

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“FUENTES Y NIVELES DE ENCALADO EN EL  
CRECIMIENTO DE PLANTONES DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) EN DOS PROFUNDIDADES  
DE UN SUELO”**

**TESIS**

**Para optar al título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**FREDI VIVANCO VILLA**

**Tingo María – Perú**

**2016**

## DEDICATORIA

A mi amada esposa:

Bessy Cobos, por su amor y apoyo incondicional durante la ejecución de la investigación.

A mis padres Nicanor y Cristina, hermanos y hermanas por ser mi inspiración a seguir adelante.

A mi prima Gladys Villa, por su cariño y apoyo económico sin los cuales no habría sido posible emprender mis estudios profesionales y así lograr mi mayor anhelo.

A mis tíos (as):

Enrique, Baseliza, Félix y Alicia, con eterna gratitud, por su apoyo moral y sabios consejos, que permitieron culminar con éxito mi formación profesional.

“Gracias por ayudarme a ser un profesional”

## AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi Alma Mater, profesores de la Facultad de Agronomía y personal administrativo, por haberme vertido su sabia y fecunda enseñanza.
- Al Ing. Agr. Luis Mansilla Minaya, asesor del presente trabajo, gran amigo y orientador profesional.
- Al Ing. Agr. M. Sc. Jorge Adriazola Del Águila, coasesor del presente trabajo, gran amigo y profesional guía.
- Al Ing. Agr. Martín Marigorda Román y Blgo. Carlos Sánchez Rojas por las facilidades brindadas.
- A mis compañeros de trabajo del SERNANP, por su apoyo desinteresado.
- A los docentes Dr. José W. Zavala Solórzano, Ing. Agr. M. Sc. Hugo A. Huamaní Yupanqui e Ing. Agr. Jaime J. Chávez Matías, quienes han sido partícipes como testigos durante la ejecución de la investigación.
- Al Ing. Ind. Alim. Gilmer Neira Trujillo, encargado del Laboratorio de suelos UNAS y Técnico Adm. Concepción Espinoza Ariza, encargado del Fundo de la Facultad de Agronomía UNAS, por las facilidades prestadas durante la ejecución de la investigación.
- A la familia Cobos Panduro, a mis primos Edwin, Ángel, Vanesa y a mis amigos Juan Salazar Lloja y Liz De la Cruz Inuma, por su apoyo en la ejecución de la tesis.

## ÍNDICE GENERAL

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 13            |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                | 15            |
| 2.1. Generalidades del cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) ..... | 15            |
| 2.2. Producción de plantas en vivero .....                      | 16            |
| 2.2.1. Ubicación.....   | 16            |
| 2.2.2. Diseño y orientación.....                                | 16            |
| 2.2.3. Tamaño.....  | 17            |
| 2.2.4. Insumos, herramientas y equipos.....                     | 17            |
| 2.2.5. Condiciones básicas .....                                | 17            |
| 2.2.6. Labores culturales en la producción de plantones .....   | 18            |
| 2.2.6.1. Preparación del sustrato.....                          | 18            |
| 2.2.6.2. Llenado de bolsas.....                                 | 19            |
| 2.2.6.3. Acomodo de bolsas .....                                | 19            |
| 2.2.6.4. Adquisición de semillas .....                          | 20            |
| 2.2.6.5. Preparación de semillas .....                          | 20            |
| 2.2.6.6. Siembra .....  | 20            |
| 2.2.6.7. Riego .....  | 21            |
| 2.2.6.8. Control de malezas.....                                | 21            |
| 2.2.6.9. Control fitosanitario.....                             | 22            |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.6.10. Fertilización .....   | 22 |
| 2.3. Encalado.....  | 23 |
| 2.3.1. Materiales encalantes .....                                      | 25 |
| 2.3.2. Factores que determinan las necesidades de<br>enmiendas... ..... | 26 |
| 2.3.3. Neutralización de la acidez cambiante .....                      | 27 |
| 2.4. Respuesta del cacao a la toxicidad por el aluminio .....           | 28 |
| 2.5. Experiencias de encalado en cacao .....                            | 29 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 31 |
| 3.1. Ubicación del campo experimental.....                              | 31 |
| 3.2. Materiales.....  | 31 |
| 3.3. Factores en estudio.....   | 32 |
| 3.3.1. Sustrato de dos profundidades del suelo (A).....                 | 32 |
| 3.3.2. Fuentes de encalado (B) .....                                    | 32 |
| 3.3.3. Niveles de encalado (C) .....                                    | 32 |
| 3.4. Tratamientos en estudio.....                                       | 33 |
| 3.5. Diseño experimental.....   | 35 |
| 3.6. Metodología.....   | 36 |
| 3.6.1. Muestreo de suelo y preparación del sustrato.....                | 36 |
| 3.6.2. Análisis de suelos.....  | 37 |
| 3.6.3. Análisis de materiales encalantes .....                          | 37 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.6.4. | Aplicación de tratamientos, llenado y distribución de bolsas..... | 37 |
| 3.6.5. | Pre germinado y trasplante .....                                  | 37 |
| 3.6.6. | Control de malezas .....  | 38 |
| 3.7.   | Evaluaciones.....   | 38 |
| IV.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                       | 41 |
| 4.1.   | Características químicas de los sustratos en estudio.....         | 41 |
| 4.2.   | Prueba biológica.....   | 55 |
| 4.2.1. | Altura de planta.....   | 55 |
| 4.2.2. | Diámetro de planta .....  | 64 |
| 4.2.3. | Área foliar del cacao.....  | 67 |
| 4.2.4. | Materia seca parte aérea de la planta de cacao en vivero.....     | 69 |
| V.     | CONCLUSIONES.....   | 74 |
| VI.    | RECOMENDACIONES.....  | 75 |
| VII.   | RESUMEN.....  | 76 |
| VIII.  | BIBLIOGRAFÍA.....   | 78 |
| IX.    | ANEXO.....  | 84 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Descripción de los tratamientos en estudio.....   | 33            |
| 2. Peso de enmiendas encalantes utilizados por bolsa de 1.5 kg de suelo seco en el experimento .....   | 34            |
| 3. Esquema del análisis de variancia.....  | 36            |
| 4. Análisis químico del suelo de 0 a 20 cm de profundidad al final del experimento.....  | 42            |
| 5. Análisis químico del suelo de 20 a 40 cm de profundidad al final del experimento.....   | 43            |
| 6. Resultados del análisis de la roca fosfórica.....   | 46            |
| 7. pH, fósforo, calcio y magnesio del suelo 0 a 20 cm y 20 a 40 cm de profundidad, por efecto de las enmiendas aplicadas.....                            | 53            |
| 8. Resumen del análisis de variancia de las características de altura, diámetro, área foliar y materia seca de la planta de cacao a nivel de vivero..... | 56            |
| 9. Efectos principales de la altura de plántones de cacao.....   | 57            |
| 10. Efectos simples en la altura de plántones de cacao.....  | 61            |
| 11. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos principales del diámetro de tallo de plántones de cacao.....  | 64            |

|  |    |
|--|----|
| 12. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos simples del diámetro de tallo en plantones de cacao.....                                  | 66 |
| 13. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos principales del área foliar de los plantones de los plantones de cacao.....               | 67 |
| 14. Efectos simples en el área foliar de los plantones de cacao.....   | 68 |
| 15. Efecto principal de los sustratos, materiales encalantes y niveles de encalado en el rendimiento de materia seca de la parte aérea.....    | 70 |
| 16. Efectos simples de la materia seca aérea de los plantones de cacao.....  | 72 |
| 17. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la materia seca aérea de la comparación del factorial vs. testigos.....                               | 73 |
| 18. Análisis físico y químico de los sustratos del suelo de 0 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad.....  | 85 |
| 19. Calificativo de la clase textural del suelo.....   | 86 |
| 20. Calificativo y causas del grado de pH.....   | 86 |
| 21. Clasificación del nivel de fertilidad de un suelo.....   | 87 |
| 22. Contenido de cationes cambiabiles y otras propiedades del suelo (Universidad Nacional Agraria La Molina).....                              | 87 |
| 23. Contenido en el suelo de materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo (ppm) y potasio disponible ( $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) ..... | 88 |
| 24. Contenido químico de las enmiendas encalantes.....   | 88 |
| 25. Contenido químico de las enmiendas encalantes.....   | 88 |

|  |    |
|--|----|
| 26. Resultados evaluados cada 15 días, de altura de planta (cm), se muestra en el cuadro el promedio por cada tratamiento.....                     | 89 |
| 27. Resultados de altura de planta (cm), a los 150 días.....   | 90 |
| 28. Resultados de diámetro de tallo (mm), a los 150 días.....  | 91 |
| 29. Resultados de las evaluaciones de área foliar (cm <sup>2</sup> ), materia seca (g) y volumen radicular (mm <sup>3</sup> ), a los 150 días..... | 92 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1. Variación del pH de los sustratos provenientes de suelo 0 a 20 cm por efecto de la aplicación de los materiales encalantes.....  | 44            |
| 2. Variación del pH de los sustratos provenientes de suelo 20 a 40 cm por efecto de la aplicación de los materiales encalantes..... | 44            |
| 3. Variaciones del P disponible por efecto del encalado del suelo 0 a 20 cm de profundidad.....                                     | 47            |
| 4. Variaciones del P disponible por efecto del encalado del suelo de 20 a 40 cm de profundidad.....                                 | 48            |
| 5. Variaciones del calcio cambiabile por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 0 a 20 cm de profundidad .....     | 49            |
| 6. Variaciones del calcio cambiabile por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo 20 a 40 cm de profundidad.....        | 50            |
| 7. Variaciones del magnesio cambiabile por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 0 a 20 cm de profundidad .....   | 51            |
| 8. Variaciones del magnesio cambiabile por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 20 a 40 cm de profundidad .....  | 51            |
| 9. Variaciones de la saturación de Al por efecto del encalado del suelo de 0 a 20 cm de profundidad.....                            | 54            |

|  |    |
|--|----|
| 10. Saturación de aluminio en sustratos del suelo de 20 a 40 cm de profundidad.....  | 55 |
| 11. Altura promedio de los plántones de cacao con las enmiendas en estudio.....  | 58 |
| 12. Altura promedio de los plántones de cacao en sustrato de 0 a 20 cm de profundidad.....                                   | 59 |
| 13. Altura promedio de los plántones de cacao de los niveles de X (Al intercambiable).....                                   | 59 |
| 14. Altura promedio de los plántones de cacao en los sustratos de 20 a 40 cm de profundidad.....                             | 60 |
| 15. Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento $T_1$ , en el sustrato suelo de 0 a 20 cm. de profundidad..... | 62 |
| 16. Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento $T_2$ , en el sustrato suelo de 0 a 20 cm. de profundidad..... | 62 |
| 17. Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento $T_3$ , en el sustrato suelo de 0 a 20 cm. de profundidad..... | 63 |
| 18. Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento $T_4$ , en el sustrato suelo de 0 a 20 cm. de profundidad..... | 63 |
| 19. Diámetro promedio del tallo de cacao de las enmiendas en estudio.....  | 65 |

|   |    |
|---|----|
| 20. Diámetro promedio del tallo de los niveles X (Al intercambiable).....   | 65 |
| 21. Efecto principal de los sustratos, materiales encalantes, niveles de encalado y testigos de la materia seca parte aérea.....                          | 70 |
| 22. Materia seca aérea de la comparación del factorial vs. testigos....   | 73 |
| 23. Mapa de ubicación geográfica de la ejecución del experimento.....   | 93 |
| 24. Obtención de los sustratos para el vivero de cacao .....  | 94 |
| 25. Separando los dos sustratos “suelo 0 a 20 y 20 a 40 cm”.....  | 94 |
| 26. Los dos sustratos “Suelo 0 a 20 y 20 a 40 cm”, secados y separados para su análisis en el Laboratorio de Suelos de la UNAS.....                       | 95 |
| 27. Calería “José Luis”, sector Cueva de las Pavas, Tingo María.....  | 95 |
| 28. Materia Horno de la Calería “José Luis”, sector Cueva de las Pavas, Tingo María donde se produce la cal mediante el quemado de la piedra caliza... .. | 96 |
| 29. Empaquetado de la cal hidratada, para su comercio.....  | 96 |
| 30. Cantera de dolomita en Tambillo Grande, administrado por el señor Tafur.....  | 97 |
| 31. Planta de proceso de dolomita, administrado por el señor José Tafur, en el sector Quezada, llenado en sacos para su comercio. ....                    | 97 |

|  |     |
|--|-----|
| 32. Cantera de la roca fosfórica.....  | 98  |
| 33. Llenado en sacos de la roca fosfórica para su comercio.....                | 98  |
| 34. Remoción del mucílago de las semillas de cacao.....                        | 99  |
| 35. Siembra de las semillas de cacao en las bolsas en vivero.....              | 99  |
| 36. Las plantas de cacao en pleno desarrollo en el vivero.....                 | 100 |
| 37. Visita de los miembros de jurado de tesis al lugar del<br>experimento..... | 100 |

## I. INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana y en particular la cuenca del Alto Huallaga, presenta condiciones climáticas que favorecen el cultivo de cacao; sin embargo, las características edáficas son variables y en general, los cacaotales han sido instalados en condiciones de suelos aluviales, eligiéndose los mejores suelos dada su rentabilidad. Sin embargo, últimamente, su cultivo se está extendiendo a las áreas que hasta hace poco no eran recomendadas, es decir, a los suelos ácidos ubicados en lomadas y colinas, en los que se entiende su producción se verá limitada. Tales suelos presentan por lo general, además de su elevada acidez, porcentajes variables de saturación alumínica, baja disponibilidad de P y K y desbalances catiónicos. La producción de plántones constituye una actividad importante en el cultivo y los cacaocultores tendrán la necesidad de utilizar sus mismos suelos para producirlos, haciéndose necesario conocer la respuesta que tendría el enclavamiento en la producción de plántones para su distribución en el campo en tales condiciones.

En los suelos Inceptisols ubicados en lomadas y colinas, muchos de ellos sometidos durante años a explotación y procesos erosivos, se presentan suelos de dos profundidades (suelo de 0 - 20 y 20 – 40 cm) que en general son utilizados por agricultores en la producción de plántones. Estos suelos presentan características diferentes de contenidos de materia orgánica, acidez y nutrientes disponibles y cambiables, existiendo por lo tanto, la necesidad de conocer el comportamiento y efecto de ellos en la producción de plántones. La neutralización del aluminio intercambiable y últimamente la acidez

intercambiable ha sido propuesta como una de las formas de reducir cantidades de material encalante en el manejo de los suelos ácidos. Asimismo, en nuestra región se dispone de por lo menos dos de estos materiales, la piedra caliza molida y la cal hidratada, de las cuales se presume presentan comportamiento y eficiencia diferente en la neutralización de los cationes ácidos. Paralelamente, existe la roca fosfórica que posee cualidades neutralizantes de la acidez, sumado a su efecto de fertilizante fosforado, que es precursor del crecimiento radicular.

**Objetivo general:**

Determinar el efecto de fuentes y niveles de materiales encalantes en la modificación de algunas características del suelo y en el crecimiento de plántones de cacao.

**Objetivos específicos:**

- a. Evaluar el efecto de tres fuentes y cuatro niveles de encalado en algunas propiedades químicas evaluadas en un suelo ácido a dos profundidades.
- b. Evaluar el efecto de tres fuentes y cuatro niveles de encalado en el crecimiento de plántones de cacao en un suelo ácido a dos profundidades.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao (*Theobroma cacao* L.), se encontró originalmente en la selva amazónica compartiendo el segundo y tercer estrato con otros arbustos y palmeras. Es una especie umbrófila, es decir, que requiere de la protección de otras plantas que le proporcionan sombra para su normal desarrollo y producción. El poder convivir compartiendo suelo y espacio con otras especies perennes, bianuales y anuales, hacen del cacao un cultivo apropiado para el desarrollo del sistema agroforestal en zonas tropicales. Como en un sistema agroforestal de cacao, la provisión de mantillo en el suelo ayuda a mantener la humedad del suelo y aumento de la cantidad de materia orgánica y promueve la actividad de microorganismos benéficos (SÁNCHEZ, 2006).

Todas las plantas, de acuerdo al lugar en donde se ubiquen o se cultiven reciben distintos nombres (nombre común). Sin embargo, el nombre científico es *Theobroma cacao* L. (MENDOZA, 2013). El género *Theobroma* y la especie cacao, pertenece a la familia Sterculiaceae (CÉSARE, 1979). El cacao es una planta leñosa, alógama y que difícilmente soporta el trasplante de raíz desnuda (ADRIAZOLA, 2003). La planta de cacao, crece en altitudes desde el nivel del mar, hasta más de 1400 m.s.n.m., pero se observa un mejor comportamiento de producción con respecto al rendimiento, desde 250 hasta 900 m.s.n.m. (SÁNCHEZ, 2006). El cacao como tal se conduce en temperaturas que fluctúan entre los 20 y 24°C (CÉSARE, 1979). El cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH del suelo se encuentra en el rango de 5.5 a 6.5 (PAREDES,

2003). Puede desarrollarse en suelos ácidos (pH igual a 5.0) o ligeramente ácidos (pH igual a 6.5) o neutros (pH igual a 7.0); los suelos deben tener un contenido y porcentaje de materia orgánica no menor a 3.0% (BENITO, 1992); tiene un sistema radicular bastante desarrollado, con una raíz pivotante que puede alcanzar hasta 1.5 m o más. Los suelos más apropiados y más adecuados, son los suelos aluviales y francos (MINAG, 2000).

## **2.2. Producción de plantas en vivero**

El vivero es el lugar donde vamos a producir plántones de buena calidad, utilizando semillas seleccionadas y aplicando un trabajo cuidadoso y selectivo; básicamente para obtener un producto de calidad, en las cantidades suficientes y en el momento oportuno, para producir plántones de alta calidad, es importante planificar todas las actividades. La producción de plántones se debe programar asegurando que estos se encuentren en estado óptimo para ser trasplantados a inicios de las lluvias (MENDOZA, 2013).

### **2.2.1. Ubicación**

El vivero debe ubicarse en un terreno plano de buen drenaje, cerca de una fuente de agua y de fácil accesibilidad, preferentemente cerca al área donde se instalará la plantación (MENDOZA, 2013).

