la enmienda necesaria, en la cual se demuestra la caliza y cal viva necesaria en función a sus características del contenido mineral del suelo: la caliza necesaria en kg CaCO_3 para elevar el pH de: 4,5 a 5,5 es de 1,200 kg CaCO_3 y de 5,5 a 6,5 es de 2,200 kg CaCO_3 en suelos arenosos; 2,000 kg CaCO_3 para 4,5 a 5,5 y 3,000 kg CaCO_3 para 5,5 a 6,5 en suelos francos; 2,750 kg CaCO_3 para 4,5 a 5,5 y 3,750 para 5,5 a 6,5 en suelos limosos; 3,300 para 4,5 a 5,5 y 4,250 kg CaCO_3 para 5,5 a 6,5 en suelos arcillosos. Para la Cal viva necesaria (kg CaO) para elevar el pH de: 4,5 a 5,5 es de 850 kg CaO y de 5,5 a 6,5 es de 1,250 kg CaO en suelos arenosos; 1,100 kg CaO para 4,5 a 5,5 y 1,700 kg CaO para 5,5 a 6,5 en suelos francos; 1,650 kg CaO para 4,5 a 5,5 y 2,100 kg CaO para 5,5 a 6,5 en suelos limosos; 2,000 kg CaO para 4,5 a 5,5 y 2,400 kg CaO para 5,5 a 6,5 en suelos arcillosos. Todo esto según: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/enmiendas-calizas-y-corrección-de-suelos-acidos-t950/p0.htm>

Según (P. Urbano Terrón) “Fototecnia-Ingeniería de Producción Vegetal” se pueden utilizar distintos métodos para subir el pH de los suelos:

1. Método basado en el pH y en el poder tampón del suelo.
2. Método basado en el estado de saturación del complejo absorbente.
3. Método de incubación.
4. Método basado en el desplazamiento del aluminio de cambio.
5. Método rápido basado solamente en el pH (este es el hemos especificado o utilizado).

Poder neutralizante:

El efecto neutralizante de los diferentes productos suele referirse a caliza o a cal viva tomados como índice 100. Los poderes neutralizantes de algunas fuentes de enmiendas se dividen de la siguiente manera: a) Índice 100 para caliza necesitamos 180 de Cal viva CaO; 136 de Cal apagada Ca(OH)_2 ; 109 de Dolomita $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$; 100 Caliza CaCO_3 ; 86 Silicato cálcico y 58 de Yeso $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, para b) Índice 100 para la Cal viva se necesita 100 de Cal viva CaO;

76 de Cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 61 de Dolomita $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$; 56 Caliza CaCO_3 ; 48 Silicato cálcico y 33 de Yeso $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

- **Encalado de mantenimiento o de conservación**

Una vez conseguido el pH hay que hacer un encalado de mantenimiento, de Tierras ligeras de 200-400 (CaO)kg/ha año, 300-600 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)kg/ha año, 400-800 Cal molida kg/ha año; Tierras silíceo arcillosas de 400-500 (CaO)kg/ha año, 600-750 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kg/ha año, 800-1,000 Cal molida kg/ha año; Tierras arcillosas de 500-600 (CaO)kg/ha año; 750-850 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)kg/ha año; 1,000-1,200 Cal ,olida kg/ha año.

Estas dosis pueden suministrarse en tierras ligeras cada 3 años, en cuyo caso habría que multiplicar las dosis anteriores por tres. En tierras fuertes estas dosis se pueden suministrar cada 5 años, en cuyo caso habría que multiplicar las cantidades por cinco. La alternativa más corriente para elevar el pH del suelo y disminuir el porcentaje de saturación de aluminio, así como incrementar la suma de bases, es través del uso de materiales encalantes. El éxito de esta práctica va a depender de las características químicas de la enmienda utilizada, de la dosis aplicada, de la forma y época de aplicación. Además va a estar influenciada por aspectos de orden económicos relacionados con el precio del material como por los costos de aplicación e incorporación al suelo.

Sin embargo, la utilización sostenida de fertilizantes de reacción alcalina como el salitre sódico y potásico, el nitrato de calcio, el nitrato de potasio y mezclas fertilizantes con nitrógeno y un adecuado aporte de bases son una estrategia alternativa que mejora las propiedades químicas de un suelo acidificado y se complementa muy bien con la corrección que realizan las enmiendas calcáreas.

1.3 Cálculo de dosis

Existen varias metodologías para determinar las dosis de enmiendas, algunas de ellas incluyen factores de corrección según textura del suelo, sensibilidad de los diferentes

cultivos al aluminio de intercambio, por niveles de saturación de bases, y por la corrección del pH.

El método de cálculo de dosis de enmienda más utilizado en Chile se basa en corregir el pH del suelo a aquellos valores que sean los más adecuados para cada cultivo en particular, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$\text{Dosis de enmienda (t/ha)} = \frac{\text{pH adecuado} - \text{pH suelo}}{\text{Capacidad tampón del suelo}}$$

En la tabla 1 se presentan valores adecuados para algunos cultivos, teniendo presente que no todas las variedades dentro de una misma especie tienen igual tolerancia a la acidez del suelo, y en la tabla 2 se señalan las capacidades tampón para las diferentes agrupaciones de suelos andisoles, según textura predominante.

Tabla 1

Niveles adecuados de pH para el desarrollo de las principales especies cultivadas

Cultivo	Rango óptimo de pH y factor cultivo	Cultivo	Rango óptimo de pH y factor cultivo	Cultivo	Rango óptimo de pH y factor cultivo
Alfalfa	6,2-7,8 (3)	Coliflor	5,5-7,5 (2)	Poroto	6,0-7,5 (3)
Apio	5,8-7,0 (2)	Crisantemo	6,0-7,5 (3)	Remolacha	6,5-8,0 (3)
Arándano	4,0-5,0 (1)	Durazno	6,0-7,5 (3)	Repollo	6,0-7,5 (2)
Arroz	5,0-6,5 (2)	Espárrago	6,8-8,0 (3)	Rododendro	4,0-6,0 (1)
Avena	5,5-7,5 (2)	Espinaca	6,0-7,5 (3)	Rubarbo	5,5-7,0 (2)
Azalea	4,5-5,0 (1)	Frambuesa	5,5-7,0 (2)	Sorgo	6,0-6,5 (3)
Brócoli	5,8-7,0 (2)	Fresa	5,0-6,5 (2)	Soya	6,0-7,0 (3)
Cebada	6,2-7,8 (3)	Lechuga	6,0-7,5 (3)	Tabaco	5,5-7,5 (2)
Cebolla	5,8-7,0 (2)	Maíz	5,7-7,5 (2)	Tomate	5,5-7,5 (2)
Centeno	5,0-7,0 (1)	Manzano	5,0-6,5 (2)	Trébol blanco	5,7-7,0 (2)
Cerezo	6,0-7,5 (3)	Papa	5,2-6,5 (2)	Trigo	5,6-7,0 (2)
Clavel	6,0-7,5 (3)	Pepino	5,5-7,0 (2)	Tomate	5,5-7,5 (2)

Fuente: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/enmiendas-calizas-y-corrección-de-suelos-acidos-t950/p0.htm> Visitada el 11-10-2015

Tabla 2

Capacidad tampón de algunos suelos según textura

Tipo de suelo	Capacidad tampón
Suelos ñadis	0,11 – 0,15
Suelos trumaos	0,15 – 0,17
Suelos rojos arcillosos	0,16 – 0,19

Fuente: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/enmiendas-calizas-y-corrección-de-suelos-acidos-t950/p0.htm> Visitadao el 11-10-2015

1.4 Efecto residual, época y forma de aplicación de las enmiendas

La frecuencia de aplicación de los materiales calcáreos va a depender de la magnitud del efecto residual el cual estará influenciado por varios factores:

- Uso de fertilizantes nitrogenados amoniacales y fosfatos de amonio.
- Remoción de bases de los cultivos.
- Pluviometría de la zona.
- Cultivo de plantas que acidifican la rizósfera.
- Baja capacidad tampón del suelo.
- Uso de materiales correctivos de elevada eficiencia relativa o fineza.
- Dosis de enmienda utilizada.

En todo caso la forma más exacta de determinar el efecto residual es a través de una análisis de suelo al inicio de la próxima temporada agrícola y establecer así, el efecto residual de la enmienda aplicada.

1.5 Encalado superficial en un suelo con praderas permanentes

El efecto de la aplicación de CaCO_3 en una pradera permanente, los resultados señalan para el ensayo en praderas un comportamiento similar al obtenido en un suelo sembrado con trigo, en el sentido que el efecto corrector de calcio se concentra en la primera estrata del suelo.

1.6 Parámetros de acidez en un suelo sembrado en forma tradicional y con cero labranzas

Los valores de pH, calcio, aluminio de intercambio y porcentaje de saturación de aluminio, en diferentes estratos del suelo bajo condiciones de manejo tradicional y cero labranzas. Los resultados corresponden al promedio de las mediciones realizadas en diferentes etapas fenológicas del crecimiento del cultivo.

Los resultados demuestran claramente que los efectos de la aplicación de dos toneladas de carbonato de calcio fueron muy similares cuando se incorporó al suelo con un vibro cultivador (siembra tradicional) o cuando el carbonato de calcio fue aplicado en cobertera sobre el suelo (siembra tradicional) o cuando el carbonato de calcio fue aplicado en cobertera sobre el suelo (siembra directa). En ambos casos el efecto corrector se produjo, principalmente, en los primeros 5cm del suelo, debido a que el vibro cultivador es un equipo que remueve el suelo en forma superficial, sin invertirlo.

1.7 Cultivo del cacao

1.7.1 Origen

El cultivo de cacao tuvo su origen en América pero aún no se ha podido identificar con exactitud el lugar puntual ni su distribución. Aun hoy en día sigue siendo un tema de discusión.