### **2.2.2. Diseño y orientación**

El vivero debe diseñarse de forma tal que las camas estén siempre orientadas de este a oeste para un mayor y mejor aprovechamiento y manejo de la luz solar (MENDOZA, 2013).

### **2.2.3. Tamaño**

El tamaño del vivero está en función al número de plántones a producir. Dentro del área total del vivero se debe considerar los espaciamientos entre las camas y caminos de acceso al mismo, que permitan el normal desempeño de las labores culturales y traslado de los plántones. Por ejemplo: para producir 1,400 plántones se requerirá un área mínima de 60 m<sup>2</sup> (4 m de ancho x 15 m de largo) (MENDOZA, 2013).

### **2.2.4. Insumos, herramientas y equipos**

La cantidad de insumos, los tipos de herramientas y equipos a ser empleados en el vivero, dependerán básicamente de la capacidad productiva y del nivel de tecnología de producción empleado en el mismo. El vivero debe contar mínimamente con semillas de alta calidad, fertilizantes, preventivos y curativos de plagas y enfermedades, envases resistentes (bolsas de polietileno) y sustrato suelto (con buen drenaje). Las herramientas y equipos como fumigadoras y sistemas de riego (MENDOZA, 2013).

### **2.2.5. Condiciones básicas**

Según MENDOZA (2013), las siguientes condiciones básicas para la construcción del vivero de cacao son:

- Mínimamente debe contar con camas bien acomodadas, espaciadas y protegidas, tanto de los animales, como de los rayos solares. Para ello es de vital importancia la construcción del tinglado.

- Para construir el tinglado podemos utilizar materiales propios de la zona o de la finca; palos redondos, cañas de bambú, listones, hojas de palmera, bejucos, etc. En el mejor de los casos, para el techo podemos utilizar malla Raschell al 50.0% de sombra.

- Asimismo, el vivero debe contar con instalaciones mínimas que permitan guardar adecuadamente las herramientas y los equipos, almacenar productos de control fitosanitario, realizar el tratamiento del sustrato, procesar las semillas, etc.

## **2.2.6. Labores culturales en la producción de plántones**

### **2.2.6.1. Preparación del sustrato**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- Se puede emplear directamente tierra negra suelta (capa oscura del suelo, rica en materia orgánica), una mezcla homogénea de tierra con materia orgánica y/o arena.

- Todo sustrato que se utilice debe ser desinfectado; puede aplicarse cal, ceniza u otro para eliminar y prevenir la presencia de cualquier agente patógeno.

- El sustrato debe estar limpio; libre de raíces, de palos, terrones, hojarasca, etc., que obstaculicen y dañen la buena formación y el desarrollo de las raíces de las plántulas. Por lo que se recomienda cernir la tierra "sustrato", con ayuda de una zaranda.

### **2.2.6.2. Llenado de las bolsas**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- El llenado de las bolsas siempre debe ser con ligera presión, que facilite un asentado uniforme del sustrato, sin dejar espacios de aire al interior.
- Es importante que las bolsas tengan el tamaño adecuado (7" x 11" x 2 mm), que permita una buena formación radicular y por ende, se logren óptimos resultados al injertar. Para llenar entre 320 a 350 de estas bolsas, requiere de 1 m<sup>3</sup> de sustrato "tierra negra" que equivale a 13 carretillas, aproximadamente.

### **2.2.6.3. Acomodo de bolsas**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- El acomodo de bolsas debe permitir una posición vertical uniforme, distribuidas simétricamente entre filas y columnas diferenciadas, sin espacios entre ellas. El uso de bolsas con "sentaderas" o "fuelle", facilitará un rápido y mejor acomodo.
- Las bolsas deben ser colocadas en columnas de dos a lo largo de las camas, separadas por un distanciamiento entre columnas de 40 a 50 cm. Esto facilitará el manejo del vivero, el riego, el control de malezas, insectos y enfermedades. Además, crea condiciones que facilitan un rápido y mejor engrosamiento del tallo del plantón.

#### **2.2.6.4. Adquisición de semilla**

MENDOZA (2013), menciona que es importante revisar las semillas y cerciorarse que procedan de fuentes semilleros certificadas o garantizadas; deben ser extraídas de la parte céntrica del fruto; de mazorcas grandes, maduras bien formadas, libres de plagas y enfermedades.

#### **2.2.6.5. Preparación de la semilla**

MENDOZA (2013), menciona que las semillas se preparan eliminando el mucílago que las cubre, y restregándolas o friccionándolas de preferencia con aserrín (madera blanca); también se puede utilizar ceniza, arena o cascarilla de arroz. Luego, lavarlas y orearlas bajo sombra.

#### **2.2.6.6. Siembra**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- La capacidad germinativa de las semillas se pierde rápidamente a partir del quinto día de extraído el fruto, debido al alto contenido de grasa que tiene la semilla, la cual afecta al embrión de ésta; se puede sembrar después de su “pre germinación”.

- Una vez obtenidas las semillas pre-germinadas, hacer un hoyo en el centro del sustrato embolsado; colocar las semillas con la raicilla (radícula) hacia abajo y cubrirla con tierra de forma muy leve, sin presionar

para no dañar la radícula emergente. Se recomienda eliminar las semillas con radículas muy desarrolladas, para evitar la formación de “rabo de chancho”.

- Se recomienda cercar las partes laterales del vivero con hojas de palmeras, o en el mejor de los casos con malla Raschell, para evitar los daños que puedan causar animales silvestres y/o domésticos; asimismo evitar la excesiva entrada de luz por los costados.

#### **2.2.6.7. Riego**

MENDOZA (2013), indica que el riego debe ser permanente, y en la que a diario se controle la humedad del sustrato, evitando tanto la falta como el exceso de humedad; efectuarlo con agua limpia en horas de la mañana, para así asegurar plantones queden totalmente humedecidos.

#### **2.2.6.8. Control de malezas**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- Se debe evitar la proliferación de malezas porque perjudican el normal desarrollo de plantones, que además de competir con ellas, son hospederos de plagas y enfermedades, que trae como consecuencia plantas deficientes. En caso de hacer controles manuales, efectuarlos en promedio, cada 15 días.

- Si el control manual implica un problema económico por el alto costo en mano de obra, se recomienda la aplicación previa y controlada de herbicidas pre emergentes, pudiendo ser aplicados (con

mochilas manuales), tanto a las bolsas como calles del vivero. Para ello, la siembra deberá estar programada diez días después de su aplicación.

#### **2.2.6.9. Control fitosanitario**

MENDOZA (2013), menciona que en todo momento se debe priorizar el control preventivo contra el ataque de plagas (insectos) y enfermedades. Debe realizarse el fumigado de los plantones cada ocho días, recomendándose la aplicación de los siguientes productos:

- Insecticida (Cipermetrina) a una dosis de una cucharada en 10 litros de agua.

- Fungicida (Metalaxil + Mancozeb) dosis de una cucharada en 10 L de agua.

- Ambos productos (insecticida y fungicida) pueden ser aplicados juntos en una mezcla.

- Para evitar el lavado de productos por las lluvias, se recomienda aplicar junto a un adherente (media cucharada en 10 L de agua).

#### **2.2.6.10. Fertilización**

MENDOZA (2013), hace mención las siguientes recomendaciones:

- La fertilización se debe aplicar tanto al suelo como en hojas; aplicar al sustrato 2 g de compuestos granulados de nitrógeno, fósforo y potasio.

- Se realiza cuando los plantones tienen dos meses de edad, repitiéndose cuando los plantones tengan cuatro meses, para que al momento del injerto el prendimiento sea alto. Además, se deben realizar aplicaciones foliares cada ocho días junto con el insecticida y fungicida, a dosis de una cucharada en 10 L de agua.

### **2.3. Encalado**

El encalado es la práctica más común y efectiva para corregir la acidez del suelo, al mejorar el ambiente químico en torno del sistema radicular. En primer lugar, con el aumento del pH en el suelo se reduce el exceso de aluminio, manganeso y hierro solubles al formar hidróxidos insolubles. Dos nutrientes necesarios en muchos suelos ácidos, calcio y magnesio, son añadidos si la cal es dolomítica. Asimismo, el encalado hace más disponible al fósforo en suelos ácidos, evitando que el hierro y el aluminio se combinen con el fosfato para formar compuestos insolubles. El fosfato de calcio que se forma cuando el suelo es encalado, es más soluble que los fosfatos de hierro y aluminio. La cal hace al potasio más eficiente en la nutrición de la planta. Cuando el potasio está en exceso, las plantas llegan a absorber más del necesario; la cal aumenta la disponibilidad de N al aumentar la descomposición de la materia orgánica (las bacterias del suelo son más activas a pH alto que en los fuertemente ácidos) y aumenta el molibdeno disponible (DONAHUE *et al.*, 1981). Las enmiendas son productos naturales a base de calcio y magnesio que se utilizan para corregir la acidez del suelo y neutralizar efectos tóxicos causados por altas concentraciones de aluminio, hierro y manganeso en los

suelos ácidos, y pueden aportar calcio y magnesio en suelos con deficiencias de estos elementos (CALAMBAS, 2009).

Químicamente, un miliequivalente de aluminio es neutralizado por un miliequivalente de una base; por ello, Kramprath (1970) citado por SÁNCHEZ (1981), sugirió que las recomendaciones de encalado se basen en la cantidad de aluminio intercambiable y que las dosis de cal se calculen multiplicando los miliequivalentes de aluminio por el factor 1.5 desde que existen tantas formas de aluminio en el suelo, que no son desplazadas por el KCl 1N utilizado como solución extractora. El resultado da los equivalentes de calcio que es necesario aplicar en forma de cal. Las dosis de cal calculadas por este método neutralizan del 85 al 90% del aluminio intercambiable en suelos con 2 al 7% de materia orgánica. La razón para el factor 1.5 es la necesidad de neutralizar los iones de hidrógenos liberados por la materia orgánica o los hidróxidos de hierro y aluminio conforme aumenta el pH (SÁNCHEZ, 1981). Entre más arcilla y materia orgánica haya o exista en un suelo, mayor es la necesidad de caliza para cambiar el pH, porque ambos coloides contienen grandes cantidades de iones intercambiables de hidrogeno, debido a sus altas capacidades de intercambio (DONAHUE *et al.*, 1981). El encalado es una práctica agrícola destinada a mejorar la productividad de suelos ácidos al neutralizar los cationes acidificantes por enmiendas básicas que posean Ca y/o Mg (GUERRERO, 2012).

Aluminio intercambiable es considerado como la acidez intercambiable ( $Al^{+3}H^{+}$ ), determinado a partir del pH para la estimación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en un suelo.

### **2.3.1. Materiales encalantes**

Todo material que se agrega al suelo con el propósito de neutralizar la acidez recibe el nombre de cal, y de acuerdo con esto cualquier material capaz de aceptar protones ( $H^+$ ) puede ser considerado como cal agrícola (CEPEDA, 1991). Según FASSBENDER (1987), se definen como materiales para encalado agrícola aquellas sustancias cuyos compuestos de Ca y Mg son capaces de neutralizar la acidez de los suelos. Se incluyen aquí la cal viva ( $CaO$ ), la cal hidratada ( $Ca(OH)_2$ ), las calizas molidas, las margas y los residuos industriales, como las escorias de diferentes tipos. Las calizas molidas pueden ser calificadas como cálcicas, magnesianas y dolomíticas según su contenido de Mg. La caliza cálcica es calcita casi pura o carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ). La caliza dolomítica es la piedra caliza molida rica en magnesio ( $CaMg(CO_3)_2$ ) y muchas calizas tienen mayores o menores contenidos de magnesio; cuando la presencia de este elemento se encuentra en un nivel mayor que 1.3%, se sugiere hablar de calizas dolomíticas, y cuando se encuentra más de 6.5% de Mg, se recomienda el término de dolomita calcificas (CEPEDA, 1991).

Al encalar con dolomita se ayuda a mantener el equilibrio de calcio/magnesio en el suelo. La dolomita pura contiene 21.6 de Ca y 13.1% de Mg. Aunque este material reacciona más lentamente en el suelo que el carbonato de calcio, tiene la ventaja de que suministra Mg, por el cual es un elemento que con frecuencia se presenta también deficiente en los suelos ácidos (FASSBENDER, 1987). El óxido de cal o cal viva ( $CaO$ ), se obtiene por calcinación de la piedra caliza (CEPEDA, 1991); la cal viva preparada de este

modo reacciona con mayor velocidad con el suelo, pero sin embargo, el costo del material es mayor y es más difícil de manipular. La cal viva es cáustica y puede apelmazarse durante su almacenamiento. La cal hidratada o apagada se produce al añadir agua a la cal viva, formando cal hidratada o con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (PLASTER, 2000). Es de rápida actuación y más manejable que el óxido de calcio, por ser químicamente menos activo. La roca fosfórica también ha sido utilizada en otros países como material encalante debido a sus características de neutralización de la acidez. Sin embargo, en el nuestro hasta el momento sólo ha sido utilizado como fuente fosforada para aplicación en suelos ácidos (FASSBENDER, 1987).

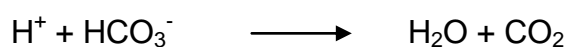
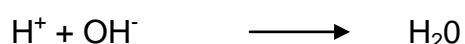
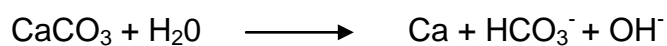
### **2.3.2. Factores que determinan las necesidades de enmiendas**

Las necesidades de cal están muy influenciadas por varios factores como: El pH del suelo: determina el grado de actividad ácida [ $\text{H}^+$ ] o alcalina [ $\text{OH}^-$ ] del suelo. Como el único parámetro, el pH no es un buen indicador de las necesidades de cal agrícola. La capacidad tampón: o capacidad a la resistencia al cambio. Es una medida de la resistencia del suelo a los cambios de pH. Indica la cantidad de cal agrícola que se requerirá para ajustar el pH a un nivel deseado y depende de la textura, CIC, materia orgánica y origen del suelo. El tipo de cultivo: determina el nivel de pH requerido. Ciertos cultivos son más tolerantes a la acidez del suelo que otros. La cantidad de aluminio: En suelos ácidos, la cantidad de aluminio (Al) se incrementa en la solución del suelo. La cantidad de cal aplicada debe ser la suficiente para disminuir la cantidad de Al soluble a niveles no tóxicos para el cultivo. El valor de neutralización es expresado como el porcentaje de CCE, tomando al  $\text{CaCO}_3$  puro como el 100%.

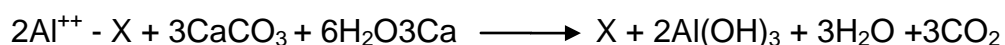
A mayor valor de CCE mayor efectividad del encalado. Algunas cales agrícolas, tales como las cales dolomíticas pueden tener valores superiores al 100% (CALAMBAS, 2009).

### 2.3.3. Neutralización de la acidez cambiante

La cal neutraliza el suelo de dos formas. Primero, el calcio reemplaza a los iones de hidrógeno y de aluminio en los sitios de intercambio por acción de masa. Al hacerlo, el encalado aumenta el porcentaje de saturación de bases. Luego, los oxidrilos convierten el hidrógeno en agua (PLASTER, 2000).



En estas reacciones se observan que los receptores de protones son el hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y el ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Los iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  producidos neutralizan la acidez y aumentan el pH. Con esto se aclara que los correctores de la acidez deben tener componentes básicos para generar iones de  $\text{OH}^-$ . La neutralización de la toxicidad de Al con la aplicación del calcáreo puede ser demostrada de la forma siguiente:



La forma  $\text{Al}(\text{OH})_3$  es insoluble en agua y de esta manera es eliminada la toxicidad de Aluminio (TISDALE y NELSON, 1977). La reacción

más simple es la de la cal hidratada. Al disolverse la cal hidratada, se desprende  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{OH}^-$ . El  $\text{Ca}^{++}$  reemplaza al  $\text{H}^+$  y al  $\text{Al}^{++}$  en los sitios de intercambio, liberando estos cationes hacia la solución del suelo sometiendo al  $\text{Al}^{+++}$  a una hidrólisis completa para formar hidróxido de aluminio insoluble, con la liberación de más iones de  $\text{H}^+$ . Los iones de hidronio ( $\text{H}^+$  reaccionan con los iones  $\text{OH}^-$  de la cal para así formar agua. La calcita y la dolomita actúan de forma similar con un par de pasos adicionales. Los iones de hidrogeno que son producidos en los otros pasos, reaccionan con el carbonato para formar ácido carbónico, que rápidamente se descompone en dióxido de carbono y agua. La velocidad de todo el proceso varía de acuerdo al tipo de material. La cal hidratada se disuelve rápidamente en el suelo y reacciona rápidamente. La caliza molida se disuelve más lentamente y requiere más pasos para neutralizar el ácido (PLASTER, 2000).

#### **2.4. Respuesta del cacao a la toxicidad por el aluminio**

GARCÍA (1977), llegó a evaluar el comportamiento de cinco híbridos de cacao respecto a la acidez por Al en soluciones nutritivas, la influencia de diferentes dosis de cal sobre Al intercambiable y la de éste sobre la absorción de nutrimentos. En el primer ensayo se hicieron crecer plántulas en una solución nutritiva de Hoagland con 0 y 48 ppm de Al, durante 40 días. Se constató la reducción en el desarrollo de plantas causadas por efecto del Al. En presencia de cantidades elevadas de Al la concentración de P en las raíces se elevó considerablemente, y la de P y Ca en los tejidos de la parte aérea disminuyó, concluyéndose en que la presencia de Al ocasiona disminución de

la cantidad de Ca absorbida. En el segundo ensayo se utilizó un suelo de Carimagua (oxisol) con bajo contenido de P, Ca, Mg y K, bajo el porcentaje de saturación de las bases, pH de 4.3 y con 2.8 meq. de Al/100 g de suelo. La cal necesaria para neutralizar el Al intercambiable se determinó mediante el método de incubación. Los resultados obtenidos permiten indicar que la tolerancia a la acidez del suelo posiblemente está relacionada con la habilidad para extraer P en presencia de altos contenidos de Al. La práctica de encalamiento se mostró eficiente en la neutralización del Al intercambiable y en elevar los contenidos de Ca y Mg intercambiables del suelo.

## **2.5. Experiencias de encalado en cacao**

RUIZ (2011), ejecutó una investigación denominada “Efecto de la Dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo las condiciones de acidez, en Ricardo Palma - Naranjillo”. En este trabajo, el efecto de la dolomita en las propiedades físicas, tuvo significación estadística entre tratamientos en densidad aparente, porcentaje de porosidad y análisis de agregados; los resultados que fueron obtenidos en los análisis químicos muestran valores de pH con un nivel extremadamente ácido a fuertemente ácido; en materia orgánica de un nivel bajo a alto; en fósforo de un nivel bajo a normal y potasio se mantuvo en un nivel bajo. El tratamiento con 1.545 t ha<sup>-1</sup>, tuvo su mayor efecto en la disminución de aluminio e hidrógeno y por consiguiente un menor porcentaje de saturación de acidez cambiante. NAZAR (2010), realizó una investigación “Efecto de la dolomita en el crecimiento del *Theobroma cacao* L. (Clon CCN-

51) en un suelo ácido bajo las condiciones de vivero, en Tingo María”; los resultados a los tres meses de evaluación demostraron que el tratamiento con 0.116 g de dolomita/planta obtuvo un efecto estadísticamente superior sobre el promedio de altura de planta, longitud de raíz y peso seco del tallo; el pH de extremadamente ácido pasó a fuertemente ácido y la acidez cambiante del suelo disminuyó de 60.0 a 23.75% en el tratamiento con 2.33 g de dolomita/planta.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en los ambientes del Vivero de la Facultad de Agronomía - UNAS, ubicada en la Av. Universitaria en el 1.5 Km de la ciudad de Tingo María, carretera a Huánuco, distrito de Rupa-Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento de Huánuco; cuyas coordenadas UTM son:

Norte : 18 L 0390543

Este : UTM 8970026

Altitud : 668 msnm.

Imagen del mapa de ubicación geográfica del lugar de ejecución del experimento se encuentra en el anexo.

#### 3.2. Materiales

- Suelo ácido degradado en proceso de recuperación a dos profundidades de 0 – 20 y 20 – 40 cm.
- Materiales encalantes: Dolomita y cal hidratada o apagada.
- Roca fosfórica (30 %  $P_2O_5$ ).
- Bolsas de polietileno de 6" x 10" x 2 mm.

- Semillas de cacao del clon CCN 51 de libre polinización; en prevención a la variabilidad, se uniformizaron las semillas por tamaño y las unidades dentro de las repeticiones o bloques a nivel de plantones.

- Tinglado.

### **3.3. Factores en estudio**

#### **3.3.1. Sustrato de dos profundidades del suelo (A)**

$a_1$  = Suelo (0 – 20 cm).

$a_2$  = Suelo (20 – 40 cm).

#### **3.3.2. Fuentes de encalado (B)**

$b_1$  = Cal hidratada  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$

$b_2$  = Roca fosfórica  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2]$

$b_3$  = Dolomita  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$

#### **3.3.3. Niveles de encalado (C)**

$c_1$  = 0.5 X<sup>(\*)</sup>

$c_2$  = 1.0 X

$c_3$  = 2.0 X

$c_4$  = 4.0 X

<sup>(\*)</sup> X = Aluminio o acidez intercambiable

### 3.4. Tratamientos en estudio

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos en estudio.

| Tratamientos                                 |                 | Nombre de los tratamientos                |
|--|-----------------|---|
| Interacción                                  | Clave           |   |
| a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>1</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Cal hidratada + 0.5 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>2</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Cal hidratada + 1.0 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>3</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Cal hidratada + 2.0 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>4</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Cal hidratada + 4.0 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>5</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Roca fosfórica + 0.5 X  |
| a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>6</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Roca fosfórica + 1.0 X  |
| a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>7</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Roca fosfórica+ 2.0 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>8</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Roca fosfórica+ 4.0 X   |
| a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>9</sub>  | Suelo 0 – 20 cm + Dolomita + 0.5 X        |
| a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>10</sub> | Suelo 0 – 20 cm + Dolomita + 1.0 X        |
| a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>11</sub> | Suelo 0 – 20 cm + Dolomita + 2.0 X        |
| a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>12</sub> | Suelo 0 – 20 cm + Dolomita + 4.0 X        |
| a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>13</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Cal hidratada + 0.5 X  |
| a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>14</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Cal hidratada + 1.0 X  |
| a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>15</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Cal hidratada + 2.0 X  |
| a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>16</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Cal hidratada + 4.0 X  |
| a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>17</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Roca fosfórica + 0.5 X |
| a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>18</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Roca fosfórica + 1.0 X |
| a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>19</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Roca fosfórica + 2.0 X |
| a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>20</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Roca fosfórica + 4.0 X |
| a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>1</sub> | T <sub>21</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Dolomita + 0.5 X       |
| a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>2</sub> | T <sub>22</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Dolomita + 1.0 X       |
| a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>3</sub> | T <sub>23</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Dolomita + 2.0 X       |
| a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>4</sub> | T <sub>24</sub> | Suelo 20 – 40 cm + Dolomita + 4.0 X       |
| Testigo 0 – 20 cm                            |                 | Suelo 0 – 20 cm                           |
| Testigo 20 – 40 cm                           |                 | Suelo 20 – 40 cm                          |

X = Aluminio intercambiable: Previamente debe hacerse la determinación de la CIC efectiva y la acidez intercambiable de los sustratos, así como el análisis de los materiales enclantes. Los niveles se estabilizaron en ppm luego de determinar el Al intercambiable.

La Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (CICE) representa la sumatoria de Ca + Mg + K + Al + H<sub>3</sub>O (Hidronio). Los dos últimos elementos se consideran como la Acidez Intercambiable (Ac. Int.).

**Cuadro 2.** Peso de enmiendas encalantes utilizados por bolsa de 1.5 kg de suelo seco en el experimento.

| Sustratos                               | Enmiendas         | Niveles | g/kg  | g/Bolsa | kg/Ha  |
|---|-------------------|---------|-------|---------|--------|
| Suelo<br>(0-20 cm de profundidad)       | Cal hidratada     | 0.5 X   | 0.49  | 0.74    | 987    |
|   |                   | 1.0 X   | 0.98  | 1.47    | 1,960  |
|   |                   | 2.0 X   | 1.47  | 2.21    | 2,947  |
|   |                   | 4.0 X   | 1.96  | 2.94    | 3,920  |
|   | Roca<br>fosfórica | 0.5 X   | 2.35  | 3.53    | 4,707  |
|   |                   | 1.0 X   | 4.69  | 7.04    | 9,387  |
|   |                   | 2.0 X   | 7.04  | 10.56   | 14,080 |
|   |                   | 4.0 X   | 9.39  | 14.09   | 18,787 |
|   | Dolomita          | 0.5 X   | 0.98  | 1.47    | 1,960  |
|   |                   | 1.0 X   | 1.97  | 2.96    | 3,947  |
|   |                   | 2.0 X   | 2.95  | 4.43    | 5,907  |
|   |                   | 4.0 X   | 3.93  | 5.90    | 7,867  |
| Suelo<br>(20 – 40 cm de<br>profundidad) | Cal hidratada     | 0.5 X   | 0.54  | 0.81    | 1,080  |
|   |                   | 1.0 X   | 1.09  | 1.64    | 2,187  |
|   |                   | 2.0 X   | 1.63  | 2.45    | 3,267  |
|   |                   | 4.0 X   | 2.18  | 3.27    | 4,360  |
|   | Roca<br>fosfórica | 0.5 X   | 2.61  | 3.92    | 5,227  |
|   |                   | 1.0 X   | 5.22  | 8.22    | 10,960 |
|   |                   | 2.0 X   | 7.84  | 11.76   | 15,680 |
|   |                   | 4.0 X   | 10.45 | 15.68   | 20,907 |
|   | Dolomita          | 0.5 X   | 1.09  | 1.64    | 2,187  |
|   |                   | 1.0 X   | 2.19  | 3.29    | 4,387  |
|   |                   | 2.0 X   | 3.28  | 4.92    | 6,560  |
|   |                   | 4.0 X   | 4.38  | 6.57    | 8,760  |

### 3.5. Diseño experimental

Para el presente trabajo se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 2A x 3B x 4C, consistentes en dos sustratos, tres fuentes de encalado con cuatro niveles, más dos tratamientos adicionales (testigos), con cuatro repeticiones cada uno haciendo un total de 260 unidades experimentales, cada repetición constituido por cuatro unidades experimentales. Las características que se evaluaron se sometieron al análisis de variancia y significación estadística por la prueba de comparación de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{jk} + (\alpha\beta\lambda)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Respuesta obtenida en la unidad experimental, repetición en la cual se usó la i-ésimo sustrato con el j-ésimo fuente de encalado, y del k-ésimo dosis de encalado.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo sustrato.

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo fuente de encalado.

$\lambda_k$  = Efecto de k-ésimo dosis de encalado.

$(\alpha\beta\lambda)_{jik}$  = Efecto de la interacción entre la i-ésimo sustrato con el j-ésimo fuente de encalado a la cual se aplicó el k-ésimo dosis de encalado.

$\epsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio del error experimental asociado a dicha observación  $Y_{ijk}$ .

**Cuadro 3.** Esquema del análisis de variancia.

| Fuente de variación         | GL  |
|-----------------------------|-----|
| Tratamiento                 | 25  |
| Factorial                   | 23  |
| A (Profundidades del suelo) | 1   |
| B (Material encalante)      | 2   |
| C (Niveles de cal)          | 3   |
| A x B                       | 2   |
| A x C                       | 3   |
| B x C                       | 6   |
| A x B x C                   | 6   |
| Testigos                    | 1   |
| Factorial vs. Testigos      | 1   |
| Error experimental          | 78  |
| Total                       | 103 |

### 3.6. Metodología

#### 3.6.1. Muestreo de suelos y preparación del sustrato

Se extrajo suelo de dos profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm, en proceso de recuperación. Luego se secó, molió y tamizó con malla de 4 mm para luego tomar una muestra de 1 kg de cada uno para su análisis correspondiente en el Laboratorio de Suelos, UNAS.

### **3.6.2. Análisis de suelos**

Se efectuó el análisis de caracterización de los suelos para así determinar el porcentaje de saturación de acidez cambiante y fósforo disponible de este modo poder establecer los niveles de encalado.

### **3.6.3. Análisis de materiales encalantes**

Al inicio del experimento, se realizó el análisis de los materiales encalantes, incluida la roca fosfórica y se evaluó el porcentaje de carbonato de calcio equivalente de cada enmienda.

### **3.6.4. Aplicación de tratamientos, llenado y distribución de bolsas**

- Una vez calculada y pesada las cantidades de las enmiendas encalantes y el suelo, se mezcló en su totalidad por cada tratamiento en estudio.
- Las bolsas utilizadas fueron de polietileno de 6" x 10" x 2 mm y se llenaron con 1500.74 – 1515.68 g de sustrato mezclado con las enmiendas a diferentes niveles, aproximadamente.
- Se regaron hasta aproximadamente el 80% de su capacidad de campo y se sometió a incubación durante 25 días; luego se procedió al repique de las semillas pre germinadas.

### **3.6.5. Pre germinado y trasplante**

- Luego de extraer las semillas de cacao (Clon CCN 51), se quitó el mucílago con aserrín seco para su posterior desinfección utilizando el

fungicida Tiofanate Metil + Metil (Homai WP). Luego se oreó las semillas y fueron seleccionados por tamaños y sembradas en aserrín con 30% de humedad.

- Al cabo de los tres a cuatro días se observó la radícula de las semillas y se procedió a sembrarlas en las bolsas con el sustrato incubado (una semilla por bolsa) a una profundidad aproximada del doble del diámetro de las semillas.

### **3.6.6. Control de malezas**

Se realizaron controles manuales cada 15 días, tanto en las bolsas como calles del vivero, con la finalidad de que estén libres de malezas, evitando la competencia por luz, espacio y nutrientes.

### **3.7. Evaluaciones**

Las evaluaciones se realizaron cada 15 días, durante cinco meses, se realizó la medición de la altura y diámetro de tallo. Asimismo, a los 150 días del experimento se realizaron otras mediciones adicionales para hallar el área foliar, volumen radicular y materia seca.

- **Altura de planta (cm):** Se midió con una regla de 30 cm, evaluando cuatro plantas por repetición y por tratamiento.

- **Diámetro de tallo (mm):** Se evaluó con un vernier digital, midiendo cuatro plantas por repetición y por tratamiento. La medida se realizó por encima del nudo cotiledonal.

- **Área foliar (cm<sup>2</sup>):** Se realizó a través del método de la silueta de la hoja con el siguiente procedimiento. Se tomó todas las hojas de los plantones y se extrajo el mayor número de réplicas posibles del área foliar en hojas de papel boom de 75 g. Se pesó el área de 400 cm<sup>2</sup> y luego se determinó el área foliar con una regla de tres simple. Esta característica se evaluó a los 150 días después de la siembra.

- **Volumen radicular (mm<sup>3</sup>):** Se realizó a través del método de la probeta con el siguiente proceso. Se tomó las raíces de los plantones, desmoronando la tierra del embolsado con sumo cuidado en un recipiente. Se lavó la raíz extrayendo la tierra por completo y colocando sobre el papel de periódico para retirar el agua de la raíz, se sumergió dentro de la probeta con agua a un volumen conocido y luego se determinó el volumen por diferencia de volúmenes. Esta característica se evaluó a los 150 días después de la siembra.

- **Materia seca (g):** Se evaluó al final del experimento en cuatro plantones de cada tratamiento. 1) Se tomó las muestras frescas de la parte foliar y tallo, las cuales fueron pesadas y puestas en bolsas de papel periódico, para así obtener el peso fresco de las muestras. 2) Para obtener el peso seco, se llevó las muestras a la estufa a 70°C durante 48 horas, hasta que adquirieron peso constante. Las muestras secas fueron pesadas y por diferencia se calculó el porcentaje de humedad y materia seca.

- **Características químicas del suelo por cada tratamiento:** El pH, CIC, CICE, Ca, Mg, K, Na, Al y H<sub>3</sub>O (Hidronio), porcentaje de saturación de acidez y base cambiante, fósforo disponible y porcentaje de saturación de aluminio fueron determinados en el laboratorio de suelos de la UNAS por los métodos establecidos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características químicas de los sustratos en estudio

En los Cuadros 4 y 5, se muestran los análisis químicos del suelo final de “0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad”, usados como sustratos para los plantones de cacao. Los análisis químicos consistieron en la determinación del pH, fósforo disponible, Ca, Mg, K, Na, Al, H<sub>3</sub>O, CIC (determinada con acetato de amonio), CICE (determinada con KCl 1 N) porcentaje de acidez y bases cambiables y porcentaje de saturación de aluminio.

#### pH (Reacción del suelo)

En relación al pH, se observa en las Figuras 1 y 2, que los tres materiales encalantes aplicados produjeron elevación del pH en comparación con el tratamiento testigo (pH 4.33 y 4.09) en ambas profundidades; de los tres materiales utilizados, cal hidratada, roca fosfórica y dolomita, fue la cal la que en general produjo los mayores incrementos de pH, seguida por la dolomita y luego la roca fosfórica. Este efecto es justificado, si se considera que la cal hidratada, por tratarse de una base compuesta por Ca(OH)<sub>2</sub>, es muy reactiva aunque de menor efecto residual; la dolomita, por su parte, es una sal doble constituida por CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> de menor solubilidad y menos reactiva pero de mayor efecto residual, como lo sostiene ALCARDE (1992), mientras que la roca fosfórica, aun cuando tiene un alto contenido de Ca no es considerada como un correctivo debido a su baja producción de iones OH<sup>-</sup>, según CAMPILLO y SADZAWKA (1993), por lo que su efecto sobre el pH no es tan notorio.