Algunos autores indican que el cultivo de cacao se inició en México y América Central y señalan al mismo tiempo que los españoles no lo vieron cultivado en América del Sur cuando arribaron a este continente, lo encontraron creciendo en forma natural en muchos bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco y sus afluentes, donde aún hoy existen tipos genéticos de un alto valor (Miguel, 2011).

En el Perú, existe gran diversidad de genotipos de cacao proveniente del cruce amazónicos, criollos y trinitarios que presentan atributos agronómicos superiores, sin

embargo, su potencial se ve disminuido por el manejo inadecuado, que puede corregirse mediante las técnicas del manejo integrado.

En las diferentes zonas productoras de cacao, la selección de material genético local es una práctica importante porque permite obtener plantas adaptadas a las condiciones del medio. Es necesario orientar a los productores durante la instalación de sus predios, evitar la promoción de plantaciones monoclonales que consideran solo características deseables como mayor rendimiento, cantidad y calidad de semillas, tolerancia a enfermedades, mayor contenido de grasa, entre otras; esta opción podría ser perjudicial en el futuro por la predisposición a la ruptura de cualquier tipo de tolerancia y/o resistencia, recomendándose establecer como mínimo una combinación de cinco clones por hectárea, utilizando preferentemente 75% de clones productivos y 25% de clones tolerantes, dispersos al azar (ICT, 2004).

1.7.2 Taxonomía

Batista (2009), menciona la siguiente clasificación taxonómica del género *Theobroma*.

Reino	: Plantae
Subreino	: Tracheobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Dilleniidae
Orden	: Malvales
Familia	: Malvaceae
Subfamilia	: Byttnerioideae
Tribu	: Theobromeae
Género	: <i>Theobroma</i>
Especie	: <i>cacao</i> L.

1.7.3 Morfología

Batista (2009), informa la siguiente morfología del cultivo de cacao:

La raíz inicia el crecimiento del tronco y se forma o desarrolla el sistema radicular radicular, existe una zona de transición bien definida conocida como cuello

de la raíz. En plantas reproducidas por semillas, el sistema radicular está compuesto por una raíz principal denominado raíz pivotante o raíz primaria, la cual crece hacia abajo de forma recta.

A partir de la raíz pivotante, inmediatamente debajo del cuello, se desarrollan la mayoría de las raíces secundarias a unos 15 a 20cm de profundidad en la porción superior de la capa de humus. Éstas se extienden en forma horizontal a 5 y 6 metros del tronco del árbol, con raíces laterales que se dividen repetidamente. Las raíces secundarias que se encuentran en la parte inferior de la raíz pivotante, tienen un crecimiento hacia abajo en dirección a la roca madre o hacia la capa freática. Las plantas que son reproducidas por medio vegetativos o asexuales no desarrollan raíz pivotante, pero sí raíces primarias y secundarias, de crecimiento horizontal, según se describe en el párrafo anterior.

El tallo de árbol del cacao al igual que las de otras especies del género *Theobroma*, son dimórficas:

- Unas son de crecimiento vertical hacia arriba, denominadas ramas de crecimiento artotrópico, y constituyen el tallo y/o los chupones;
- Otras son de crecimiento oblicuo hacia afuera, denominadas ramas de crecimiento plagiotrópico.

Las plantas de cacao, reproductivas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 m de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilio u horqueta.

La hoja, durante su formación, crecimiento y estado adulto, las hojas exhiben pigmentaciones diferentes, cuya coloración varía desde muy pigmentadas hasta poca pigmentación. Generalmente, los tipos de cacao Criollo y Trinitario tienen pigmentación más coloreadas que los del tipo Forastero, los que son de muy poca pigmentación. En todos los casos las hojas adultas son completamente verdes, de lámina simple, entera de forma que va desde lanceolada a caso ovalada, margen

entero, nervadura pinnada, y ambas superficies glabras. El nervio central es prominente y el ápice de la hoja es agudo. Las hojas están unidas al tronco o a las ramas promedio a los pecíolos, siendo los del tronco más largos que los de las ramas. Las hojas tienen, tanto en la base como en la parte superior, una estructura abultada constituida por un tejido parenquimatoso, carga de gránulos de almidón, denominada pulvino que, a consecuencia de estímulos de los rayos de luz solar, orientan las hojas mediante movimientos de rotación, buscando posición en relación con sus necesidades de luz.

El tamaño de las hojas es variable, lo cual depende de caracteres genéticos y de su posición en el árbol. Las hojas de la periferia que están muy expuestas a la luz solar son más pequeñas que las que están ubicadas en el interior del árbol. Las hojas adultas del cacao Criollo son más grandes que las del cacao Forastero.

La inflorescencia, desde el punto de vista bótico, tiene una inflorescencia que es una cima descasiforme, la cual se forma directamente en la madera más del tronco y de las ramas adultas del árbol y, de manera muy especificada, en la base de una hoja. La inflorescencia, en su proceso de formación y crecimiento, se transforma en una masa densa que conforme se desarrolla forma un cojín que agrupa entre 40 a 60 flores.

La flor del cacao es hermafrodita, pentámera, de ovario súpero, cuya fórmula floral es: S5, P5, E5+5, + G(5). Esto indica que la flor del cacao está constituida en su estructura floral por 5 sépalos, 5 pétalos; el androceo conformado por 10 filamentos de los cuales 5 son fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminoides); el gineceo (pistilo) está formado por un ovario súpero con 5 lóculos fusionado desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo.

La polinización del cacao es estrictamente entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente, en horas de la mañana, la flor está completamente abierta. Las anteras cargadas de polen abren y están viables (disponibles; funcionales) casi inmediatamente por un período aproximado de 48 horas. Esta es la única etapa

disponible para la polinización.

El fruto del cacao es el resultado de la maduración del ovario de la flor fecundada. En esta descripción es apropiado indicar que hay frutos que nunca maduran por falta de semillas y abortan; son llamados frutos partenocárpicos. Dentro de su clasificación botánica el fruto de cacao es una drúpa normalmente conocido como mazorca. Tanto el tamaño como la forma de los frutos varían ampliamente dependiendo de sus características genéticas, el medio ambiente donde crece y se desarrolla el árbol, así como el manejo en la plantación. Las mazorcas de cacao por sus formas están clasificadas como: Amelonado, Calabacillo, Angoleta y Cundeamor, variando según el tipo o la especie.

La semilla es el fruto del cacao, puede contener entre 20 a 60 semillas o almendras, cuyo tamaño y forma varían según el tipo genético.

La semilla del cacao es más bien un óvulo del interior del ovario de la flor fecundado y desarrollado, que luego se su desarrollo y maduración constituye la mazorca. En el cacao tipo Criollo las semillas tienen de 3 a 4 cm de largo, casi ovaladas, alargadas, de color blanco o rosado más bien violeta pálido. En el cacao Forastero, las semillas tienen de 2 a 3 cm de largo con formas aplanadas, redondeadas y de color violeta púrpura.

1.7.4 Condiciones edafoclimáticas

El cacao, es un cultivo que se encuentra en la parte baja de la vertiente occidental de los andes, pero se ha desarrollado básicamente en la selva peruana entre los 300 y 900 m.s.n.m. (Hernández, 1991).

Para un establecimiento de cacao es importante tener en cuenta el factor medio ambiente, que está vinculado con el crecimiento, la floración y fructificación y esto conlleva también a la aparición de ciertas plagas y enfermedades, por lo que es necesario cumplir con los requerimientos mínimos de temperatura, humedad, precipitación, luminosidad, suelo y altitud (I.C.T. 2004).

a) Temperatura

El café no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual de temperatura los 25°C ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Las temperaturas extremas muy altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol por lo que es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura.

La temperatura para el cultivo de cacao debe estar entre los valores siguientes:

- Mínima de 23°C
- Máxima de 32°C
- Óptima de 25°C

Las temperaturas extremas definen los límites de altitud y latitud para el cultivo de cacao.

b) Humedad y precipitación

El cacao es una planta sensible a la escasez de humedad en el suelo, pero también al encharcamiento por lo que se precisarían de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo.

Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos. Considerándose que el mínimo debería ser 100 mm/mes. La humedad relativa debe ser mayor al 70%; por ejemplo, en el Huallaga podemos diferenciar tres zonas: Tingo María, Tocache y Juanjui, que se encuentra dentro de estos rangos y que favorece el establecimiento de las plantaciones de cacao.

c) Luminosidad

La luz es otro de los factores para el desarrollo del cacao, especialmente para la función fotosintética, aunque en el cacao este proceso ocurre con baja intensidad estando a plena exposición solar. La luminosidad deberá estar comprendida más

o menos al 50% durante los primeros cuatro años de vida de las plantas, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas.

d) Altitud

El cacao es una planta que en las diferentes zonas cacaoteras del mundo se cultiva desde el nivel del mar hasta alturas consideradas (1400 m.s.n.m.), siendo el rango óptimo de 205 – 900 m.s.n.m; fuera de este límite las plantas sufren alteraciones fisiológicas que afectan el potencial productivo lo que se refleja en un menor rendimiento y baja rentabilidad para el productor. Podemos corroborar que las zonas con altura apropiadas para el cultivo son las que comprenden a las provincias de Juanjui (315 m.s.n.m), Tocache (497 m.s.n.m), Tingo María (660 m.s.n.m) y Santa Rosa – VRAE (800 m.s.n.m).

e) Suelo

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. Los suelos más apropiados para el cacao son los aluviales, los francos y los profundos con subsuelo permeable. Los suelos arenosos son poco recomendables porque no permite la retención de humedad mínima que satisfaga la necesidad de agua de la planta.

El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que proporcionen la sombra necesaria y sena una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo.

f) pH del suelo

Es una de las características más importantes de los suelos porque contribuye a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos. El cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH se encuentra en el rango de 6,0 a 6,5; permitiendo obtener buenos rendimientos. Sin embargo, también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4,5 hasta 8,5 donde

la producción es decadente o muy deficiente, en estos suelos se debe aplicar correctivos.

g) Drenaje

Esta determinado por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la susceptibilidad del área a sufrir inundación y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad y disponer de una adecuada aireación.