**Cuadro 4.** Análisis químico del suelo de 0 a 20 cm de profundidad al final del experimento.

| Clave         | pH   | P     | CIC  | Cambiables Cmol (+)/kg |      |      |      |      |      | CICe | Porcentaje (%) |               |             |
|---------------|------|-------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|----------------|---------------|-------------|
|               | 1:1  | ppm   |      | Ca                     | Mg   | K    | Na   | Al   | H    |      | Bas. Camb (%)  | Ac. Camb. (%) | Sat. Al (%) |
| Calh (0.5 X)  | 5.72 | 1.50  | 7.35 | 5.49                   | 1.25 | 0.49 | 0.12 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| Calh (1.0 X)  | 5.93 | 1.22  | 7.51 | 5.57                   | 1.32 | 0.50 | 0.12 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| Calh (2.0 X)  | 6.17 | 1.50  | 7.66 | 5.68                   | 1.35 | 0.50 | 0.13 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| Calh (4.0 X)  | 6.27 | 1.50  | 8.42 | 6.28                   | 1.50 | 0.51 | 0.13 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| RF (0.5 X)    | 5.31 | 5.76  | -    | 2.42                   | 0.95 | -    | -    | 1.03 | 0.35 | 4.74 | 71.11          | 28.96         | 21.66       |
| RF (1.0 X)    | 5.32 | 9.14  | -    | 0.84                   | 0.28 | -    | -    | 0.84 | 0.28 | 4.98 | 77.34          | 22.66         | 17.11       |
| RF (2.0 X)    | 5.33 | 12.22 | -    | 2.88                   | 0.82 | -    | -    | 0.65 | 0.24 | 4.58 | 80.65          | 19.42         | 14.11       |
| RF (4.0 X)    | 5.39 | 16.33 | -    | 3.26                   | 0.87 | -    | -    | 0.53 | 0.23 | 4.88 | 84.66          | 15.47         | 10.83       |
| Dol (0.5 X)   | 5.16 | 1.26  | -    | 2.21                   | 1.44 | -    | -    | 0.98 | 0.43 | 5.06 | 72.05          | 27.95         | 19.22       |
| Dol (1.0 X)   | 5.40 | 1.43  | -    | 2.69                   | 2.18 | -    | -    | 0.47 | 0.22 | 5.55 | 87.63          | 12.55         | 8.62        |
| Dol (2.0 X)   | 5.75 | 1.40  | 7.32 | 3.68                   | 2.65 | 0.71 | 0.30 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| Dol (4.0 X)   | 5.94 | 1.44  | 8.68 | 4.23                   | 3.40 | 0.71 | 0.33 | -    | -    | -    | 100.00         | -             | -           |
| Test. 0-20 cm | 4.33 | 0.68  | -    | 1.70                   | 0.79 | -    | -    | 2.43 | 0.63 | 5.54 | 44.95          | 55.23         | 43.86       |

**Fuente:** Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

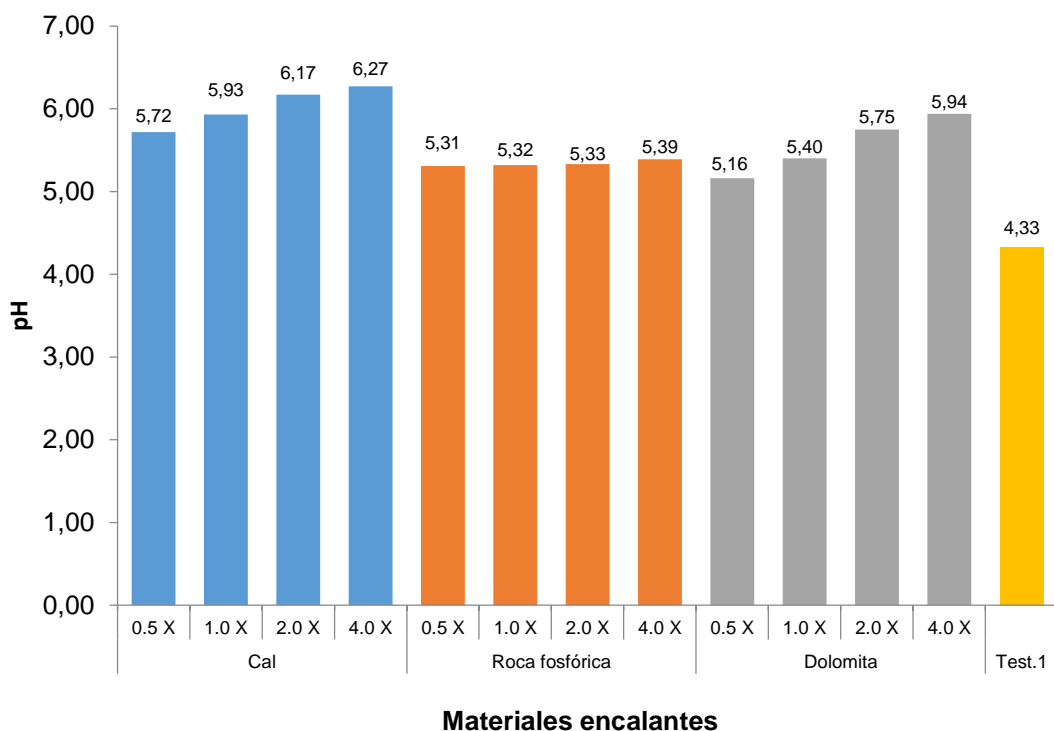
(\*) X = Aluminio o acidez intercambiable. (Calh = Cal hidratada. RF = Roca fosfórica. Dol = Dolomita).

**Cuadro 5.** Análisis químico del suelo de 20 a 40 cm de profundidad al final del experimento.

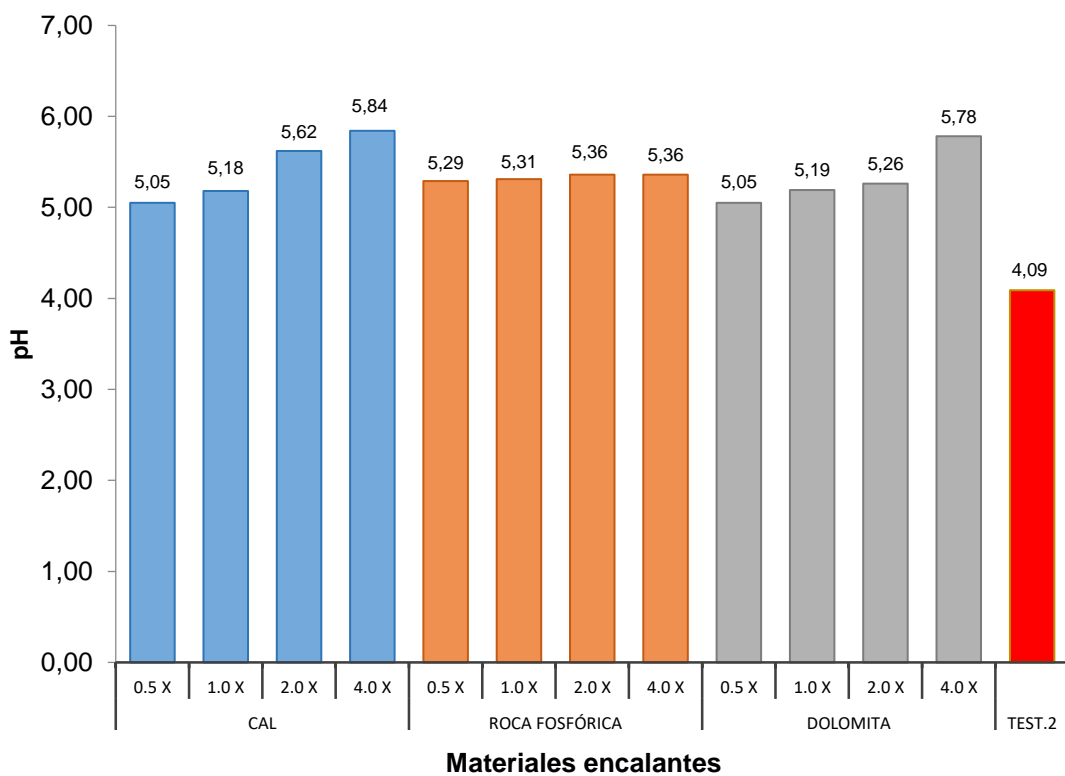
| Clave        | pH   | P     | CIC  | Cambiables Cmol (+)/kg |      |      |      |      |      | CICe | Porcentaje (%) |            |             |
|--------------|------|-------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|----------------|------------|-------------|
|              | 1:1  | ppm   |      | Ca                     | Mg   | K    | Na   | Al   | H    |      | Bas. Camb. (%) | Ac. C. (%) | Sat. Al (%) |
| Calh (0.5 X) | 5.05 | 1.14  | -    | 2.31                   | 0.81 | -    | -    | 1.14 | 0.30 | 4.57 | 68.32          | 31.68      | 25.04       |
| Calh (1.0 X) | 5.18 | 1.33  | -    | 2.61                   | 0.92 | -    | -    | 0.56 | 0.23 | 4.32 | 81.91          | 18.24      | 12.85       |
| Calh (2.0 X) | 5.62 | 1.03  | 4.41 | 3.09                   | 0.98 | 0.17 | 0.08 | -    | -    | -    | 100.00         | -          | -           |
| Cahl (4.0 X) | 5.84 | 1.34  | 4.76 | 3.45                   | 1.03 | 0.19 | 0.09 | -    | -    | -    | 100.00         | -          | -           |
| RF (0.5 X)   | 5.29 | 5.30  | -    | 2.33                   | 0.68 | -    | -    | 0.73 | 0.23 | 3.95 | 75.81          | 24.28      | 18.49       |
| RF (1.0 X)   | 5.31 | 8.53  | -    | 2.10                   | 0.62 | -    | -    | 0.43 | 0.16 | 3.31 | 81.33          | 18.89      | 13.82       |
| RF (2.0 X)   | 5.36 | 11.59 | -    | 1.94                   | 0.43 | -    | -    | 0.54 | 0.17 | 3.09 | 76.42          | 23.58      | 17.87       |
| RF (4.0 X)   | 5.36 | 15.69 | -    | 1.67                   | 0.73 | -    | -    | 0.37 | 0.11 | 2.89 | 84.85          | 15.15      | 11.50       |
| Dol (0.5 X)  | 5.05 | 1.10  | -    | 1.73                   | 1.14 | -    | -    | 0.47 | 0.12 | 3.47 | 82.93          | 17.07      | 13.51       |
| Dol (1.0 X)  | 5.19 | 1.18  | -    | 1.79                   | 1.24 | -    | -    | 0.71 | 0.24 | 3.97 | 76.25          | 23.84      | 17.78       |
| Dol (2.0 X)  | 5.26 | 1.20  | -    | 2.05                   | 1.47 | -    | -    | 0.55 | 0.19 | 4.26 | 82.63          | 17.37      | 12.83       |
| Dol (4.0 X)  | 5.78 | 1.31  | 5.47 | 3.43                   | 1.66 | 0.06 | 0.31 | -    | -    | -    | 100.00         | -          | -           |
| Test.20-40cm | 4.09 | 0.62  | -    | 1.35                   | 0.43 | -    | -    | 1.26 | 0.32 | 3.36 | 52.98          | 47.02      | 37.50       |

**Fuente:** Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

(\*) X = Aluminio o acidez intercambiable. (Calh = Cal hidratada; RF = Roca fosfórica; Dol = Dolomita).



**Figura 1.** Variación del pH de los sustratos provenientes de suelo 0 a 20 cm por efecto de la aplicación de los materiales encalantes.



**Figura 2.** Variación del pH de los sustratos provenientes de suelo 20 a 40 cm por efecto de la aplicación de los materiales encalantes.

Asimismo, en el caso de la cal hidratada y la dolomita, los incrementos en el pH fueron proporcionales a los niveles de aplicación, mientras que en el caso de la roca fosfórica ello no fue tan evidente.

El pH del suelo 0 a 20 cm de profundidad (Cuadro 4), que inicialmente fue de 4.33, en los tratamientos con cal hidratada se elevó hasta valores de 5.72 a 6.27, es decir, 1.39 a 1.94 unidades más, con el nivel más bajo (0.5X) y más alto (4.0X) de encalado respectivamente, equivalentes a la aplicación de 1 y 4 t cal h/ha. Ello significa que aplicando el encalante como para neutralizar la mitad de la acidez cambiante (3.06 me/100 g) se lograría incrementar el pH en 1.39 unidades. En el suelo de 20 a 40 cm de profundidad (Cuadro 5), dichos cambios fueron de 4.09 en el tratamiento Testigo hasta valores de 5.05 a 5.84 en los mismos tratamientos, es decir, de 0.96 a 1.75 unidades, con el nivel más bajo y más alto de encalado, respectivamente.

En los tratamientos que llevaron dolomita, los incrementos en el pH fueron menores, debido a que como se manifestó anteriormente, presenta menor solubilidad que la cal hidratada; en este caso el pH se elevó de 4.33 hasta valores de 5.16 a 5.94, es decir, de 0.83 a 1.61 unidades más con el nivel más bajo (0.5X) y más alto (4.0X) de aplicación respectivamente, equivalentes a la aplicación de 2 y 8 t dolomita/ha. Cuando se aplicó roca fosfórica, las diferencias entre niveles no fueron muy notorias y la elevación del pH fue del orden de 0.98 a 1.06 unidades; en este caso no sería recomendable utilizar la roca fosfórica como material encalante dado los grandes volúmenes de aplicación requeridos por su bajo nivel de equivalente en carbonato de calcio

que es de 37.71% (Cuadro 6), por lo que para lograr incrementar el pH del suelo de 20 a 40 cm de profundidad se requerirían aplicaciones de 5 a 20 t de roca fosfórica/ha.

**Cuadro 6.** Resultados del análisis de la roca fosfórica.

| Datos de la muestra |                | Humedad (%) | Base seca (%) |                               |                   |
|---------------------|----------------|-------------|---------------|-------------------------------|-------------------|
| Código Lab.         | Tipo           |             | P             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CaCO <sub>3</sub> |
| M566B               | Roca fosfórica | 13.24       | 14.34         | 32.84                         | 37.71             |

**Fuente:** Laboratorio de Suelos, UNAS.

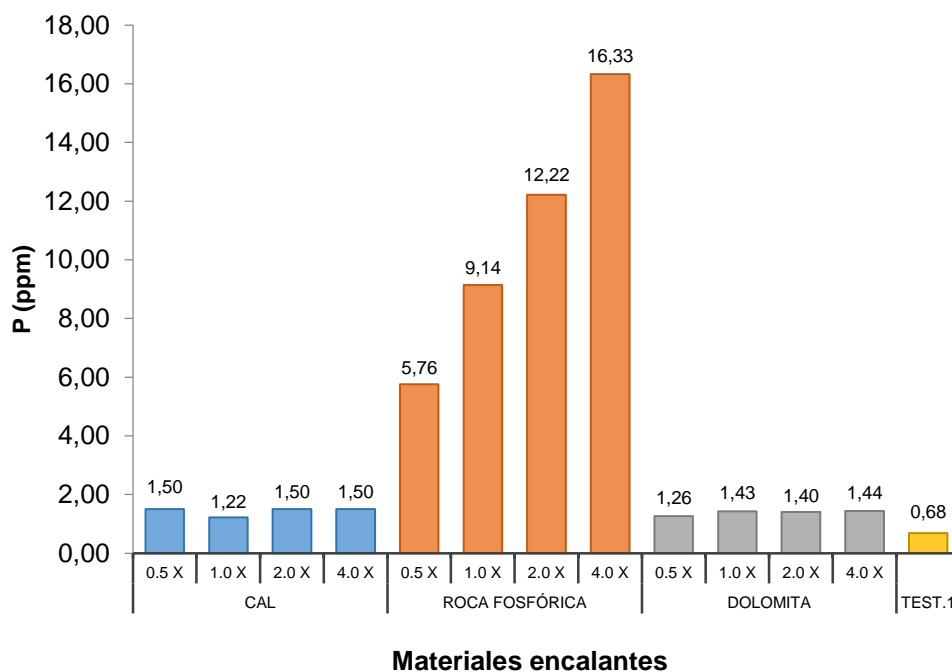
En el suelo de 20 a 40 cm de profundidad, se mantuvo la misma tendencia y dichos cambios, que fueron de 4.09 en el tratamiento Testigo, hasta valores de 5.05 a 5.84 en los tratamientos con cal hidratada, es decir, de 0.96 a 1.75 unidades, con el nivel más bajo y más alto de encalado, respectivamente. Con la dolomita los cambios fueron de 0.96 a 1.69, mientras que con la roca fosfórica lo fueron de 1.20 a 1.27. Es necesario notar que con excepción del último nivel de dolomita, los incrementos obtenidos con la roca fosfórica fueron mayores, lo que indicaría que este material tendría similares características neutralizantes.

### **Fósforo disponible (P)**

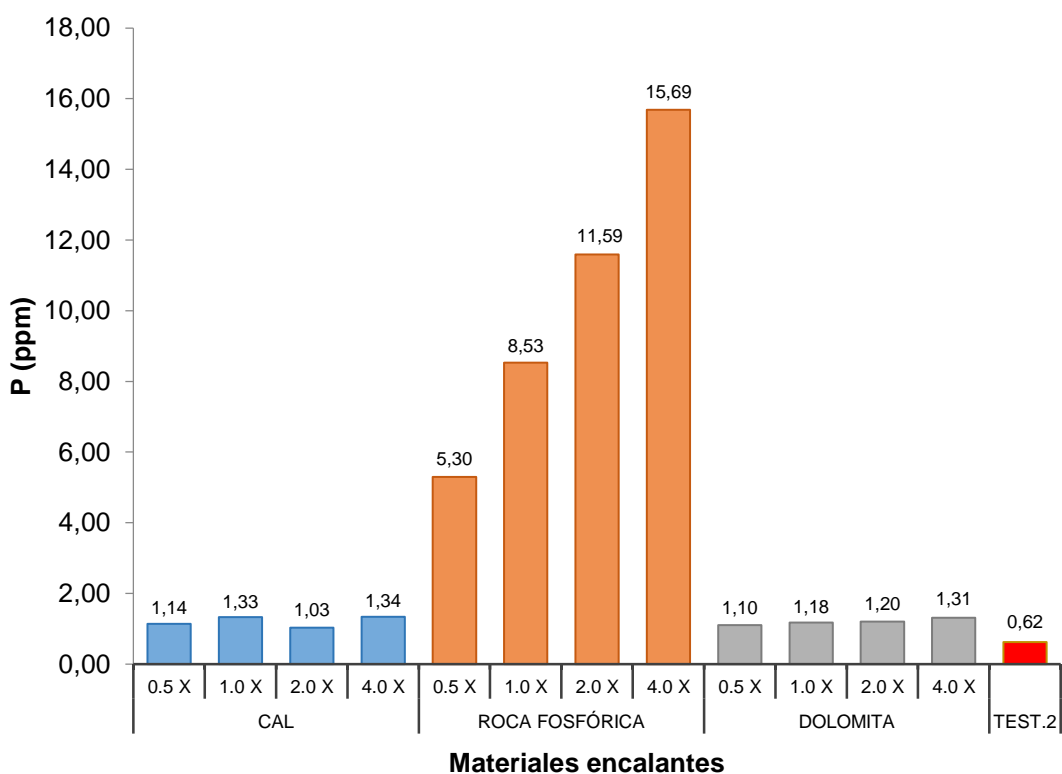
Con relación al P disponible, las Figuras 3 y 4 muestran que en ambos sustratos, la cal hidratada y la dolomita produjeron incrementos en la disponibilidad del P de aproximadamente 100%, debido a que la elevación del pH hasta valores mayores a 5.5, habría producido la precipitación del Aluminio

(Al) y consecuentemente la liberación del fósforo (P) retenido (COLEMAN y THOMAS, 1967). En el caso de la roca fosfórica, es bastante notoria la elevación del P disponible que fue del orden de 929 a 2634% en el suelo de 0 a 20 cm de profundidad y de 850 a 2516% en el suelo de 20 a 40 cm de profundidad; indudablemente, aparte de la liberación del P retenido por los coloides, este gran incremento se debería al P aportado por el fertilizante, que tiene 32.84% de  $P_2O_5$  (14.34% P).

Es necesario puntualizar que, si bien la aplicación de cal hidratada y dolomita produjeron en términos porcentuales elevación del P disponible hasta de 100%, sin embargo, en términos de partes por millón, ello no resultó significativo, pues, en el caso del suelo de 0 a 20 cm de profundidad el máximo incremento alcanzado fue de 1.5 ppm y en el caso del suelo de 20 – 40 cm de profundidad fue de 1.34, ambos con la aplicación de cal hidratada.



**Figura 3.** Variaciones del P disponible por efecto del encalado del suelo 0 a 20 cm de profundidad.



**Figura 4.** Variaciones del P disponible por efecto del encalado del suelo a 20 a 40 cm de profundidad.

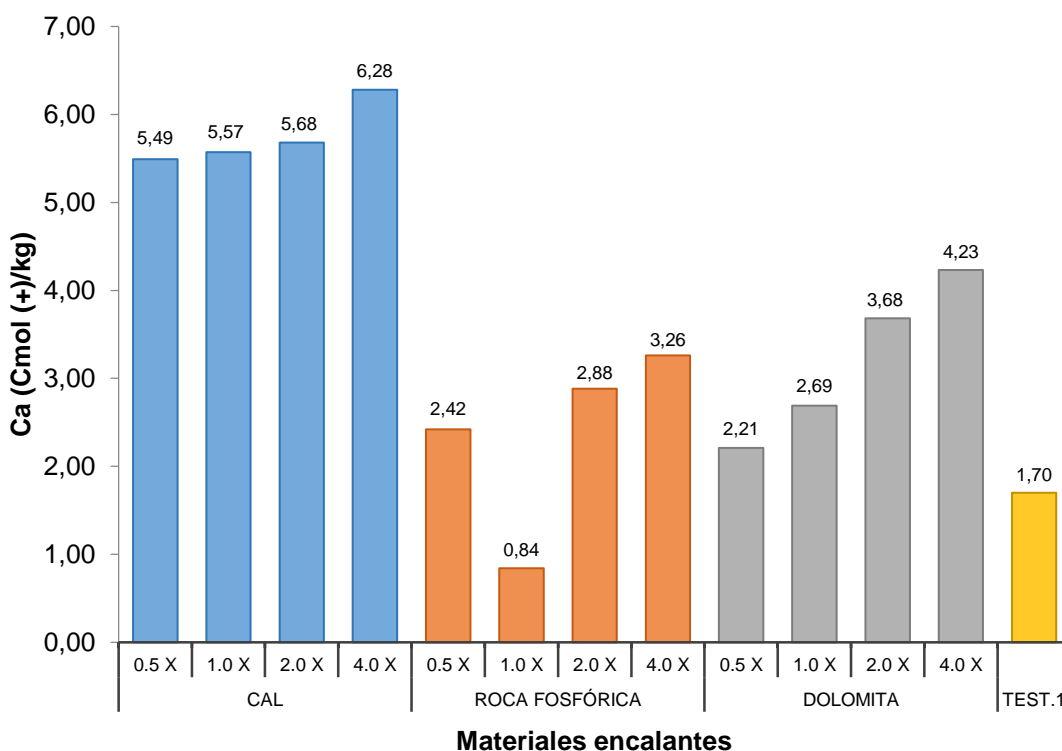
### Calcio cambiante (Ca)

Las Figuras 5 y 6 muestran los incrementos obtenidos en el contenido de Ca cambiante por efecto de la aplicación de los 4 niveles de los materiales encalantes. Se observa que con la aplicación de cal hidratada en cualquiera de los cuatro niveles, hubo mayor incremento de los niveles de Ca cambiante del suelo de 0 a 20 cm de profundidad y suelo de 20 a 40 cm de profundidad, en comparación con los otros materiales encalantes, siendo más evidente en el caso del suelo de 0 a 20 cm de profundidad. Esta mayor eficiencia se debe a su mayor contenido de Ca, solubilidad y por lo tanto mayor reactividad de dicho material (ALCARDE, 1992).

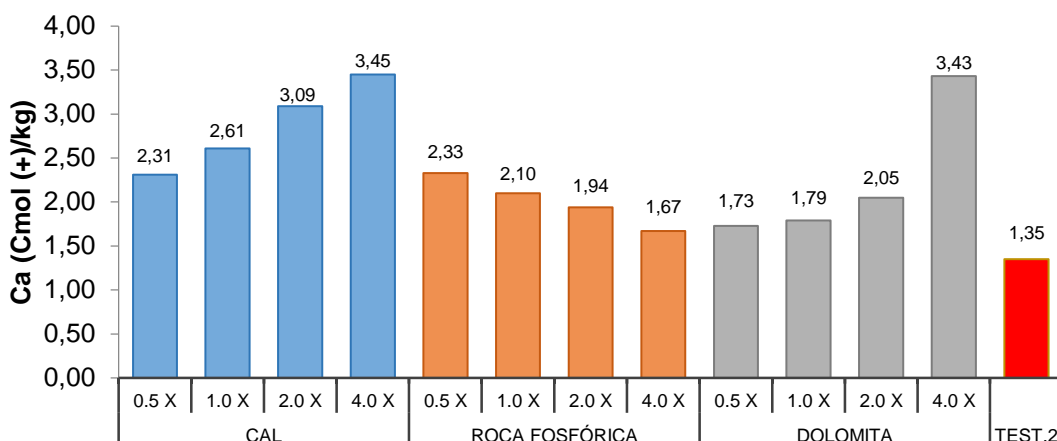
En los tratamientos con roca fosfórica los resultados fueron un tanto erráticos, no observándose la proporcionalidad en los incrementos en el

contenido de Ca cambiante al incrementarse los niveles de aplicación como se observa en el caso de la cal hidratada y dolomita. Incluso se observa una disminución con la aplicación del segundo nivel al suelo de 0 a 20 cm de profundidad, lo que podría atribuirse quizás a un error analítico, mientras que en el suelo de 20 a 40 cm de profundidad hay un efecto descendente.

En el suelo, los incrementos fueron mayores cuando se aplicó cal hidratada, seguido de los tratamientos que recibieron dolomita y luego roca fosfórica, resultados que se consideran lógicos si se tiene en cuenta la solubilidad y contenido de calcio de cada una de las fuentes. Con la cal hidratada los incrementos fueron del orden de 322 al 369%, mientras que con la dolomita fueron de 130 al 248% y con la roca fosfórica de 142 a 191%, sin considerar el tratamiento cuyo nivel de calcio fue menor que el Testigo.



**Figura 5.** Variaciones del calcio cambiante por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



### Materiales encalantes

**Figura 6.** Variaciones del calcio cambiante por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 20 a 40 cm de profundidad.

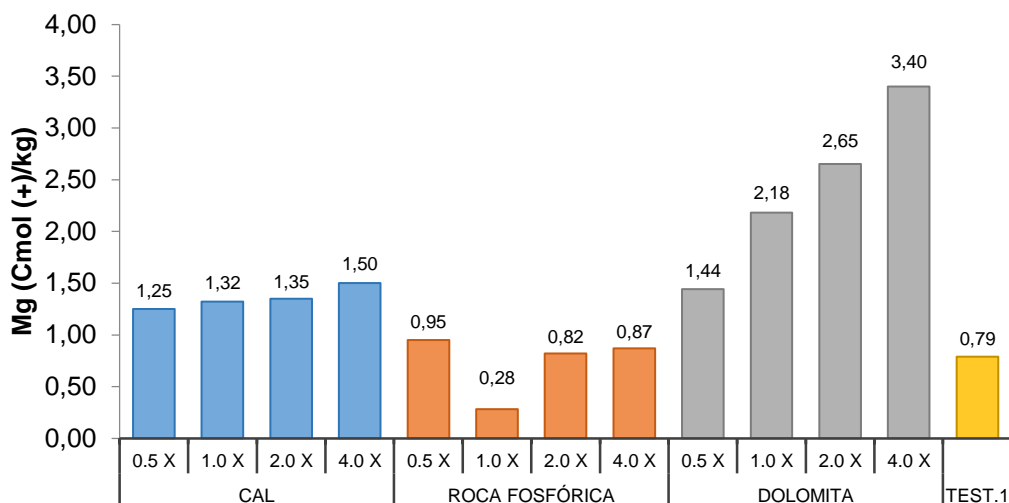
### Magnesio cambiante (Mg)

En las Figuras 7 y 8 se presentan las variaciones en el contenido de magnesio cambiante por efecto del encalado. En el caso del efecto de los niveles de cal hidratada se observan incrementos moderados del Mg cambiante al elevarse los niveles de encalado, que fueron del orden de 58 a 89% en el suelo de 0 a 20 cm y de 88 a 139% en el suelo de 20 a 40 cm de profundidad.

En la roca fosfórica se observan variaciones poco lógicas en cada nivel de aplicación, mientras que con la dolomita, tanto en el suelo 0 a 20 cm como en el suelo de 20 a 40 cm de profundidad, los incrementos fueron proporcionales a las cantidades aplicadas y mucho mayores que en caso de los otros materiales encalantes.

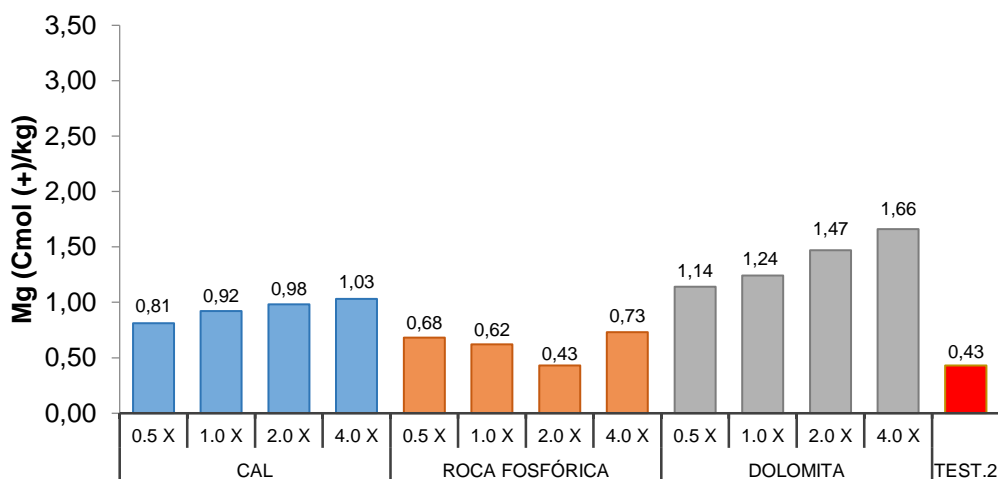
En el caso de la dolomita los incrementos porcentuales fueron de 82 a 330% con el nivel más bajo (1.0X) y más alto (4.0X) respectivamente. Es

obvio que estos mayores incrementos se deben indudablemente, al mayor contenido en Mg del material dolomítico.



**Materiales encalantes**

**Figura 7.** Variaciones del magnesio cambiante por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



**Materiales encalantes**

**Figura 8.** Variaciones del magnesio cambiante por efecto de las fuentes y niveles de encalado al suelo de 20 a 40 cm de profundidad.

En el Cuadro 7, se muestra el incremento de los valores del pH, P, Ca y Mg. En suelos de 0 - 20 y 20 - 40 cm de profundidad, por efecto de las enmiendas aplicadas tales como la Cal hidratada, Roca fosfórica y Dolomita; sobresaliendo el incremento del pH por efecto de la Cal hidratada en 1.69 y 1.33; el P se incrementó por efecto de la Roca fosfórica en 10.18 y 9.66, el Ca se incrementó por efecto de la Cal hidratada en 4.06 y 1.52; así, mismo el Mg se incrementó por efecto de la Dolomita en 1.63 y 0.95 respectivamente, la capacidad de concentración de cada elemento se debe a la fuente de material parental originada de las enmiendas utilizadas para el presente experimento. La roca parental del suelo puede tener fuerte influencia sobre sus propiedades y características. Los demás factores de formación clima, relieve, agentes bióticos y tiempo influyen sobre la composición del suelo controlando las reacciones de meteorización, las cuales alteran los minerales aportados por la roca parental (BESOAIN, 1985).

El magnesio fue uno de los diez elementos esenciales para las plantas que primeramente citaron los científicos. J. Von Liebig, en 1843, en su "teoría mineral sobre la nutrición de la planta", lo incluyó ya como fundamental, años más tarde, los trabajos de W. Salm-Horstmar, en 1851, y J. Raulin, en 1869, confirmaron su esencialidad (NAVARRO, 2003).

**Cuadro 7.** pH, fósforo, calcio y magnesio del suelo de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm de profundidad, por efecto de las enmiendas aplicadas.

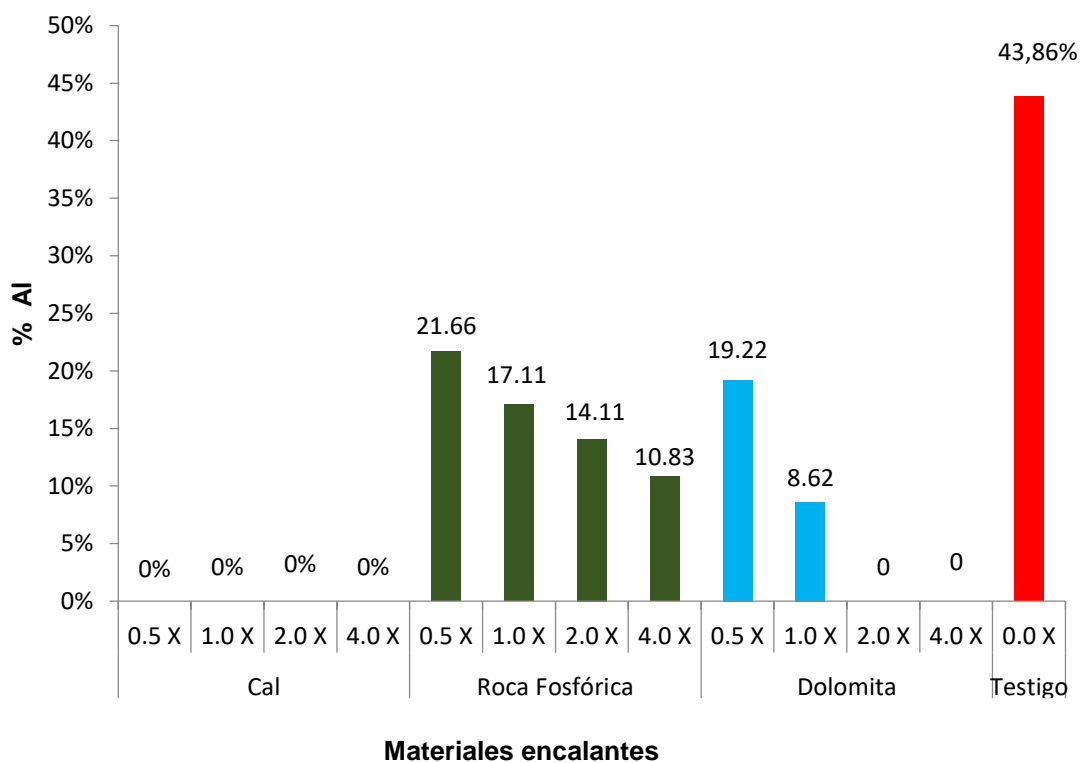
| Clave              | pH   | P     | Cmol (+)/kg |      |
|--------------------|------|-------|-------------|------|
|                    |      | ppm   | Ca          | Mg   |
| Suelo 0 – 20 cm    |      |       |             |      |
| Cal hidratada      | 6.02 | 1.43  | 5.76        | 1.36 |
| Roca fosfórica     | 5.34 | 10.86 | 2.35        | 0.73 |
| Dolomita           | 5.56 | 1.38  | 3.20        | 2.42 |
| Testigo 0 – 20 cm  | 4.33 | 0.68  | 1.70        | 0.79 |
| Suelo 20 – 40 cm   |      |       |             |      |
| Cal hidratada      | 5.42 | 1.21  | 2.87        | 0.94 |
| Roca fosfórica     | 5.33 | 10.28 | 2.01        | 0.62 |
| Dolomita           | 5.32 | 1.20  | 2.25        | 1.38 |
| Testigo 20 – 40 cm | 4.09 | 0.62  | 1.35        | 0.43 |

### **Porcentaje de saturación de acidez cambiabile**

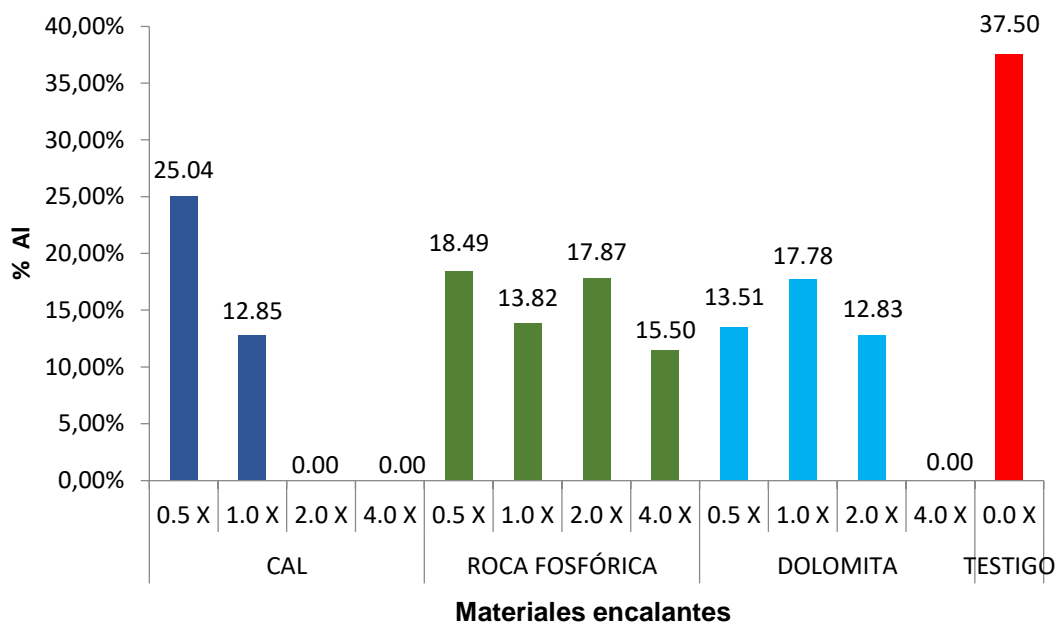
En relación a la saturación de acidez cambiabile, en las Figuras 9 y 10 se presentan las variaciones observadas en el suelo de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm de profundidad, por efecto de la aplicación de las enmiendas. En el suelo de 0 a 20 cm de profundidad, cuyo porcentaje de saturación alumínica fue de 43.86% en el tratamiento testigo, la aplicación de cal hidratada en cualquiera de sus niveles, redujo a cero dicha saturación, evidenciando su alta reactividad y poder neutralizante. Cuando se aplicó la dolomita, sólo los niveles más altos (2.0X y 4.0X) neutralizaron totalmente el Al cambiabile mientras que con los niveles más bajos (0.5X y 1.0X) la saturación de Al se redujo proporcionalmente hasta 19.22 y 8.62% respectivamente. La aplicación de la

roca fosfórica también redujo la saturación de Al significativamente hasta niveles de 10.83 a 21.66%.