Existen problemas de drenaje interno por disposición de texturas en el perfil del suelo. Cuando hay texturas arcillosas en el subsuelo, estas no permiten el rápido movimiento del agua originando procesos de óxido reducción que ocasionan la aparición de moteaduras (Paredes, 2004).

h) Materia orgánica

Es uno de los elementos que favorece la nutrición del suelo y a través de ésta a la planta. Su contenido en el suelo influye en las condiciones físicas y biológicas de la plantación. Así mismo, favorece la estructura del suelo posibilitando que éste se desmenuce con facilidad.

Al mismo tiempo, evita la desintegración de los gránulos del suelo por efecto de las lluvias. Otro factor importante de la materia orgánica es que constituye el alimento de los microelementos del suelo que participan en forma activa en la formación y desarrollo del suelo. Producto de la descomposición de la materia orgánica en el suelo se obtiene el humus que constituye un depósito de calcio, magnesio y potasio (Paredes, 2004).

i) Topografía

Es otro elemento importante para el establecimiento de plantaciones de cacao, ya que una topografía accidentada impide la mecanización y la aplicación de técnicas modernas, además que estas zonas están sujetas a la erosión constante por efecto de las lluvias lo cual constituye un problema muy serio que ocasiona la pérdida de la capa arable del suelo.

Con la finalidad de evitar que esto ocurra se deben realizar prácticas de conservación de suelos, como barreras vivas, barreras muertas, siembra a curvas a nivel, coberturas vegetales, etc.

Por lo general, en pendientes mayores al 15% las actividades agrícolas se realizan manualmente; en tanto que en pendientes menores se puede hacer uso de maquinarias y la aplicación de tecnologías moderna (Paredes, 2004).

1.7.5 Variedades o tipo principales del cacao

En el mundo existen variedades de cacao originalmente eran sólo dos tipos; el criollo y el forastero pero el cruce de estas dos especies dio origen al trinitario y del cruce repetido entre ellos se originaron los diferentes tipos de cacao que conocemos y utilizamos (FHIA, 2005).

1. Cacao criollo o dulce
2. Cacao amargo o forastero
3. Cacao variedad trinitaria

1.8 Efectos de la agricultura en la acidez del suelo

La acidez en los suelos también puede ser causada por efecto del manejo agrícola del suelo. El cultivo intensivo de la tierra, la extracción de nutrientes por parte de la cosecha, el efecto residual ácido que dejan los fertilizantes nitrogenados, y el incremento en los problemas de erosión por mal manejo del suelo, todos juntos han contribuido a incrementar los problemas de acidez en muchos suelos (Molina, 1998). El pH se define en términos de la concentración de H, y en una escala que va de 1 a 14. Se dice que el $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ o $\text{pH} = \log 1/(\text{H}^+)$.

1.9 Establecimiento y manejo del suelo

Miguel (2011), para el establecimiento de un cultivo de cacao con técnicas agroecológicas es necesario de llevar un seguimiento desde la preparación de la semilla, siembra en almácigo y manejo del vivero (con la finalidad de asegurar

plantas de excelente calidad, su comienzo es importante), debido a que nos aseguramos de llevar plantas sanas y vigorosas a campo.

1.10 Nutrición vegetal y/o suelo

1. **Efecto de la cal en los cultivos.-** las plantas leguminosas, por ejemplo, no prosperan convenientemente si el calcio faltará en el terreno. La alfalfa es un ejemplo, en el que la falta de él atenúa los rendimientos, a la par que la bacteria nitrificante propia de dicho vegetal, sufriría mengua en el desarrollo y evolución de los procesos que le están encomendados.

Los excesos de cal, como se dijo atrás, para ciertos cultivos, perjudican lo que se debe tener muy presente para que al obrar se haga a base de un conocimiento preciso respecto de las condiciones físico-químico y del estado de concentración en que se encuentra el (pH) a fin de que se opere en medio de la mayor cautela y se dosifique en la medida de los resultados logrados con el análisis.

2. **Efectos químicos.-** el uso inmoderado de fertilizantes, tanto de origen químico cuando del orgánico perjudica, toda vez que con el pasar de los tiempos se consigue una acumulación de residuos de naturaleza ácida. Para evitar las acumulaciones de acidez existe la cal encargada de neutralizar.
3. **Efectos biológicos.-** cantidades descontroladas de cal perjudican la fertilidad, justamente debido a que el desarrollo normal de los procesos de nitrificación, descomposición y reducciones del material orgánico se altera en gran parte, afectando los microorganismos que componen la flora microbiana. La acidez atenúa también los mencionados procesos, pues su acumulación entorpece el desarrollo y multiplicación de los citados microorganismos.
4. **Efectos mecánicos.-** Un uso razonado de la cal en cualquiera de las formas enumeradas contribuye a que los suelos de consistencia pesada, demasiado ricos en arcillas, se vuelven menos unidos y adquieren la consistencia liviana.

Influencia fisiológica de la cal.- la influencia de la cal en la planta se concreta a los puntos siguientes:

- (a) Evita la plasmólisis (Atrofia, enjutamiento, compresión del tejido celular por falta de agua)
- (b) Evita la clorosis (Amarillamiento del follaje y pérdida de clorofila), siempre que esté aplicada en cantidades moderadas, o la precipita en caso contrario.

5. Plasmólisis.- la concentración de sales del suelo es mayor que la de la planta, alterándose por lo consiguiente el fenómeno osmótico del suelo al vegetal. Al presentarse dicha alteración sucedería que el agua no entraría a nutrir los tejidos, viniendo como consecuencia una atrofia o enjutamiento celular. Siendo el resultado final del proceso, la muerte de la planta por falta de humedad.

Porqué se pone cal al suelo.- los efectos directos del calcio en la planta, son los siguientes:

- (a) Interviene en el desarrollo de las membranas que componen la célula vegetal.
- (b) Influye en el desarrollo de las raíces, tanto del pivote como de la zona polifera.
- (c) El movimiento de las féculas en la planta se atenúa sin el auxilio de los elementos calcáreos y potásicos.

1.11 Factores que influyen en la aplicación de enmiendas calcáreas

Para el buen éxito de la fertilización es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación de fertilización. En relación a la formulación fertilización, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición al suelo y el tamaño de la partícula del fertilizante del nutrimento por aplicar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutrimento dentro de la planta. Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación. De la planta se ha de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y el tipo de suelo (Kovacs, 1986).

La aplicación de nutrimentos también está afectada por el estado de desarrollo de la planta y el suelo. Se indica, aunque existen pocos datos, que las plantas jóvenes son las que tiene mayor capacidad de absorción de nutrimentos vía suelo y desde luego deben de tener un déficit de esos nutrimentos en su desarrollo. Entre especies también hay diferencias, y posiblemente esta diferencia esté fundamentalmente influenciada por el grado de cutinización y/o significancia de las hojas. A mayor cutinización, lignificación y en presencia de suelo ácido, habrá menor facilidad de absorción del nutrimento (Jyung, 1964).

1.11.1 Propósitos de la corrección de pH

La corrección de pH puede ser útil para varios propósitos tomando en consideración que es una práctica que permite la incorporación inmediata de los elementos esenciales que ayudan en los metabolitos que se están generando en el proceso de fotosíntesis. Algunos de estos propósitos se indican a continuación: corregir las deficiencias nutrimentales que en un momento dado se presentan en el desarrollo de la planta, corregir requerimientos nutrimentales que no se logran asimilar en la fertilización común al suelo, abastecer de nutrimentos a la planta que se retienen o se fijan en el suelo, mejorar la calidad del producto, acelerar o retardar alguna etapa fisiológica de la planta, hacer eficiente el aprovechamiento nutrimental de los fertilizantes, corregir problemas fitopatológicos de los cultivos al aplicar cobre y azufre, y respaldar o reforzar la fertilización edáfica para optimizar el rendimiento de una cosecha. La corrección de pH debe ser no muy específica de acuerdo con el propósito y el problema nutricional que se quiera resolver o corregir en los cultivos (Malavolta, 1986).

La dosis necesaria para elevar una unidad de pH en distintas clases de suelo y para una profundidad de 15 cm (si se quiere modificar 30 cm de suelo se multiplican estas cantidades por 2).

Es importante indicar que en el proceso de encalado es necesario tener conocimiento de las características físico químicas del suelo encalar, para poder calcular la dosis necesaria de la enmienda a utilizar, por lo que a continuación presentamos algunos ejemplos de estos cálculos y necesidades de la enmienda necesaria.

A continuación se presenta la Caliza y Cal viva necesaria en función a las características para elevar el pH de 4,5 a 5,5 y 5,5 a 6,5: para Caliza (kgCaCO_3) en suelos arenosos 1,500 para 4,5 a 5,5 y 2,250 para 5,5 a 6,5; en suelos francos 2,000 para 4,5 a 5,5 y 3,000 para 5,5 a 6,5; en suelos limosos 2,750 para 4,5 a 5,5 y 3,750 para 5,5 a 6,5; en suelos arcillosos 3,500 para 4,5 a 5,5 y 4,250 para 5,5 a 6,5.

Para la Cal viva (kg CaO) se necesita: en suelos arenosos 850 para 4,5 a 5,5 y 1,250 para 5,5 a 6,5; en suelos francos 1,1000 para 4,5 a 5,5 y 1,7000 para 5,5 a 6,5; en suelos limosos 1,600 para 4,5 a 5,5 y 2,100 para 5,5 a 6,5; en suelos arcillosos 2,000 para 4,5 a 5,5 y 2,400 para 5,5 a 6,5. Según:

Fuente:<https://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/enmiendas-calizas-y-correccion-de-suelos-acidos-t950/p0.htm>

Según (P. Urbano Terrón). "Fitotecnia-Ingeniería de producción vegetal" Se pueden utilizar distintos métodos para subir el pH de los suelos:

1. Método basado en el pH y en el poder tampón del suelo.
2. Método basado en el estado de saturación del complejo absorbente.
3. Método de incubación.
4. Método basado en el desplazamiento del aluminio de cambio.
5. Método rápido basado solamente en el pH (este es el que hemos especificado o utilizado).