Sobre el particular, es necesario mencionar que BERTSCH (1995) y MOLINA (1998) consideran que el cacao tolera entre 20 – 30% de saturación alumínica, por lo que el suelo utilizado en el experimento no reuniría las condiciones para el establecimiento de los plántones de cacao. En este sentido el encalado de estos suelos con dolomita en los niveles de 0.5X y 1.0X, permitiría reducir el Al cambiante hasta niveles tolerables (19.22 y 8.62%).



**Figura 9.** Variaciones de la saturación de Al por efecto del encalado del suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



**Figura 10.** Saturación de aluminio en sustratos del suelo de 20 a 40 cm de profundidad.

## 4.2. Pruebas biológicas

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de variancia de todas las características evaluadas, observándose la existencia de alta significación estadística para el efecto de los tratamientos en todos los casos. Los coeficientes de variación estuvieron en el rango de 8.11 para la altura de planta hasta 26.41% para el área foliar.

### 4.2.1 Altura de planta

Los resultados del Cuadro 8, muestran la existencia de alta significación estadística para las fuentes de variación, efecto principal de los sustratos o profundidad de muestreo (Factor A), en la interacción sustratos por materiales encalantes (A x B), interacción sustratos por materiales encalantes por niveles de encalado (A x B x C) y para el combinado factorial vs. testigos. Las demás fuentes de variación carecieron de significación estadística. El coeficiente de variabilidad fue de 8.11%, indicando que existe una excelente homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

**Cuadro 8.** Resumen del análisis de variancia de las características de altura, diámetro, área foliar y materia seca de la planta de cacao a nivel de vivero.

| Fuente de variación    | GL         | Altura de planta |      | Diámetro de tallo |      | Área foliar   |      | Materia seca aérea |      |
|------------------------|------------|------------------|------|-------------------|------|---------------|------|--------------------|------|
|                        |            | CM               | Sig. | CM                | Sig. | CM            | Sig. | CM                 | Sig. |
| Tratamientos           | 25         | 28.10            | AS   | 0.71              | AS   | 85319.00      | AS   | 6.11               | AS   |
| Factorial              | 23         | 21.00            | AS   | 0.32              | AS   | 72412.62      | AS   | 4.29               | AS   |
| A                      | 1          | 282.74           | AS   | 4.41              | AS   | 897258.08     | AS   | 74.84              | AS   |
| B                      | 2          | 1.18             | NS   | 0.31              | NS   | 66238.65      | AS   | 0.87               | NS   |
| C                      | 3          | 5.96             | NS   | 0.03              | NS   | 94151.53      | AS   | 1.80               | NS   |
| A x B                  | 2          | 10.72            | AS   | 0.18              | NS   | 74582.45      | AS   | 4.60               | AS   |
| A x C                  | 3          | 4.07             | NS   | 0.02              | NS   | 9794.85       | NS   | 0.22               | NS   |
| B x C                  | 6          | 2.43             | NS   | 0.12              | NS   | 13878.94      | NS   | 0.36               | NS   |
| A x B x C              | 6          | 6.63             | AS   | 0.17              | NS   | 15246.20      | NS   | 0.77               | NS   |
| Testigos               | 1          | 3.96             | NS   | 0.35              | NS   | 28351.76      | NS   | 2.07               | NS   |
| Factorial vs. testigos | 1          | 182.54           | AS   | 10.49             | AS   | 467484.72     | AS   | 54.02              | AS   |
| Error experimental     | 78         | 2.80             |      | 0.13              |      | 12749.87      |      | 0.68               |      |
| <b>Total</b>           | <b>103</b> |                  |      |                   |      |               |      |                    |      |
| <b>C.V (%)</b>         |            | <b>8.11%</b>     |      | <b>6.27%</b>      |      | <b>26.41%</b> |      | <b>17.88%</b>      |      |

AS : Diferencias estadísticas significativas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

### Efectos principales

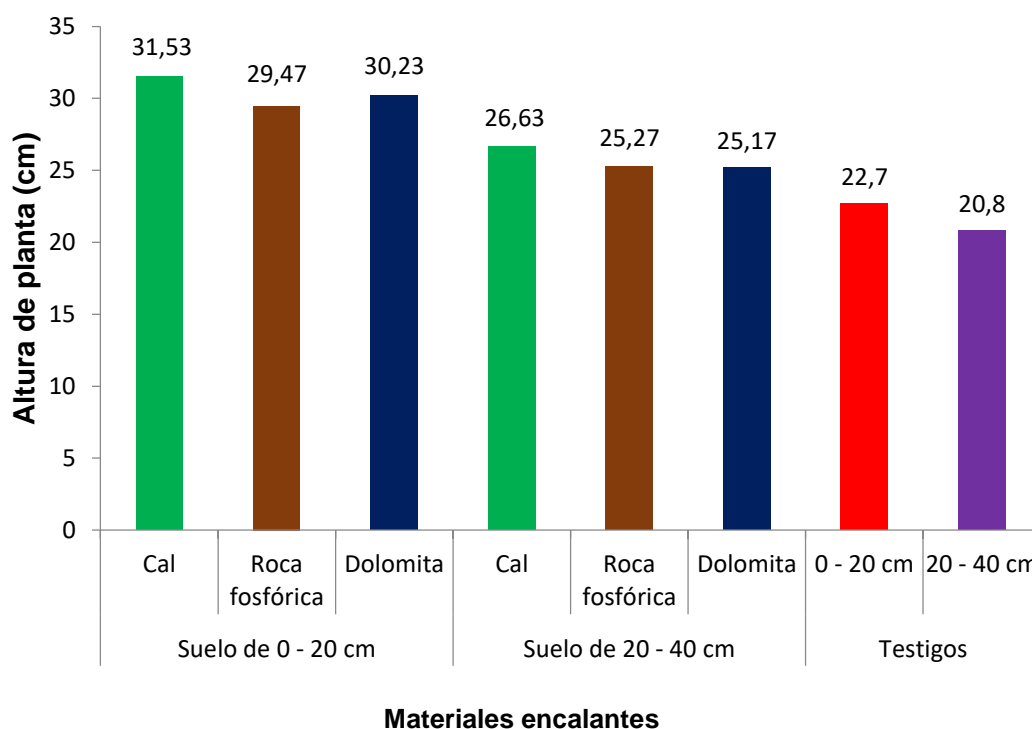
En el Cuadro 9 y Figura 11 se presentan los resultados de los efectos principales, que aun cuando no hayan tenido significación estadística el efecto principal de enmiendas y sus niveles, se presentan a modo de referencia. Se observa que en lo referente al efecto que tuvieron los sustratos obtenidos de dos profundidades, el sustrato correspondiente a la superficie del suelo (0 – 20 cm de profundidad), produjo plantas de mayor altura en promedio de las fuentes y niveles de encalado. Esta superioridad podría atribuirse a las mejores condiciones de fertilidad del suelo utilizado como sustrato.

La mayor parte de las raíces absorbentes se localizaron en el primer metro de profundidad y la mayoría de las raíces absorbentes de los árboles se encuentran en los 15 centímetros superiores, que es allí donde se encuentra casi siempre la parte más rica en materia orgánica (FAO 2000).

**Cuadro 9.** Efectos principales de la altura de plantones de cacao.

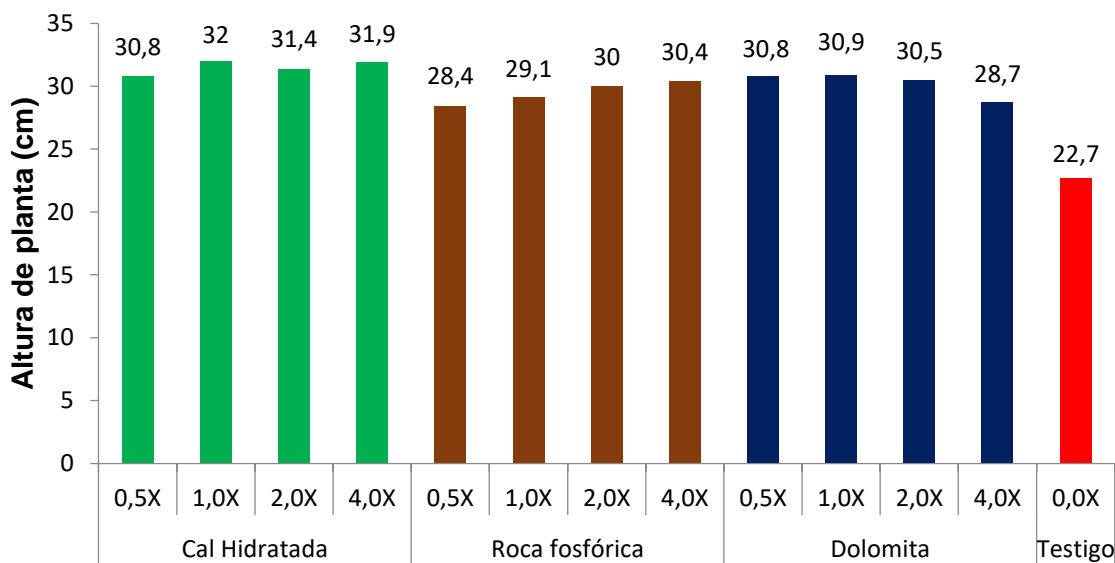
| <b>Efecto principal</b> | <b>Tratamiento</b> | <b>Altura (cm)</b> | <b>Índice (%)</b> | <b>Sign. (<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Sustratos               | Suelo 0 – 20 cm    | 29.71              | 119               | a                                       |
|                         | Suelo 20 – 40 cm   | 24.76              | 100               | b                                       |
| Materiales encalantes   | Cal hidratada      | 29.80              | 106               | a                                       |
|                         | Roca fosfórica     | 27.27              | 100               | a                                       |
|                         | Dolomita           | 27.70              | 102               | a                                       |
| Niveles del encalado    | 0.5 X              | 27.97              | 101               | a                                       |
|                         | 1.0 X              | 28.16              | 102               | a                                       |
|                         | 2.0 X              | 28.41              | 102               | a                                       |
|                         | 4.0 X              | 27.83              | 100               | a                                       |
| Testigo 0 - 20 cm       | 0                  | 22.70              |                   |   |
| Testigo 20 - 40 cm      | 0                  | 20.80              |                   |   |

Entre materiales encalantes y entre niveles de aplicación en promedio de los sustratos no se observaron diferencias significativas, pero sí, superioridad en relación a los testigos, obviamente por el efecto que tuvieron tales materiales en la modificación de las características principalmente químicas de los suelos, tal como se observó anteriormente.



**Figura 11.** Altura promedio de los plántones de cacao con las enmiendas en estudio.

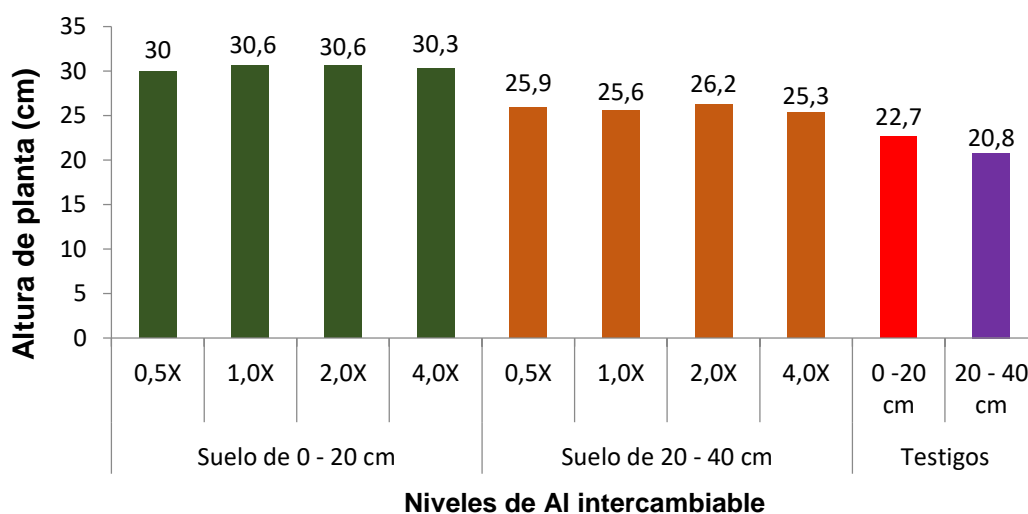
En la figura 12, se muestra la altura promedio de los plántones producidos en suelo de 0 a 20 cm de profundidad, con la aplicación de enmiendas sobresaliendo el tratamiento 1.0X con la enmienda Cal hidratada alcanzando una altura de 32 cm, seguido por la dolomita con 30.9 cm alcanzado por al tratamiento 1.0X y así, mismo con la roca fosfórica de 30.4 cm con el tratamiento 4.0X, con respecto al testigo con una altura de 22.7 cm.



**Materiales encalantes**

**Figura 12.** Altura promedio de los plantones de cacao en sustrato de 0 a 20 cm de profundidad.

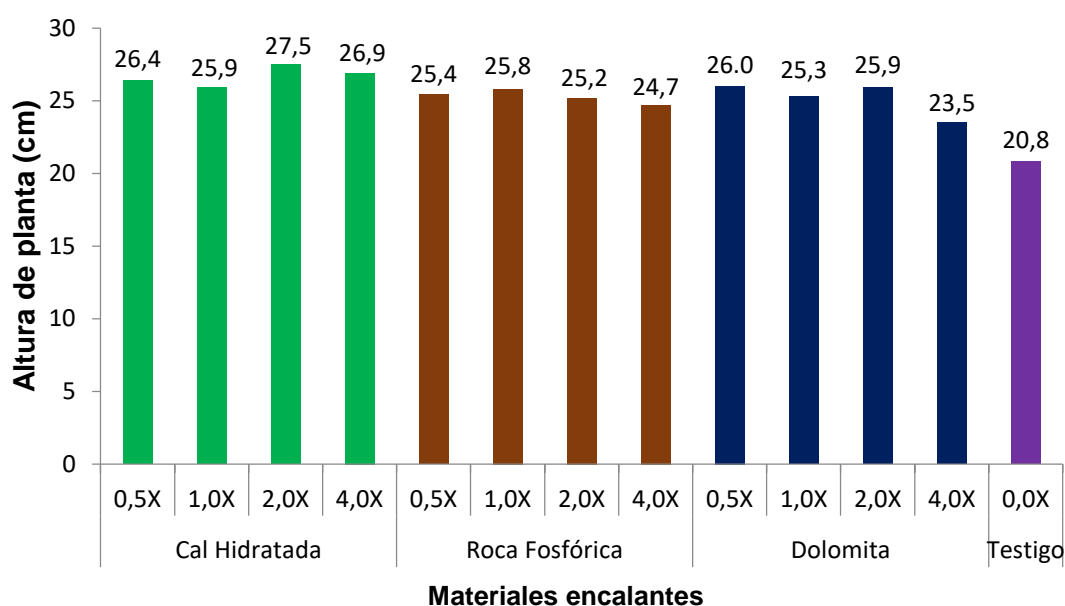
La figura 13, muestra los promedios de los niveles de Al intercambiable en los sustratos en estudio, sobresaliendo el suelo de 0 a 20 cm de profundidad en los niveles 1.0X y 2.0X con un promedio igual de 30.6 cm de altura y un testigo de 22.7 cm y de la misma manera en suelo de 20 a 40 cm de profundidad sobresale el nivel 2.0X con 26.2 cm y el testigo de 20.8 cm.



**Niveles de Al intercambiable**

**Figura 13.** Altura promedio de los plantones de cacao de los niveles de X (Al intercambiable).

En la figura 14, se muestra la altura promedio de los plantones producidos en suelo de 20 a 40 cm de profundidad, con la aplicación de tres enmiendas, de los cuales sobresale el tratamiento 2.0X con la enmienda Cal hidratada alcanzando una altura de 27.5 cm, seguido por la dolomita en el tratamiento 0.5X con 26 cm de altura y así, mismo con la roca fosfórica en el tratamiento 1.0X de 25.8 cm y el testigo con una altura de 20.8 cm.



**Figura 14.** Altura promedio de los plantones de cacao en los sustratos de 20 a 40 cm de profundidad.

### Interacción sustratos por materiales encalantes

El Cuadro 10, muestra los efectos simples de la interacción de los sustratos por materiales encalantes y sustratos por niveles de encalado, se muestra la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), de los efectos simples para la característica altura de planta; observándose que el nivel  $a_1$  (suelo de 0 a 20 cm de profundidad) en interacción con los niveles  $b_3$  (Dolomita) y  $c_3$  (2.0 X) es estadísticamente superior a la interacción  $a_2$  (suelo de 20 a 40 cm de

profundidad) con los niveles  $b_3$  y  $c_3$ , respecto al parámetro altura de planta. La parte del suelo que está de 0 a 20 cm de profundidad tiene mejor efecto sobre la dolomita que el sustrato de 20 a 40 cm de profundidad, que se evidencia en el parámetro altura de planta; para la FAO - IFA (2002) al aplicar dolomita en suelos ácidos, éstos son llevados a una reacción menos ácida o neutral; la dolomita aumentó el pH de ambos sustratos, pero estadísticamente tuvo un mejor efecto en el suelo de 0 a 20 cm de profundidad.

**Cuadro 10.** Efectos simples en la altura de plantones de cacao.

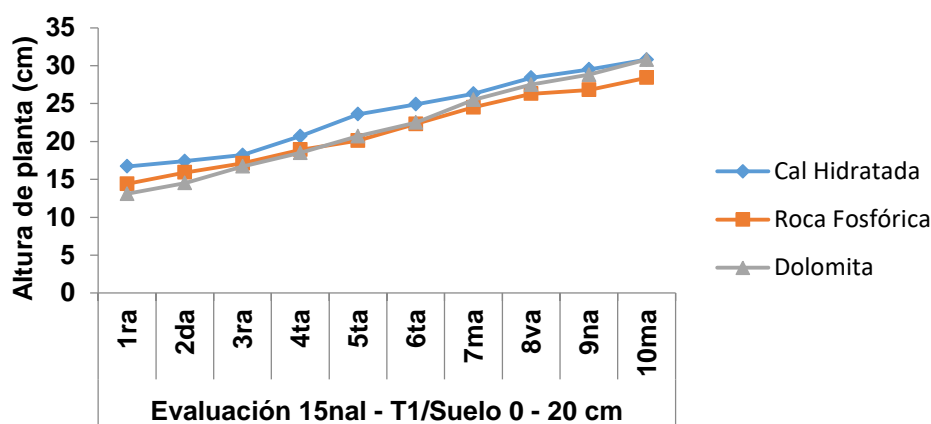
| <b>Efecto simple</b> | <b>Tratamiento</b> |                | <b>Altura (cm)</b> | <b>Índice (%)</b> | <b>Sign. (<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|----------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|---|
| A en $b_1$           | Suelo 0 – 20 cm    | Cal hidratada  | 31.53              | 118               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Cal hidratada  | 26.63              | 100               | b                                       |
| A en $b_2$           | Suelo 0 – 20 cm    | Roca fosfórica | 29.42              | 116               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Roca fosfórica | 25.27              | 100               | b                                       |
| A en $b_3$           | Suelo 0 – 20 cm    | Dolomita       | 30.23              | 120               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Dolomita       | 25.17              | 100               | b                                       |
| A en $c_1$           | Suelo 0 – 20 cm    | 0.5 X          | 30.00              | 105               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 0.5 X          | 28.53              | 100               | b                                       |
| A en $c_2$           | Suelo 0 – 20 cm    | 1.0 X          | 30.66              | 119               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 1.0 X          | 25.66              | 100               | b                                       |
| A en $c_3$           | Suelo 0 – 20 cm    | 2.0 X          | 30.63              | 117               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 2.0 X          | 26.20              | 100               | b                                       |
| A en $c_4$           | Suelo 0 – 20 cm    | 4.0 X          | 30.33              | 121               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 4.0 X          | 25.02              | 100               | b                                       |

### **Curvas de crecimiento para la altura de plantones de cacao**

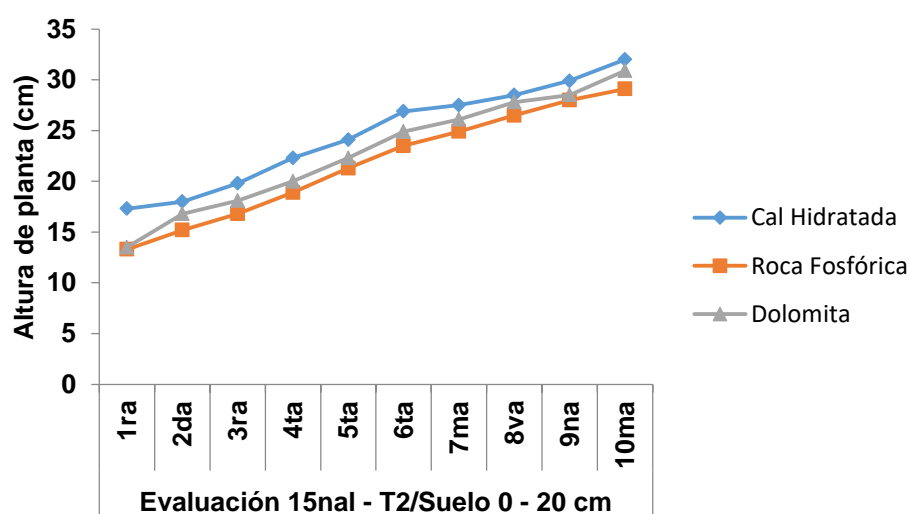
Las Figuras 15, 16, 17 y 18, muestran la curva de crecimiento de altura de planta, con los datos de la evaluación realizada cada 15 días durante la ejecución de la investigación por cinco meses, cada figura muestra a los

tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, independientemente, y cada tratamiento está conformado por la aplicación de enmiendas como la cal hidratada, dolomita y roca fosfórica, el incremento de mayor tamaño logrado en las plantas es con la enmienda cal hidratada, seguido por la dolomita y por último la roca fosfórica en suelo de 0 a 20 cm de profundidad.

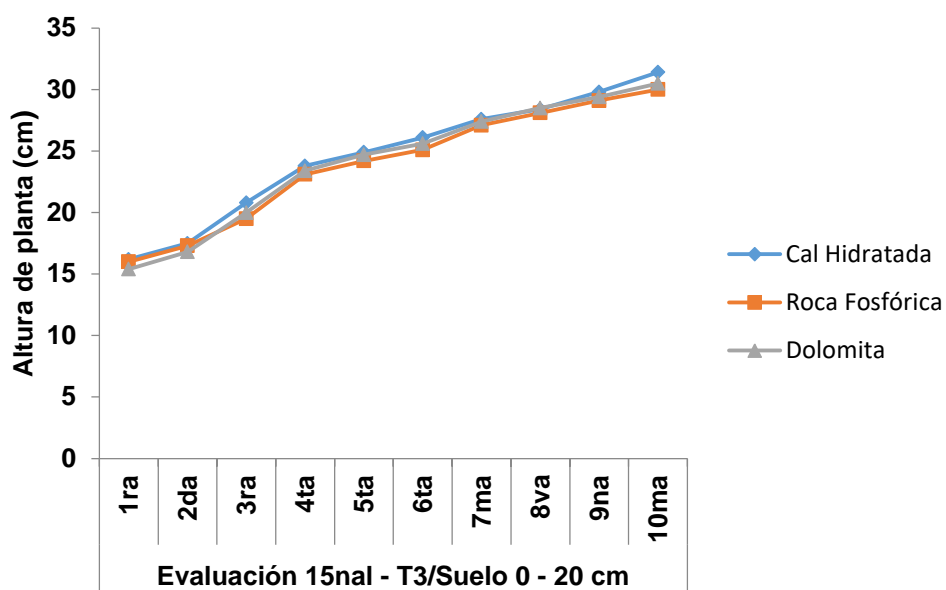
La formación de un suelo está en función de diversos factores, que le confieren cualidades y defectos, (FITZPATRIC, 1996).



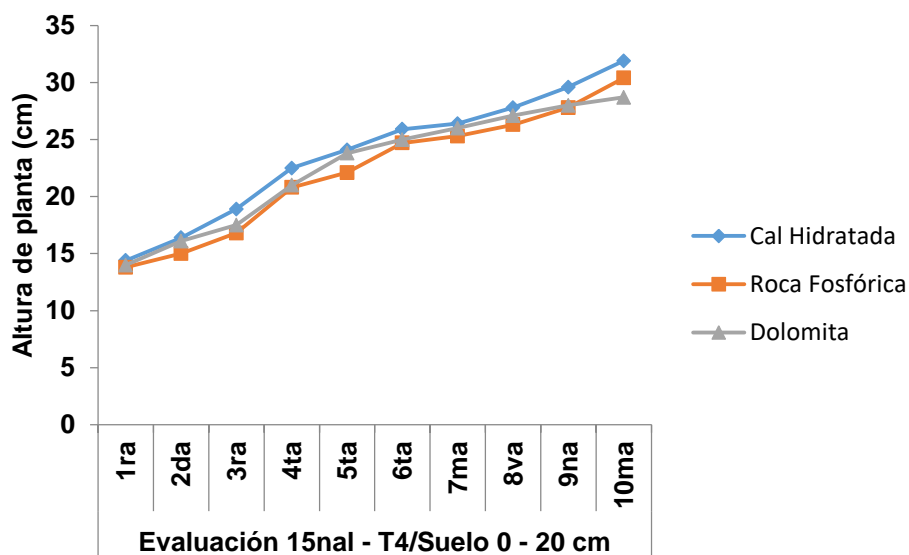
**Figura 15.** Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento T<sub>1</sub> en el sustrato suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



**Figura 16.** Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento T<sub>2</sub>, en el sustrato suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



**Figura 17.** Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento T<sub>3</sub>, en el sustrato suelo de 0 a 20 cm de profundidad.



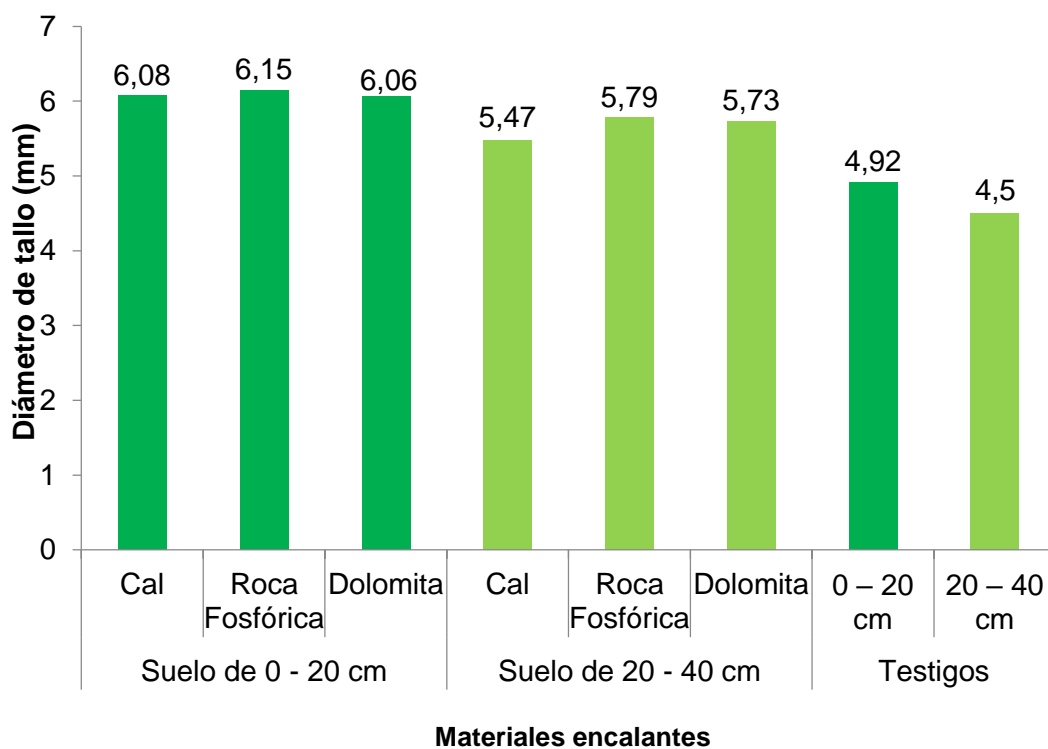
**Figura 18.** Altura de planta con curva de crecimiento del tratamiento T<sub>4</sub>, en el sustrato suelo de 0 a 20 cm de profundidad.

#### 4.2.2 Diámetro de planta

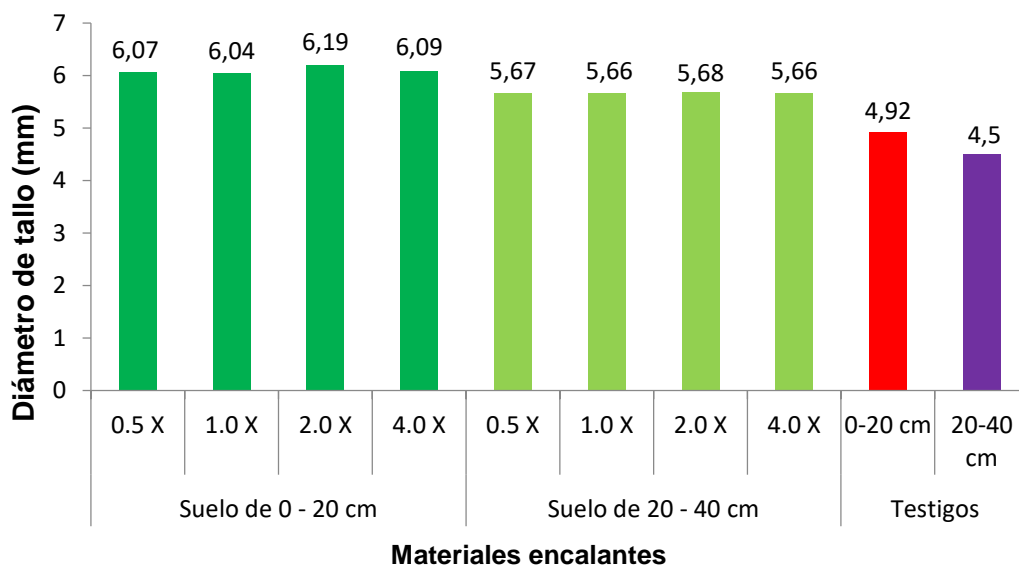
Los resultados del Cuadro 11, muestran los efectos simples de la interacción de los sustratos por materiales encalantes y sustratos por niveles de encalado.

**Cuadro 11.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos principales del diámetro de tallo de plántones de cacao.

| <b>Efecto principal</b> | <b>Tratamiento</b> | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Índice (%)</b> | <b>Sign. (<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|-------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---|
| Sustratos               | Suelo 0 – 20 cm    | 6.09                 | 107               | a                                       |
|                         | Suelo 20 – 40 cm   | 5.67                 | 100               | b                                       |
| Materiales encalantes   | Cal hidratada      | 5.77                 | 100               | a                                       |
|                         | Roca fosfórica     | 5.97                 | 103               | a                                       |
|                         | Dolomita           | 5.90                 | 102               | a                                       |
| Niveles del encalado    | 0.5 X              | 5.87                 | 100               | a                                       |
|                         | 1.0 X              | 5.85                 | 100               | a                                       |
|                         | 2.0 X              | 5.93                 | 101               | a                                       |
|                         | 4.0 X              | 5.87                 | 100               | a                                       |
| Testigo 0 - 20 cm       | 0                  | 4.92                 |                   |   |
| Testigo 20 - 40 cm      | 0                  | 4.50                 |                   |   |



**Figura 19.** Diámetro promedio del tallo de cacao de las enmiendas en estudio.



**Figura 20.** Diámetro promedio de tallo de los niveles de X (Al intercambiable)

En el Cuadro 12, se muestra la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para las características del diámetro de tallo del cacao, promedio de los tratamientos

(factorial) y testigos. Observándose al factorial estadísticamente mayor a los testigos para ambas características; el promedio de diámetro de tallo del factorial fue 5.08 mm y de los dos testigos 4.92 y 4.50 mm respectivamente. No existe significancia entre los testigos; pero se muestra que el encalado corrige la acidez del suelo y mejora la disponibilidad de elementos como el fósforo, calcio, etc., esenciales para obtener plantas con mayor diámetro de tallo, el encalado hace disponible al fósforo en suelos ácidos (DONAHUE *et al.*, 1981).

**Cuadro 12.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos simples del diámetro de tallo en plantones de cacao.

| <b>Efecto simple</b> | <b>Tratamiento</b> |                  | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Índice (%)</b> | <b>Sign. (<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|----------------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------|---|
| A en b <sub>1</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Cal hidratada    | 6.08                 | 111               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Cal hidratada    | 5.47                 | 100               | b                                       |
| A en b <sub>2</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Roca fosfórica   | 6.15                 | 106               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Roca fosfórica   | 5.79                 | 100               | b                                       |
| A en b <sub>3</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Dolomita         | 6.06                 | 106               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Dolomita         | 5.73                 | 100               | b                                       |
| A en c <sub>1</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 0.5 X            | 6.07                 | 107               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 0.5 X            | 5.67                 | 100               | b                                       |
| A en c <sub>2</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 1.0 X            | 6.04                 | 107               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 1.0 X            | 5.66                 | 100               | b                                       |
| A en c <sub>3</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 2.0 X            | 6.19                 | 109               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 2.0 X            | 5.68                 | 100               | b                                       |
| A en c <sub>4</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 4.0 X            | 6.09                 | 108               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 4.0 X            | 5.66                 | 100               | b                                       |
| B en a <sub>2</sub>  | Cal hidratada      | Suelo 20 – 40 cm | 5.79                 | 106               | b                                       |
|                      | Roca fosfórica     | Suelo 20 – 40 cm | 5.73                 | 105               | a                                       |
|                      | Dolomita           | Suelo 20 – 40 cm | 5.47                 | 100               | b                                       |

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

### 4.2.3 Área foliar del cacao

En el Cuadro 8, se muestra el análisis de variancia (ANVA) de la característica área foliar de la planta de cacao en vivero; en el Cuadro 13 del efecto principal se observa que sí existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, del promedio de tratamientos (Factorial), entre niveles del factor A (Sustratos), entre los niveles del factor B (Fuentes de encalado) y niveles del factor C (Niveles de encalado), entre la comparación (Factorial vs Testigo); no existe significancia en las demás fuentes de variación. El coeficiente de variabilidad es 26.46% indicando regular homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

**Cuadro 13.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos principales del área foliar de los plántones de cacao.

| <b>Efecto principal</b>  | <b>Tratamiento</b> | <b>Área foliar<br/>(cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Índice<br/>(%)</b> | <b>Sign.<br/>(<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|--------------------------|--------------------|---|-----------------------|---|
| Sustratos                | Suelo 0 – 20 cm    | 542.98                                  | 155                   | a   |
|                          | Suelo 20 – 40 cm   | 349.63                                  | 100                   | b   |
| Materiales<br>encalantes | Cal hidratada      | 498.83                                  | 119                   | a   |
|                          | Roca fosfórica     | 419.10                                  | 100                   | a   |
|                          | Dolomita           | 420.98                                  | 100                   | a   |
| Niveles del encalado     | 0.5 X              | 467.77                                  | 132                   | a   |
|                          | 1.0 X              | 474.00                                  | 134                   | a   |
|                          | 2.0 X              | 490.03                                  | 139                   | a   |
|                          | 4.0 X              | 353.41                                  | 100                   | a   |
| Testigo 0 - 20 cm        | 0                  | 261.98                                  |                       |   |
| Testigo 20 - 40 cm       | 0                  | 142.92                                  |                       |   |

### De los efectos simples del área foliar del cacao

El Cuadro 14, muestra el efecto simple en la cual se observa que sí existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, promedio de tratamientos (Factorial), niveles del factor A (Sustratos), niveles del factor B (Fuentes de encalado), niveles del factor C (Niveles de encalado).