Poder neutralizante:

El efecto neutralizante de los diferentes productos suele referirse al de la caliza o al cal viva tomados como índice 100.

- a) Índice para la Caliza se tiene Cal viva CaO 180; Cal apagada Ca(OH)_2 136; Dolomita $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ 109; Caliza CaCO_3 100; Silicato cálcico 86; Yeso $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 58 y para b) Índice para la Cal viva se tiene Cal viva CaO 100; Cal apagada Ca(OH)_2 76; Dolomita $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ 61; Caliza CaCO_3 56; Silicato cálcico 48; Yeso $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 33.

- **Encalado de mantenimiento o de conservación**

Una vez conseguido el pH deseado hay que hacer un encalado de mantenimiento.

Estas dosis pueden suministrarse en tierras ligeras cada 3 años, en cuyo caso habría que multiplicar las dosis anteriores por tres. En tierras fuertes estas dosis se pueden suministrar cada 5 años, en cuyo caso habría que multiplicar las cantidades por 5.

1.11.2 Fuentes de las enmiendas

Las características principales que debe tener una fuente para el abonamiento foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, y quelatos naturales y sintéticos, que incluye complejos naturales orgánicos. Estas fuentes se formulan en polvos o cristales finos de alta solubilidad en agua y en presentaciones líquidas (Molina, 2002).

- **Forma de hacer la enmienda y velocidad de actuación**

Las calces vivas (CaO) y apagadas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) se consideran productos de actuación rápida pues prácticamente en un mes reaccionan con el suelo y realizan su acción neutralizante.

La caliza (CO_3Ca) finamente titulada es un producto de acción lenta ya que durante el primer mes solamente reacciona un 50% del producto aportado necesitándose seis meses o más para que efectúe una acción neutralizante.

La dolomita es aún más lenta que la caliza.

Resulta un 50% más lenta.

La actuación de los silicatos es excesivamente lenta por lo que son de escasa actuación.

Las espumas de azucarería y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) son de velocidad intermedia.

- Para suelos arenosos y determinados cultivos utilizar calizas (CO_3Ca) y dolomitas ($\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$).

- Para suelos arcillosos utilizar cal viva o apagada.

- **Época de aplicación**

Se encala el suelo, no la planta. Elegir la época del año en la que se encuentren los suelos desnudos, sin cultivo. De acuerdo con la marcha de las rotaciones de los cultivos hay dos épocas muy definidas: otoño y primavera.

Normalmente se hacen aplicaciones de otoño aunque, en ocasiones se realizan aportes en primavera. No se debe hacer aplicaciones con suelo muy húmedos para evitar pérdidas de producto. De acuerdo con el calendario de siembras y según el producto a utilizar como enmienda, es recomendable:

Para encalados con cal viva, anticiparse 1 mes a las fechas de siembra. Debe cuidarse la posible acción cáustica de la cal sobre las semillas.

Para encalados con yeso o con espumas de azucarería se aportará la enmienda entre 1 y 2 meses antes de la siembra.

Para encalados con caliza, realizar el encalado aproximadamente 3 meses antes de la siembras para que el producto tenga tiempo de actuar.

Para encalados con dolomita, se deberá actuar con una antelación de 3 a 6 meses de la siembra.

Fuente: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/enmiendas-calizas-y-correccion-de-suelos-acidos-t950/p0.htm>. Visitadao el 11-10-2015

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

El proyecto reúne condiciones metodológicas de una investigación aplicada, ya que tiene como interés de comprobar mejores resultados en enmiendas de problemas prácticos en la disponibilidad de pH para transformar las condiciones en el cultivo de cacao.

Nivel de investigación

La presente investigación corresponde al nivel descriptivo-explicativo.

2.2. Diseño de la investigación

De acuerdo al entorno de investigación, corresponde a un diseño de investigación experimental debido a que las variables independientes producen un efecto deseado en las variables dependientes.

2.3. Población y muestra

Población

La unidad total de evaluación fue de dos (2) hectáreas en m^2 en cuanto al cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), que tiene una edad de 8 años en el sector San Miguel – Nuevo Horizonte – Tocache – San Martín.

Muestra

La variedad estudiada es el CCN51 de 50 m x 20 m ($1\ 000\ m^2$) haciendo un total de $3\ 000\ m^2$ el cual representa un 20% del área total por unidad de área ($15\ 000\ m^2$).

2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron la observación y toma de datos en campo, tomas

fotográficas, análisis de los árboles de cacao, hojarasca y análisis de laboratorio. Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron fichas de observación, fichas toma de datos en campo, fichas toma de datos en laboratorio y fichas bibliográficas (Fuente primaria y secundarias).

Fuentes Primarias

Observación de toma directa de datos en campo a través de enmiendas calcáreas en el cultivo de cacao, utilizando como herramientas, palanas, machetes, etc.

Fuentes secundarias

Para el desarrollo del siguiente proyecto se consultaron estudios similares al presente proyecto, sobre todo aquellos en los cuales se utilizó la misma metodología de evaluación propuesta por Araujo (2015).

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

De acuerdo a la naturaleza de la investigación, utilizamos un diseño en Bloques Completamente al Azar con 5 tratamientos, dentro del cual se considera a un testigo y cuatro repeticiones por tratamiento. La información generada en campo fue procesada con el programa estadístico SPSS22 y los promedios de tratamiento se sometieron a la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p < 0.05$).

2.5.1. Tratamientos estudiados

Tabla 3

Tratamientos, claves, descripción y dosis

Tratamientos	Clave	Descripción	Dosis
1	T0	Sin aplicación de enmiendas	0,0 Kg
2	T1	Aplicación de Cal agrícola	90,78Kg
3	T2	Aplicación de Dolomita	151,30Kg
4	T3	Aplicación de Magnecal	95,83Kg
5	T4	Aplicación de Magnocal	95,83Kg

Tabla 4

Análisis de varianza para el experimento

F. de V.	G.L.	SC	CM
Bloques	$r - 1 = A$	$\sum X^2 \cdot J/t - FC = D$	D/A
Tratamientos	$t - 1 = B$	$\sum X_{2i} / r - FC = E$	E/B
Error	$(r-1) (t-1) = C$	$SC_{TOT} - (SC_B + SC_T) = F$	F/C
TOTAL	$rt - 1$	$\sum \sum X^2_{ij} - FC$	

Fuente: Rojas Tasilla M.

Modelo matemático:

Está definido por el modelo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; i = 1, \dots, a \quad ; \quad j = 1, \dots, b$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta o ecuación de cualquier observación.

μ = media global o general.

T_i = efecto de tratamiento i -ésimo.

β_j = efecto del bloque j -ésimo (efecto ambiental).

ε_{ij} = efecto del error experimental (efecto residual) o compuesto aleatorio observado en el bloque j -ésimo para el tratamiento i -ésimo.

2.5.2. Enmiendas calcáreas utilizadas

- a). **Dolomita**, mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[CaMg (CO_3)_2]$.

Se produce una sustitución por intermedio iónico del calcio por magnesio en la roca calizada ($CaCO_3$).

Propiedades químicas: CaO: 30.41%, MgO: 21.86 y CO₂: 47.73

- b). **Cal agrícola**, regulador de Ph del suelo y facilitador de fertilizantes nitrogenados, corrige la acidez, aporta el calcio necesario para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Composición química:

(CaO) disponible	Mín 60,0%
(Ca(OH) ₂) Disponible	Mín 80,0%
(MgO)	Máx 1,0%
Residuos insolubles en HCl	Máx 6,0%

- c). **Magnecal**, es un producto que actúa como enmienda de suelo disminuyendo la acidez y como fertilizante aportando magnesio y calcio.

Composición química:

CaCO ₃	> 95%
Magnesio	15 – 18%
Calcio (CaO)	31 – 36%
Sulfato (SO ₃)	< 0,50%
Potasio (K ₂ O)	< 0,20%
Sodio (Na ₂ O)	< 0,30%
Sodio (Na ₂ O)	0,5%

- d). **Magnocal**, es un producto natural cuyas fuentes nutricionales de este producto son: calcio, manganeso, azufre en forma del sulfato y arcillas bentoníticas.

Composición química:

CaCO₃: 4-8%

MgO: 5-8%

K₂O: 0,1-0,4%

SO₄: 25-35%

Bentonita: 33%

2.6. Ubicación del campo experimental

El proyecto de investigación se llevó a cabo en la finca “El Pedregal” de propiedad del señor Artemio Velásquez Olascuaga, en el sector San Miguel-Nuevo Horizonte, ubicado a 25 km del distrito de Tocache, provincia de Tocache, región San Martín.

a). Ubicación política

Sector : San Miguel – Nuevo Horizonte
 Distrito : Pólvora
 Provincia : Tocache
 Departamento : San Martín

b). Ubicación geográfica

Latitud Sur	:	08° 06' 36.70"
Longitud Oeste	:	76° 39' 30.30"
Altitud	:	567 m.s.n.m.m

c). Condiciones climáticas

Precipitación	:	2500 mm/año
Temperatura	:	Máx = 32°C, Min = 22°, Medio = 26°C
Humedad relativa:		75 % - 85 %
Horas luz	:	2000 horas luz/año. Fuente: senamhi.gob.pe

d). Historia del campo experimental

El área destinada para la ejecución de trabajo de investigación se encuentra establecida con plantaciones de cacao en producción, anteriormente fue de uso del cultivo de coca. La plantación consta de dos (2) hectáreas de ocho (8) años de establecida con la variedad CCN51 bajo el sistema de plantación 3 bolillos. Las características actuales del suelo son de textura franco arenosa, pH 4.19, CIC = 10.56, 21 % de saturación de bases, según análisis de suelo realizado en la Universidad Nacional Agraria “La Molina” en noviembre de 2015.

e). Clasificación ecológica

Según Holdridge (1975), el lugar donde se realizó la investigación se encuentra en la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T) en la selva alta del Perú.

Tabla 5

Condiciones climáticas durante el experimento setiembre a febrero 2016 a 2017.

MESES	Temperatura Promedio C ⁰			Precipitación Total (mm)	Humedad Relativa (%)
	Máxima	Media	Mínima		
SETIEMBRE	32.1	26.2	20.3	3316.7	71.6
OCTUBRE	32.2	26.6	21.0	6112.9	76.6
NOVIEMBRE	33.4	27.6	21.9	2811.7	75.6
DICIEMBRE	31.2	26.4	21.6	5600.0	72.9
ENERO	30.1	25.8	21.5	5854.8	71.4
FEBRERO	31.3	26.5	21.7	7201.8	73.1
Total	190.4	159.2	128.0	30897.9	441.3
Promedio	31.7	26.5	21.3	5149.6	73.6

Fuente: www.senamhi.gob.pe Estación Meteorológica del Centro Poblado de Tananta. (2016-2017)

2.7. Conducción del experimento

1. Muestra del suelo

La instalación del experimento se realizó en la finca “El Pedregal”, de propiedad del señor Artemio Velásquez Olascuaga, en el sector San Miguel - Nuevo Horizonte, en una superficie de 510 m² cuyas características se presenta en el respectivo análisis de suelo.

Tabla 6

Análisis físico-químico del suelo

Elementos		Porcentaje	Características
pH (1:1)		4,19	Ácido
M.O. (%)		2,18	Bajo
P (ppm)		3,4	Bajo
K ₂ O (ppm)		46	Medio
Análisis Mecánico (%)	Arena	56	Franco Arenoso
	Limo	25	
	Arcilla	19	
	Clase textural	Franco Arenoso	
CIC (meq)		10,56	Bajo
Cationes Cambiables (meq)	Ca ²⁺	1,55	Bajo
	Mg ²⁺	0,52	Bajo
	K ⁺	0,06	Bajo
Suma de bases		2,18	

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes FA-DS/UNALM. (2015)

2. Deshierbo

Los deshierbos en el campo experimental, se realizaron al inicio de la identificación de parcela, antes de aplicar las enmiendas de manera manual y con la ayuda de un machete en forma periódica, teniendo cuidado de no causar daños a las plantas.

3. Aplicación de las enmiendas

Se realizó aplicaciones de enmiendas agrícolas de acuerdo al resultado al análisis obtenido.

La aplicación se hizo con cal agrícola, dolomita, magnecal y magnocal por única vez en el trabajo experimental, cuya dosis fue de T1=90,78 kg; T2=151,30 kg; T3=95,83 kg y T4=95=83 kg respectivamente.

2.8. Características del campo experimental

Área total	:	510 m ²
Distanciamiento	:	1 m
Número de unidades experimentales	:	5
Número de tratamientos	:	5
Número de repeticiones	:	4
Número total de plantas	:	50
Número de plantas/unidad experimental	:	10
Área/unidad experimental	:	90m ²

Del campo experimental, se consideró 510 m² distribuidos en cinco unidades experimentales con un espacio entre unidades experimentales de un metro entre calles y cada unidad experimental con 90 m², tomando 10 plantas por unidad experimental, haciendo un total en las cinco unidades un total de 50 plantas en todo los tratamientos.

2.9. Indicadores evaluados

a). Nivel de pH del suelo

Se evaluó a los 60 y 90 días desde el testigo hasta los demás tratamientos de cada área, tomando 10 plantas al azar por tratamiento, se evaluó mediante análisis de laboratorio.

b). Análisis físico-químico del suelo

Después de culminado el trabajo de campo y las evaluaciones agronómicas, realizó el análisis de suelo de cada uno de los tratamientos para evaluar sobre la base del análisis del suelo antes del experimento, el efecto de la aplicación de las enmiendas agrícolas sobre el pH del suelo y disponibilidad de nutrientes para el cultivo de cacao.

c). Parámetros de producción

Como indicador del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de producción se evaluó.

- Número de mazorcas por planta
- Peso de mazorca
- Número de granos por mazorca peso de granos por mazorca

d). Análisis económico

La relación beneficio costo se evaluó de acuerdo a la siguiente fórmula:

Relación costo beneficio = Costo de Producción/Beneficio Bruto x 100.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Número de mazorcas por planta

Tabla 7

ANVA para el Número de mazorcas por planta: Dato $\sqrt{R^2}$

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	2,800	3	0,933	1,556	0,251	N.S.
Tratamientos	59,200	4	14,800	24,667	0,000	**
Error exp.	7,200	12	0,600			
Total	69,200	19				

Promedio = 4,8 Desv. Estándar = 0,775 C V.= 16,1% $R^2 = 89,6\%$

La prueba del Análisis de varianza (tabla 7) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad, Tratamientos, un C.V. de 16,1% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un $\sqrt{R^2}$ de 89,6% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el número de mazorcas por planta.

Tabla 8

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios (N°)	Significación
T0	testigo	3,0	a
T1	cal agrícola	4,0	ab
T2	dolomita	4,0	ab
T4	magnocal	5,0	b
T3	magnecal	8,0	c

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 8), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 8 mazorcas por planta, superando estadísticamente a los tratamientos T4 (magnocal), T2 (dolomita), T1 (cal agrícola) y T0 (testigo) con los que se alcanzaron promedios de 5, 4, 4 y 3 mazorcas por planta respectivamente. Los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral superaron al tratamiento testigo (T0).

Para explicar estos resultados, partimos de los resultados del análisis de suelo que arrojó un valor de 1,1 meq/100g de Al^{+3} y 154,4 ppm de Fe, elementos que hacen la parte de la fase líquida equivalente al que se encuentran adheridas a las cargas negativas, conjuntamente con el hidrógeno molecular que se encuentra haciendo parte de las cargas positivas del total de la capacidad de intercambio catiónico, son los responsables de la acidez intercambiable y las cuales puede ser reemplazadas por calcio y magnesio agregado al suelo a través del material o enmienda calcárea; lo cual es corroborado por García citado por Méndez (1990).

En tal sentido, la mayor concentración de $CaCO_3$ (>95%), Mg (15 – 18%) y CaO (31 - 36%) en la composición química de Magnecal ha tenido mayores efectos como enmienda reemplazando con mayor eficacia al Fe y Al en el suelo liberando la disponibilidad de los nutrientes fijados y favoreciendo su absorción por las raíces de las plantas, lo cual se verifica con la mayor producción de mazorcas por planta (8), respecto a los demás tratamientos.

3.2. Peso de mazorca (Kg)

Tabla 9
ANVA para el Peso de mazorca (Kg)

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	0,144	3	0,048	15,400	0,000	**
Tratamientos	0,470	4	0,118	37,640	0,000	**
Error exp.	0,038	12	0,003			
Total	0,652	19				

Promedio = 0,6 Desv. Estándar = 0,54 C V.= 9,1% $R^2 = 94,3\%$

La prueba del Análisis de varianza (tabla 9) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 9,1% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R^2 de 94,3% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el peso de mazorca.

Tabla 10

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de peso de mazorca (kg), en los tratamientos.

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios (Kg)	Significación
T0	testigo	0,325	a
T4	magnocal	0,600	b
T1	cal agrícola	0,625	b
T2	dolomita	0,638	b
T3	magnecal	0,800	c

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 10), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 0,800 kg de peso de la mazorcas, superando estadísticamente a los tratamientos T2 (dolomita), T1 (cal agrícola), T4 (magnocal), y T0 (testigo) con quienes se alcanzaron promedios de 0,638 kg; 0,625 kg; 0,600 kg y 0,325 kg de peso de la mazorca respectivamente. Fue evidente que los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral superaron al tratamiento testigo (T0).

De acuerdo al pH del suelo con 4,19 y a los contenidos de materia orgánica (2,18), los contenidos de Ca y Mg con 1,55 y 0,52 meq/100g están relacionados con el grado de acidez del suelo, siendo que el calcio y el magnesio son bajos por su solubilidad y deficiencia debido al grado de meteorización de los mismos, tal como lo indica, así mismo, el nitrógeno en forma de materia orgánica en su mayoría proteínico se encuentra en grupos amino (-NH.), el cual y mediante el proceso de descomposición a formas amoniacales (NH₃) por acción de enzimas producidas por microorganismos a través de un proceso que se conoce como "amonificación", proceso que se incrementa con la humedad, temperatura, nivel adecuado de nutrimentos y materia orgánica (Mendez, 1990). Fue de esperar que el efecto a razón de los contenidos de Ca, Mg y M.O del Magnecal resultaron en mejores resultados en el peso promedio de la mazorcas por razones obvias respecto al favorecimiento de la absorción de nutrientes disponibles.

3.3. Número de granos por mazorca

Tabla 11

ANVA para el Número de granos por mazorca

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	15,750	3	5,250	1,500	0,265	N.S.
Tratamientos	382,800	4	95,700	27,343	0,000	**
Error exp.	42,000	12	3,500			
Total	440,550	19				

Promedio = 40,35 Desv. Estándar = 1,87 C V.= 4,6% R² = 90,5%

La prueba del Análisis de varianza (tabla 11) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 4,6% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R² de 90,5% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el número de granos por mazorca.

Tabla 12

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios	Significación
T4	magnocal	35,00	a
T0	testigo	36,00	a
T2	dolomita	40,50	b
T1	cal agrícola	44,00	c
T3	magnecal	46,25	c

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 12), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 46,25 granos por mazorca, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (cal agrícola), T2 (dolomita), T0 (testigo) y T4 (magnocal) con quienes se alcanzaron promedios de 44 granos, 40,5 granos, 36 granos y 35 granos por mazorca respectivamente. Acá también se evidenció que los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral el T4 (magnecal) no supero al testigo (T0).

Puesto que las bondades de la aplicación de Magnecal como enmienda nuevamente se observa en el presente resultado con 46,25 granos por mazorca en promedio, ponemos la interpretación más cercana a estos resultados el significado práctico de la expresión

logarítmica del pH radica en el hecho de que cada unidad de cambio de pH corresponde a un incremento de 10 veces en la cantidad de acidez o basicidad del suelo. En otras palabras, un suelo con pH 4.0 tiene 10 veces más H^+ activo que un suelo con pH 5.0. Esto tiene mucho significado en la nutrición de los cultivos y en el manejo efectivo de los fertilizantes y otros insumos (Espinoza y Molina, 1999).

En contenido de CaO (31 – 36%) en el Magnecal, este ha reaccionado rápidamente, siendo que la velocidad de la reacción se debe a que, por ser un óxido, reacciona rápidamente al ponerse en contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica que libera iones OH^- (Espinoza y Molina, 1999), en el pH al neutralizar los iones H^+ en el medio circundante, es obvio además que las condiciones de humedad en el suelo favorecieron el proceso., favoreciendo la disponibilidad de nutrientes y sus efectos en el desarrollo del mayor número de granos por mazorca.

3.4. Peso fresco de granos por mazorca (Kg)

Tabla 13
ANVA para el *Peso fresco de granos por mazorca (Kg)*

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	0,001	3	0,00033	0,461	0,715	N.S.
Tratamientos	0,024	4	0,006	15,310	0,000	**
Error exp.	0,005	12	0,0004166			
Total	,029	19				
Promedio = 0,16	Desv. Estándar = 0,2		C V.= 12,8%			$R^2 = 83,9\%$

La prueba del Análisis de varianza (tabla 13) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 12,8% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R^2 83,9% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el peso fresco de granos por mazorca.

Tabla 14
Prueba de Duncan (P<0,05) para los promedios de los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan (P<0,05)	
		Promedios (Kg)	Significación
T0	testigo	0,105	a
T1	cal agrícola	0,138	b
T4	magnocal	0,155	bc
T2	dolomita	0,180	cd
T3	magnecal	0,205	e

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 14), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 0,205 kg de peso fresco de granos por mazorca, superando estadísticamente a los tratamientos T2 (dolomita), T4 (magnocal), T1 (cal agrícola) y T0 (testigo) con quienes se alcanzaron promedios de 0,18 kg; 0,155 kg; 0,138 kg y 0,105 kg de peso fresco de granos por mazorca respectivamente. Acá también se evidenció que los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral superaron al tratamiento testigo (T0).

Como referencias generales indicamos que en experimentos conducidos en Brasil han demostrado que la fertilización del cacaotero bajo sombra solamente produce pequeños incrementos en producción, mientras que la fertilización de cacao a plena exposición solar produce incrementos considerables en rendimiento de grano seco. La fotosíntesis es mucho más intensa en una plantación sin sombra y la respuesta a la fertilización es alta. Sin embargo, cuando se suprime todo el sombrío y no se fertiliza, los rendimientos se reducen apreciablemente con el tiempo y la plantación entra en senescencia temprana (Pinto, 1962; Murria, 1982).

Así mismo, resultados de experimentos reportan que los incrementos en producción documentados en experimentos conducidos en Africa son muy interesantes. Experimentos conducidos en Ghana, evaluados por 3 años consecutivos que se iniciaron en una plantación de 9 años de edad, demostraron que la aplicación de fertilizantes sin remoción de sombra incrementó la producción en un 25%. La simple remoción del sombrío elevó la producción de 750 a 2875 kg/ha (Pinto 1963, citado por Llano y Castaño 1997).

Sin embargo, manifestamos que las enmiendas aplicadas (Cal agrícola, Magnocal, Dolomita y Magnecal) han superado estadísticamente al tratamiento testigo (T0) en sus promedios de peso fresco de granos por mazorca y esto debido a las que las sales básicas aplicadas

neutralizan la acidez del suelo, siendo que los carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg) contenidos en las enmiendas aplicadas reaccionaron como alcalinizantes o correctivos de acidez. Como hemos indicado en las discusiones anteriores, el Magnecal por sus altos contenidos de alcalinizantes y mejor y rápida reacción en el suelo se obtuvo el mejor promedio (0,205 kg) en el peso fresco de granos por mazorca.

3.5. pH

Tabla 15
ANVA para el pH

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	0,131	3	0,044	2,419	0,117	N.S.
Tratamientos	0,197	4	0,049	2,714	0,081	N.S.
Error exp.	0,217	12	0,018			
Total	0,545	19				

Promedio = 5,02 Desv. Estándar = 0,13 C.V.= 2,7% R² = 60,2%

La prueba del Análisis de varianza (tabla 15) no identificó la existencia de diferencias significativas en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 2,7% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R² de 60,2% el cual explica el efecto de los tratamientos estudiados sobre el pH.

Tabla 16
Prueba de Duncan (P<0,05) para los promedios de pH, en tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan (P<0,05)	
		Promedios	Significación
T0	testigo	4,91	a
T4	magnocal	4,93	ab
T1	cal agrícola	4,98	ab
T3	magnecal	5,13	ab
T2	dolomita	5,15	b

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 16), nos muestra que con el T2 (dolomita) se obtuvo el mayor promedio con 5,15 de pH, siendo estadísticamente igual a los tratamientos T3 (magnecal), T1 (cal agrícola) y T4 (magnocal) con promedios de pH de 5,13, 4,98 y 4,93 respectivamente y superando únicamente al T0 (testigo) con quien se obtuvo un promedio de 4,91 de pH.

Como podemos apreciar todas las enmiendas aplicadas incrementaron el pH del suelo en 0,03 (Magnocal), 0,07 (Cal agrícola), 0,22 (magnecal) y 0,24 (Dolomita) respecto al tratamiento testigo con un pH de 4,91. Estas respuestas se deben a sus variables contenidos de los materiales alcalinizantes o correctivos de acidez que contienen (carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio) indicado por Espinoza y Molina (1999). Siendo importante también indicar que la calidad de las enmiendas utilizadas respecto a su pureza química, tamaño de partícula y poder relativo de neutralización total han desarrollado respuestas similares entre sí, o cual ha sido suficiente para generar respuestas superiores en las otras variable agronómicas evaluadas.

3.6. Número de mazorcas perdidas por monilia

Tabla 17

ANVA para el Número de mazorcas perdidas por monilia

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	2,200	3	0,733	0,854	0,491	N.S.
Tratamientos	645,300	4	161,325	187,951	0,000	**
Error exp.	10,300	12	0,858			
Total	657,800	19				

Promedio = 8,9 Desv. Estándar = 0,926 C V.= 10,4% R² = 98,4%

La prueba del Análisis de varianza (tabla 17) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 10,4% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R² de 98,4% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el número de mazorcas perdidas por monilia.

Tabla 18

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios	Significación
T3	magnecal	3,50	a
T4	magnocal	4,50	a
T2	dolomita	8,25	b
T1	cal agrícola	8,75	b
T0	testigo	19,50	c

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Duncan (tabla 18), nos muestra que con el T3 (magnecal) y T4 (magnocal) se

obtuvieron los menores promedios con 3,5 y 4 mazorcas perdidas por monilia respectivamente, siendo menores estadísticamente a los tratamientos T2 (dolomita), T1 (cal agrícola) y T0 (testigo) con quienes se alcanzaron promedios de 8,25 ; 8,75 y 19,5 mazorcas perdidas por monilia respectivamente. Acá también se evidenció que los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral lograron controlar mejor el efecto del ataque a las mazorcas por monilia que el tratamiento testigo (T0).

La respuesta favorable de los cultivos al encalado se da principalmente como resultado de la neutralización de la acidez causada por Al^{+3} , H^{+} , y/o Mn^{+2} , y del suministro de Ca, Mg o ambos (Kamprath 1984). Sin embargo, existe el criterio de algunos productores y técnicos de que la piña necesita condiciones ácidas en el suelo y que aplicaciones de cal que incrementen el pH del suelo pueden causar un aumento en la incidencia de la pudrición radical provocada por *Phytophthora* (Swete Kelly 1993), y de acuerdo con Frossard (1976), el problema es más severo cuando el pH del suelo está por encima de 5,5.

Las relaciones o cocientes Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y Ca+Mg/K suponen predecir, bajo ciertos rangos, las cantidades más adecuadas de las bases relacionadas entre sí; cuando estos cocientes se encuentran alejados de ese rango es probable que se presenten problemas con algunos de los elementos involucrados en el equilibrio, especialmente si alguno está en niveles bajos (Bertsch 1995).

Las dosis de encalado normalmente recomendadas en muchos países de Latinoamérica oscilan entre 0,5 y 2 ton/ha, y en algunos casos hasta 3 ton/ha. Sin embargo, algunos experimentos y pruebas comerciales recientes han mostrado que en suelos fuertemente ácidos, la dosis de cal podría ser mayor. Así por ejemplo, Salas et al. (1996) encontraron respuesta casi lineal a la aplicación de cal en tiquizque blanco sembrado en un Ultisol de Costa Rica. La dosis más alta utilizada (4 ton/ha) no logró maximizar el rendimiento, mostrando que esta dosis fue probablemente insuficiente.

3.7. Longitud de la mazorca (cm)

Tabla 19

ANVA para el Longitud de la mazorca (cm)

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	11,537	3	3,846	1,171	0,361	N.S.
Tratamientos	112,200	4	28,050	8,543	0,002	**
Error exp.	39,400	12	3,283			
Total	163,137	19				
Promedio = 21,33	Desv. Estándar = 1,81		C V.= 8,5%		R ² = 75,8%	

La prueba del Análisis de varianza (tabla 19) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 8,5% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R^2 de 75,8% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el tamaño de la mazorca.

Tabla 20

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios	Significación
T0	testigo	18,25	a
T1	cal agrícola	20,00	ab
T4	magnocal	20,75	ab
T2	dolomita	22,38	b
T3	magnecal	25,25	c

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Rangos Múltiples de Duncan (tabla 20), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 25,25 cm de tamaño de la mazorca superando estadísticamente a los tratamientos T2 (dolomita), T4 (magnocal), T1 (cal agrícola) y T0 (testigo) con quienes se alcanzaron promedios de 22,38 cm, 20,75 cm, 20 cm y 18,25 cm de tamaño de la mazorca respectivamente. Así mismo, los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral superaron al tratamiento testigo (T0).

Para indicar el incremento en tamaño y los cambios en forma y complejidad que ocurren en una planta a lo largo de su ciclo de vida, estos cambios anatómicos y fisiológicos que experimenta la planta son susceptibles de medirse a través de peso, altura o algún otro atributo similar que normalmente se incrementa con la edad; en una planta superior el crecimiento está asociado tanto con el incremento en el número de células como con el

aumento en su tamaño, y ocurre por efecto de la fotosíntesis. Así la forma y proporciones que adquiere una planta a lo largo de las diferentes etapas de su desarrollo son una expresión de la interacción entre los factores genéticos internos y los ambientales o externos; estos factores externos son: agua, luz, dióxido de carbono, oxígeno, temperatura y nutrientes (Bertsch1995).

3.8. Peso de granos por mazorca en seco (Kg)

Tabla 21

ANVA para el Peso de granos por mazorca en seco (Kg)

Origen	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F.C.	P-valor	Interpretación
Bloques	1,095E-5	3	3,650E-6	0,358	0,784	N.S.
Tratamientos	0,004	4	0,001	94,109	0,000	**
Error exp.	0,000122	12	1,019E-5			
Total	0,004	19	0,00001019			

Promedio = 0,05 Desv. Estándar = 0,0032 C V.= 6,4% R² = 96,9%

La prueba del Análisis de varianza (tabla 21) identificó la existencia de diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la fuente de variabilidad Tratamientos, un C.V. de 6,4% que asegura la confiabilidad de los datos generados en campo definitivo y un R² de 96,9% el cual explica muy bien el efecto de los tratamientos estudiados sobre el peso de granos por mazorca en seco.

Tabla 22

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de peso de mazorca en los tratamientos

Tratamientos	Características	Duncan ($P < 0,05$)	
		Promedios	Significación
T0	testigo	0,032	a
T1	cal agrícola	0,045	b
T4	magnocal	0,051	c
T2	dolomita	0,061	d
T3	magnecal	0,073	e

Promedios signados con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de Rangos Múltiples de Duncan (tabla 22), nos muestra que con el T3 (magnecal) se obtuvo el mayor promedio con 0,073 kg de peso de granos por mazorca en seco, superando estadísticamente a los tratamientos T2 (dolomita), T4 (magnocal), T1 (cal agrícola) y T0 (testigo) con quienes se alcanzaron promedios de 0,061 kg; 0,051 kg; 0,045

kg y 0,032 kg de peso de granos por mazorca en seco respectivamente. Los tratamientos que recibieron enmiendas de origen mineral superaron al tratamiento testigo (T0) en el peso de granos por mazorca en seco.

Crecimiento y desarrollo son palabras usadas para indicar el incremento en tamaño y los cambios en forma y complejidad que ocurren en una planta a lo largo de su ciclo de vida, estos cambios anatómicos y fisiológicos que experimenta la planta son susceptibles de medirse a través de peso, altura o algún otro atributo similar que normalmente se incrementa con la edad; en una planta superior el crecimiento está asociado tanto con el incremento en el número de células como con el aumento en su tamaño, y ocurre por efecto de la fotosíntesis. Así la forma y proporciones que adquiere una planta a lo largo de las diferentes etapas de su desarrollo son una expresión de la interacción entre los factores genéticos internos y los ambientales o externos; estos factores externos son: agua, luz, dióxido de carbono, oxígeno, temperatura y nutrimentos (Bertsch 1995).

Los materiales utilizados como correctivos de acidez del suelo son principalmente carbonatos, hidróxidos y óxidos de Ca y/o Mg (Alcarde 1992). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Chaves 1993).

El encalado constituye el manejo más convencional para contrarrestar el efecto de la acidez y consiste en la aplicación de sales básicas (comúnmente Ca y en forma preferencial el carbonato de calcio), buscando la neutralización de la acidez intercambiable (Bertsch 1995).

En Costa Rica la principal fuente de encalado es el carbonato de calcio, 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).

A pesar que el trabajo no ha evaluado la presencia de cadmio en el suelo y el cual está relacionado con la acidez del suelo, presentamos una referencia del trabajo de investigación sobre el “Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de

cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en suelos de Barlovento, estado Miranda” (Contreras *et al.*, 2002), donde manifiestan que el control químico del cadmio en los suelos es una de ellas, donde la alcalinización del suelo puede precipitar el metal (cadmio) no únicamente como carbonato, sino también como fosfato, además el efecto competitivo del Ca^{2+} y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de cadmio por las raíces del cultivo (Mortvedt *et al.*, 1983). Las reacciones del cadmio con cada componente del suelo dependerán de factores tales como la textura del suelo, el pH, el clima, las prácticas de manejo y las fuentes de origen del cadmio (Mann y Ritchie, 1993). De ahí que se estableció un ensayo de invernadero durante cinco meses, con el objetivo de determinar mediante análisis foliar el efecto del carbonato de calcio (CaCO_3), sobre absorción del cadmio (Cd) por plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*). Adicionalmente se utilizaron dosis de cloruro de calcio (CaCl_2) para diferenciar el efecto que ocurre mediante el incremento de pH y el resultado del incremento de la concentración del calcio en el complejo de cambio. Se evaluó la dinámica del calcio (Ca) en las plantas, al finalizar se determinó el Cd total y el Cd intercambiable en los suelos para comparar con su concentración inicial. Los resultados indican que en ambos suelos disminuyó la absorción del cadmio por las plantas al utilizar CaCO_3 . La concentración de calcio en las hojas aumentó con las cantidades de calcio aplicadas en los tratamientos. Por efecto de los tratamientos de CaCO_3 la cantidad de Cd intercambiable del suelo disminuyó con respecto al testigo en los dos suelos. La materia seca, tanto en Troporthents como en Typic dystrochepts aumentó en comparación con el tratamiento testigo al aplicarse las dosis de carbonato de calcio. Los tratamientos de cloruro de calcio (CaCl_2) disminuyeron la absorción del cadmio por las plantas y el Cd intercambiable del suelo, el efecto fue menor al compararse con los tratamientos de CaCO_3 .

CONCLUSIONES

- Con una aplicación de Magnecal (T3) de 95,83kg se obtuvieron los mejores resultados agronómicos y estadísticamente superiores a los demás tratamientos en el número de mazorcas por planta (8 mazorcas), peso de la mazorca (0,8kg), número de granos por mazorca (46,25), peso fresco de granos por mazorca (0,205kg), tamaño de mazorca (25,25 cm), peso seco de granos por mazorca (0,073 kg) y 3,5 mazorcas perdidas por monilia.
- Con el tratamiento Testigo (T0) se obtuvieron los menores promedios en las variables agronómicas evaluadas con 3 mazorcas por planta, 0,325 kg de peso de la mazorca, 36 granos por mazorca, 0,105 kg de peso fresco de granos por mazorca, 19,5 mazorcas perdidas por monilia, 18,25 cm de tamaño de mazorca y 0,032 kg de peso seco en granos por mazorca.
- En función al pH promedio del T0 con 4,91, con la aplicación de los tratamientos T4 (magnocal), T1 (Cal agrícola), T3 (Magnecal) y T2 (Dolomita) se incrementaron los valores del pH del suelo en 0,02; 0,07; 0,22 y 0,24 respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el trabajo de investigación en una amplitud de tiempo y zonas diferentes para poder verificar su comportamiento a los diferentes momentos de los cambios climáticos referente al cultivo de cacao.
- Dar uso a las enmiendas aplicadas de este trabajo de investigación en otros cultivos para así poder verificar si hay una significancia comparativa en cuanto a los resultados obtenido en este trabajo de tesis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

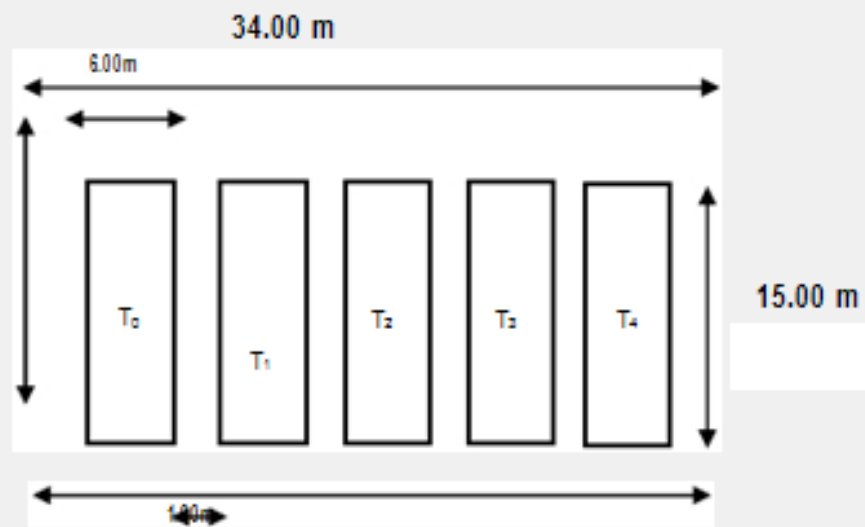
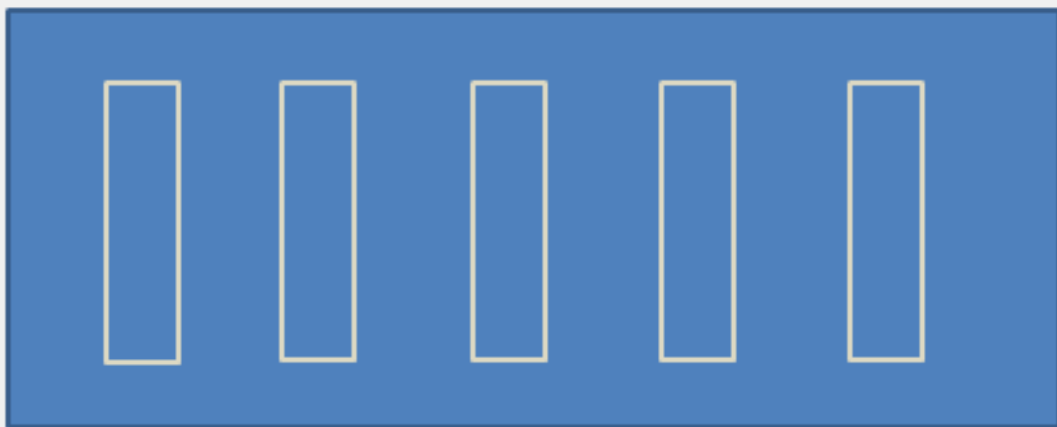
- Alcarde J.C. (1992). *Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas*. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim Técnico No. 6-26p.
- Alegre, J. (1993). *Manejo y conservación de suelos y su importancia en sistemas agroforestales*. Instituto Nacional de investigación Agraria proyecto Suelos Tropicales. En Meza, L.A. y Cornelius, J. (Editores). 2006. La agroforestería en el Perú.
- Anderson. D. (1995). *La caña de azúcar y el fósforo*. Informaciones Agronómicas. N° 18 INFOPOS 6P.
- Arévalo, E. (2016). Artículo Científico Original. *Metales Pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú*. Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). Tarapoto, Perú. Ecología Aplicada. Apl. Vol. 15 no.2 Lima Jul/dic.2016. En DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v12i2.747>
- Barquero S.M. (2007). *Área sembrada piña es similar a la de banano (en línea)*. San José, CR. La Nación. Consultado 20 abril 2008. Disponible en http://www.nación.com/ln_ee/2007/julio/02/economia1149095.html
- Bartholomew D.P., Paull R.B., Rohrbach, K.G. (2002). *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, New York, USA. 320p.
- Bertsch F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo, San José, Costa Rica. 57p.
- Bertsch F. (1986). *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Oficina de Publicaciones Universitarias de Costa Rica. San José, Costa Rica, 26p.
- Castro, Z. (2000). *Estudio de la actividad productora de piña (*Ananas comosus* L. Merr.) y comportamiento del mercado interno en Costa Rica*. San Carlos, Costa Rica. 64p.
- Chappa, C.E. y Moncada, P.M. (1992). *Evaluación preliminar de fuentes y niveles de fósforo para el cultivo de maíz en un suelo ácido de La Banda de Shilcayo*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias UNSM-T, Perú. 101p.
- Chavez 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. 41p.
- Contreras F, Herrera T y Izquierdo A. (2002) Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao*

- L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. Venezuela. *Venesuelos* 13:52-63. P 52 – 63.
- Del Águila, E.A. (1968). *Estudio de la toxicidad del aluminio, utilizando como planta indicadora el algodón*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía, Lima, Perú. 55p.
- Díaz-Romeu R., Hunter A. (1978). *Metodología de muestras de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero*. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 68p.
- Espinosa, J. (1995). *Acidez y Encalado de los suelos*. Informaciones Agronómicas (INPOFOS) 20:6-14
- Espinosa, J., y Molina E. (1999). *Acidez y Encalado de los suelos*. INPOFOS, Ecuador. 46p.
- Fundación de Desarrollo Agropecuario - FDA. (1988). *Cultivo de piña.*, INC. República Dominicana. 19p.
- Frossard P. (1976). *Study of Phytophthora heart rot pineapple, pH, calcium and fungicide treatments in the field*. Fruit 31: 617-621.
- Guido M.M. (1983). *Guía Técnica para el cultivo de la piña Ananas comosus, (L) Merr*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Nicaragua. 20p.
- Goung V.T., Tinh T.K., Tran T.T., Moi L. T. (1998). *Effect of prhosphorus, lime and potassium fertilization on aluminium uptake on pineapple yield in acid sulphate soils in the Mekong delta, Vietnam*. Acta Hortiuculturae 425:403-409.
- Jiménez, J. (1999). *Cultivo de la piña. Manual práctico para el cultivo de la piña de exportación*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 224p.
- Juo, A.S; and Kang, B.T. (1978). *Availability and transformation of rock phosphate in three forest soils from Southern Nigeria*. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 9(6): 493-501.
- Kamprath E. (1984). *Crop response to lime in soils of the tropics*. In F. Adams (ed). Soil acidity and liming. ASA, Wisconsin. P.349-369.
- Mann, S y Ritchie, G. (1993). *The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils*. Aust. J. Soil Res. 31: 255-270.
- Mendez, A. H. (1990). *Curso Nacional de Cacao*. Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. Floridablanca, Colombia. 216 p.
- Mite, F., Medina L., Espinosa J. (2009). *Efecto de la corrección del Ph en el rendimiento de piña en suelos volcánicos*. International Plant Nutrition Institute, Ecuador, Informaciones Agronómicas N° 73: 1-5.


- Molina, E. (1998). *Encalado para la corrección de la acidez del suelo*. ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.
- Molina, E. (2002). *Fertilización foliar de cultivos frutícolas*. In *Memorias Seminario Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*, ed. Por G. Meléndez y E. Molina. Laboratorio de suelos CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p.85-104.
- Molina, E. (2003). *Características y Manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y Potasio*. In *Memorias Seminario Fertilizantes: Características y Manejo*, ed. Por G. Meléndez y E. Molina. Laboratorio de suelos CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p.31-58.
- 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. (2008). *Análisis químico de suelos, Interpretación y Recomendaciones*. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, San José, Costa Rica. 22p.
- Molina, E. (2009). *Análisis foliar, Interpretación y Recomendaciones*. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, San José, Costa Rica. 12p.
- Mortvedt, J.; P. Giordano y W., Lindsay. (1983). *Micronutrientes en Agricultura*. AGT.
- Parra, J. (1971). *El encalado de cinco cultivos en suelos derivados de cenizas volcánicas, zona cafetera*. En: *Suelos Ecuatoriales. Acidez y Encalamiento en el trópico*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Vol. III N°1.133-153pp.
- Py, C. (1969). *La Piña Tropical*. Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas. Trad. Por Fermin Palomeque. Edit. Blume, Barcelona, España. p.33-34
- Proyecto Desarrollo Alternativo Tocache Uchiza – PRODATU. (2015). www.devida.gob.pe
- Raij, B., Van. (1991). *Fertilidade do solo e adubacao*. INPOFOS, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 343p.
- Raij, B., Van de Andrade J.C., Cantarella H., Quaggio J. A. (2001). *Análise Química para Avaliação de Fertilidade de Solos Tropicais*. Instituto Agronômico Campinas, São Paulo. 285p.
- Raun, R.W. (1995). *Regional maize grain yield response to applied phosphorus in Central America*. *Agron. J.* 87:208.
- Rengifo, S.C. (2014). *Efecto de la aplicación de enmienda orgánica y mineral sobre la fertilidad de un suelo ácido Ultisol de la Amazonía Peruana*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería

- Agronómica y del Medio Natural. Programa de Doctorado de Producción Vegetal y Ecosistemas Agroforestales. 132 p.
- Sánchez, P.A., Salinas J.G. (1983). *Suelos ácidos: Estrategias para su Manejo con Bajos Insumos en América Tropical*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia. 93p.
- Silva, J.A., Hamasaki R., Paull R., Bartholomew D.P., Fukuda S., Hue N.V., Uehara G., Tsuji G.Y. (2006). *Lime, gypsum and basaltic dust effects on the calcium nutrition and fruit quality of pineapple*. *Acta Horticulturae* 702:123-131.
- Wade, M y Sánchez, P. (1975). *Informe Anual Proyecto Internacional de Suelos Tropicales*. Soil Science Department North Carolina State University Convenio Ministerio de Alimentación, Estación Experimental de Yurimaguas 62p.
- White, D; Labarta, R; Leguía, E. (2005). Technology adoption by resource-poor farmers: considering the opportunity cost of peak-season labor: *Agricultural Systems*, 85(2):183-201
- Swete Kelly D.E. (1993). *Nutritional Disorders*. In *Pineapple Pests and Disorders*, ed. Por R.H. Broadley et al., Department of Plant Industry, Brisbane, Australia. P.33.


ANEXOS

Anexo 1:**Croquis del campo experimental****Detalle de la unidad experimental**

Anexo 2: Caracterización del análisis del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CORPORACION AGRICOLA LOPEZ S.A.C.


Departamento : SAN MARTIN
 Distrito :
 Referencia : H.R. 50960-099C-15 Fact.: 29425

Provincia :
 Predio : FINCA EL PEDREGAL
 Fecha : 02/09/15

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sal. De Bases
Lab.	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ + H ⁺			
10738	Artemio Velázquez	4.19	0.09	0.00	2.18	3.4	46	56	25	19	FrA	10.68	1.55	0.52	0.06	0.05	1.10	3.28	2.18	21

A = Arena ; A.F. = Arena Franca ; F.A. = Franco Arenoso ; F. = Franco ; F.L. = Franco Liso ; L. = Limoso ; Fr.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.A. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Lab.	Claves	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
10738	Artemio Velázquez	0.00	1.30	154.40	4.30	1.70



Sady García Bendezi
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina sin Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622 e-mail: lab suelo@lamolina.edu.pe