**Cuadro 14.** Efectos simples del área foliar de los plantones de cacao.

| Efecto simple       | Tratamiento      |                  | Área foliar (cm <sup>2</sup> ) | Índice (%) | Sign. (α=0.05) |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------|----------------|
| A en b <sub>1</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | Cal hidratada    | 651.25                         | 188        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | Cal hidratada    | 346.41                         | 100        | b              |
| A en b <sub>2</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | Roca fosfórica   | 487.85                         | 139        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | Roca fosfórica   | 350.35                         | 100        | b              |
| A en b <sub>3</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | Dolomita         | 489.84                         | 139        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | Dolomita         | 352.12                         | 100        | b              |
| A en c <sub>1</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | 0.5 X            | 571.13                         | 157        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | 0.5 X            | 364.42                         | 100        | b              |
| A en c <sub>2</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | 1.0 X            | 574.51                         | 154        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | 1.0 X            | 373.49                         | 100        | b              |
| A en c <sub>3</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | 2.0 X            | 605.01                         | 161        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | 2.0 X            | 375.06                         | 100        | b              |
| A en c <sub>4</sub> | Suelo 0 – 20 cm  | 4.0 X            | 421.28                         | 148        | a              |
|                     | Suelo 20 – 40 cm | 4.0 X            | 285.55                         | 100        | b              |
| B en a <sub>1</sub> | Cal hidratada    | Suelo 0 – 20 cm  | 651.25                         | 133        | a              |
|                     | Roca fosfórica   | Suelo 0 – 20 cm  | 489.84                         | 100        | b              |
|                     | Dolomita         | Suelo 0 – 20 cm  | 487.85                         | 100        | b              |
| C en a <sub>1</sub> | 0.5 X            | Suelo 0 – 20 cm  | 605.01                         | 144        | a              |
|                     | 1.0 X            | Suelo 0 – 20 cm  | 574.51                         | 136        | a              |
|                     | 2.0 X            | Suelo 0 – 20 cm  | 571.13                         | 136        | a b            |
|                     | 4.0 X            | Suelo 0 – 20 cm  | 421.28                         | 100        | b              |
| C en a <sub>2</sub> | 0.5 X            | Suelo 20 – 40 cm | 375.06                         | 131        | a              |
|                     | 1.0 X            | Suelo 20 – 40 cm | 373.49                         | 131        | a              |
|                     | 2.0 X            | Suelo 20 – 40 cm | 364.42                         | 128        | a b            |
|                     | 4.0 X            | Suelo 20 – 40 cm | 285.55                         | 100        | b              |

#### **4.2.4. Materia seca parte aérea de la planta de cacao en vivero**

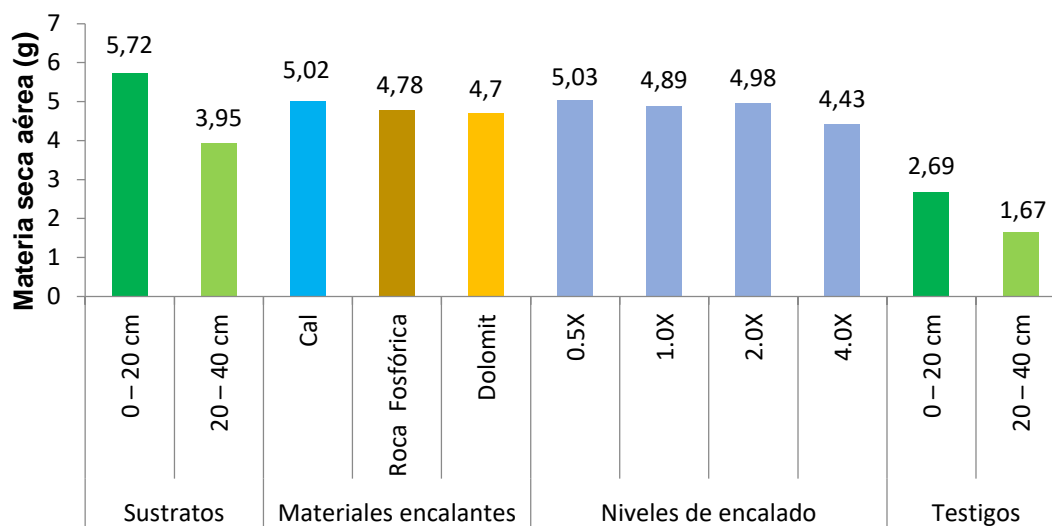
En el Cuadro 15, se muestra los efectos principales de la materia seca parte aérea (tallos y hojas) de los plantones de cacao en vivero, para las características de la materia seca de los plantones, se observa del efecto principal diferencia estadística significativa en los Sustratos (Suelo 0 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad), el promedio representada en peso fue de 5.72 g y 3.95 g y con un índice de 145% y 100% respectivamente; en el resto de los efectos principales no existen diferencias estadísticas significativas (Materiales encalantes, Niveles del encalado y Testigos). En cuanto a los materiales encalantes, en el promedio de los niveles ensayados y de los sustratos utilizados, no se observó diferencias estadísticas entre ellos. Las diferencias alcanzadas en la producción de materia seca por cada encalante, no llegaron a ser muy notorias, a pesar de que los cambios en las propiedades químicas de los sustratos fueron muy evidentes. Así, la aplicación de cal hidratada en todos los niveles neutralizaron completamente la saturación del Al cambiante, mientras que la dolomita lo hizo en menor proporción, teniendo la roca fosfórica un menor efecto. Estos cambios en las características del suelo no se manifestaron en la producción de materia seca. Esto estaría indicando que el cacao toleraría niveles de saturación de Al algo más elevados. En relación a los niveles de encalado, tampoco se halló significación estadística, al igual que en los testigos.

La biomasa o masa biológica, es la masa total de los seres vivos presentes en una determinada área en un momento determinado y suele

expresarse en toneladas de materia seca por unidad de superficie o de volumen (IPARRAGUIRRE, 2000).

**Cuadro 15.** Efectos principales de los sustratos, materiales encalantes y niveles de encalado en el rendimiento de materia seca de la parte aérea.

| Efecto principal      | Tratamiento      | Materia seca aérea (g) | Índice (%) | Sign. |
|-----------------------|------------------|------------------------|------------|-------|
| Sustratos             | Suelo 0 – 20 cm  | 5.72                   | 145        | a     |
|                       | Suelo 20 – 40 cm | 3.95                   | 100        | b     |
| Materiales encalantes | Cal hidratada    | 5.02                   | 107        | a     |
|                       | Roca fosfórica   | 4.78                   | 102        | a     |
|                       | Dolomita         | 4.70                   | 100        | a     |
| Niveles del encalado  | 0.5 X            | 5.03                   | 114        | a     |
|                       | 1.0 x            | 4.89                   | 110        | a     |
|                       | 2.0 X            | 4.98                   | 112        | a     |
|                       | 4.0 X            | 4.43                   | 100        | a     |
| Testigo1              | Suelo 0 – 20 cm  | 2.69                   |            |       |
| Testigo 2             | Suelo 20 – 40 cm | 1.67                   |            |       |



**Figura 21.** Efecto principal de los sustratos, materiales encalantes, niveles de encalado y testigos de la materia seca parte aérea.

En el Cuadro 8, se presentan los resultados generales del análisis de variancia para la característica de materia seca parte aérea, en el que se observa alta significación estadística para el efecto principal de los sustratos, para la interacción sustratos por materiales encalantes y para la combinación factorial vs. testigos. Para las otras fuentes de variación, no se halló significación estadística.

Cuando se utilizó el suelo como sustrato para la producción de plantones, se obtuvo mayor producción de materia seca de la parte aérea (tallo y hojas), lo que se atribuiría a las mejores características físico-químicas que se muestran en el Cuadro 18 del anexo. En dicho cuadro se aprecia que el sustrato suelo de 0 – 20 cm de profundidad, presenta niveles más altos de materia orgánica y fósforo disponible (P), además de un pH ligeramente más alto en relación al suelo de 20 – 40 cm de profundidad. En la literatura disponible no se han encontrado trabajos similares.

### **Efectos simples**

En el Cuadro 16, se muestra la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para las características del efecto simple de la materia seca aérea de los plantones de cacao, se observa que el efecto simple es mayor con respecto al suelo de 0 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad, donde se aprecia que existen diferencias estadísticas significativas. Los resultados del suelo de 0 a 20 cm con respecto el suelo de 20 a 40 cm es mayor debido al efecto de los materiales encalantes (cal hidratada, dolomita y roca fosfórica), niveles de encalado utilizados con cuatro niveles de dosis y testigos en el presente experimento.

Así, mismo los resultados de los efectos simples de las enmiendas Cal Hidratada, Roca Fosfórica y Dolomita en suelo de 0 a 20 cm de profundidad fueron 6.34 g, 5.41g y 5.41 g. respectivamente, sobresaliendo la Cal hidratada con mayor diferencia significativa.

**Cuadro 16.** Efectos simples de la materia seca aérea de los plantones de cacao.

| <b>Efecto Simple</b> | <b>Tratamiento</b> |                 | <b>Materia seca aérea (g)</b> | <b>Índice (%)</b> | <b>Sign. (<math>\alpha=0.05</math>)</b> |
|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|---|
| A en b <sub>1</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Cal hidratada   | 6.34                          | 171               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Cal hidratada   | 3.70                          | 100               | b                                       |
| A en b <sub>2</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Roca fosfórica  | 5.41                          | 130               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Roca fosfórica  | 4.16                          | 100               | b                                       |
| A en b <sub>3</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | Dolomita        | 5.41                          | 135               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | Dolomita        | 4.00                          | 100               | b                                       |
| A en c <sub>1</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 0.5 X           | 6.05                          | 150               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 0.5 X           | 4.02                          | 100               | b                                       |
| A en c <sub>2</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 1.0 X           | 5.77                          | 144               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 1.0 X           | 4.01                          | 100               | b                                       |
| A en c <sub>3</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 2.0 X           | 5.83                          | 142               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 2.0 X           | 4.12                          | 100               | b                                       |
| A en c <sub>4</sub>  | Suelo 0 – 20 cm    | 4.0 X           | 5.22                          | 143               | a                                       |
|                      | Suelo 20 – 40 cm   | 4.0 X           | 3.65                          | 100               | b                                       |
| B en a <sub>1</sub>  | Cal hidratada      | Suelo 0 – 20 cm | 6.34                          | 117               | a                                       |
|                      | Roca fosfórica     | Suelo 0 – 20 cm | 5.41                          | 100               | b                                       |
|                      | Dolomita           | Suelo 0 – 20 cm | 5.41                          | 100               | b                                       |

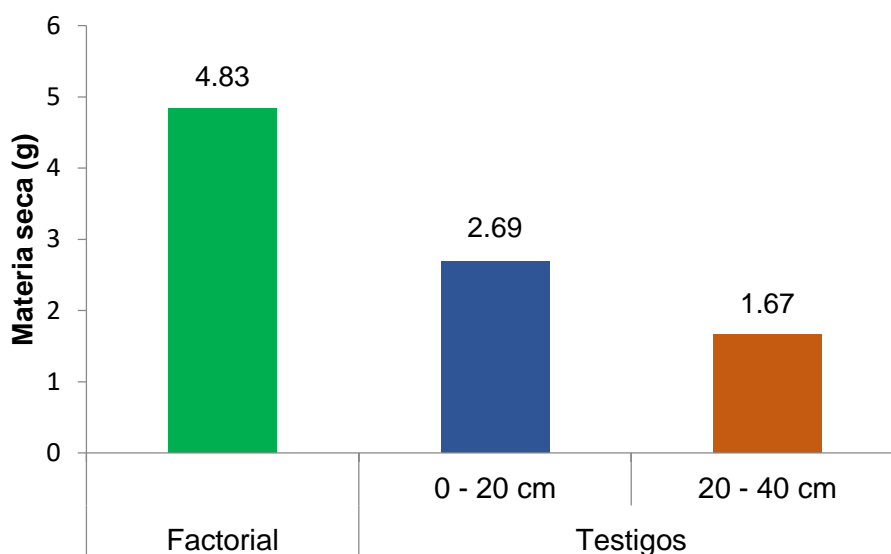
### De los efectos simples

En el Cuadro 17 y Figura 22 se observa que para la materia seca aérea el contraste del factorial es mayor con respecto al testigo 0-20 cm y el testigo 20-40 cm, donde se aprecia que existen diferencias significativas. Es mayor debido al efecto de los materiales encalantes (cal, dolomita y roca fosfórica) utilizados con cuatro niveles de dosis en el presente experimento.

**Cuadro 17.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la materia seca aérea de la comparación del factorial vs. testigos.

| Contraste          | Materia seca aérea (g) | Significancia ( $\alpha=0.05$ ) |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| Factorial          | 4.83                   | a                               |
| Testigo 0 – 20 cm  | 2.69                   | b                               |
| Testigo 20 – 40 cm | 1.67                   | c                               |

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.



**Figura 22.** Materia seca aérea de la comparación del factorial vs. testigos.

## V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de los materiales encalantes elevó el pH de 4.33 a 6.27 y de 4.09 a 5.84 del suelo de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm de profundidad, redujo total o parcialmente la saturación de aluminio según el material encalante y el nivel de encalado e incrementó la disponibilidad de P, Ca, Mg, favoreciendo el desarrollo vegetativo de los plantones de cacao. El efecto del encalado fue mayor en los tratamientos con cal hidratada, seguido de los tratamientos con dolomita y finalmente con la roca fosfórica.
2. Las fuentes y niveles de encalado mejoran algunas propiedades químicas del suelo; con cal hidratada, roca fosfórica y dolomita en el suelo a dos profundidades se incrementó el nivel de calcio, fósforo y magnesio; sin embargo aritméticamente los niveles de encalado fueron mayores en el suelo de 0 – 20 cm de profundidad. El efecto de la roca fosfórica en la reducción de la acidez o toxicidad de Al fue menor y su efecto sobre la disponibilidad del P se debería principalmente a su contenido de P.
3. Con respecto a los niveles de encalado, el crecimiento y desarrollo vegetativo de los plantones del cacao fue mayor en el suelo de 0 – 20 cm de profundidad en comparación con el suelo de 20 a 40 cm de profundidad. El encalado del suelo incrementó la altura, área foliar, materia seca y diámetro de los plantones de cacao, teniendo mayor efecto la aplicación de cal hidratada.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. De acuerdo a los resultados se recomienda a los agricultores utilizar todas las enmiendas para corregir la acidez del suelo y generar mayor disponibilidad de los nutrientes para el desarrollo vegetativo de las plantas de cacao bajo condiciones de vivero.
2. Se recomienda utilizar sustratos del suelo tomados a profundidades menores a 20 cm, debido a la mayor disponibilidad de nutrientes, menos trabajo y tiempo en la producción de plantones de cacao.
3. Realizar análisis físico y químico del suelo para corregir el nivel de pH que pueda presentar y evitar la toxicidad de aluminio que podría perjudicar a las plantas en pleno desarrollo.
4. Se recomienda el uso de la cal hidratada por ser la mejor fuente del encalado a nivel de 4.0X (Al intercambiable).

## VII. RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Vivero de la Facultad de Agronomía – UNAS; con el objetivo de evaluar el efecto de tres fuentes y cuatro niveles de encalado en algunas propiedades químicas de un suelo ácido a dos profundidades y, evaluar el efecto de tres fuentes y cuatro niveles de encalado en el crecimiento de plantones de cacao. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 2A x 3B x 4C, consistentes en dos sustratos, tres fuentes de encalado con cuatro niveles, más dos tratamientos adicionales (testigos), con cuatro repeticiones, cada uno haciendo un total de 260 unidades experimentales. Los datos se sometieron al análisis de variancia y prueba de comparación de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Se extrajo suelo de dos profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm, en proceso de recuperación. Al inicio del experimento, se realizó el análisis de los materiales encalantes, incluida la roca fosfórica y, se evaluó el porcentaje de carbonato de calcio equivalente de cada enmienda. Una vez calculada y pesada las cantidades de enmiendas encalantes y el suelo, se mezcló en su totalidad por cada tratamiento en estudio. Las bolsas se llenaron con 1500.74 – 1515.68 g de sustrato mezclado con las enmiendas a diferentes niveles, se regaron hasta el 80% de capacidad de campo y se sometió a incubación por 25 días; Luego de extraer las semillas de cacao (Clon CCN 51), se quitó el mucílago con aserrín, se desinfectaron con Tiofanate meti + Thiram y fueron sembradas en aserrín con 30% de humedad. Al cabo de tres a cuatro días se observó la radícula de las semillas y se procedió a sembrarlas en las bolsas con el sustrato incubado (una semilla por bolsa) a una profundidad del doble del diámetro de las semillas. Las evaluaciones se realizaron cada 15 días y durante cinco meses, se tomaron medidas de altura y diámetro de tallo. A los 150 días después de la siembra se

evaluaron el área foliar mediante el método de silueta de la hoja y, el volumen radicular ( $\text{mm}^3$ ) a través del método de la probeta. La materia seca se evaluó al final del experimento en cuatro plantones por tratamiento, las muestras frescas de la parte foliar y tallo fueron pesadas y puestas en bolsas de papel periódico para obtener el peso fresco de las muestras. Para obtener el peso seco, las muestras se trasladaron a una estufa a  $70^\circ\text{C}$  por 48 horas, hasta obtener peso constante, luego fueron pesadas y por diferencia se calculó el porcentaje de humedad y materia seca. El pH, CIC, CICE, Ca, Mg, K, Na, Al y  $\text{H}_3\text{O}$ , porcentaje de saturación de acidez, bases cambiables, fósforo disponible y porcentaje de saturación de aluminio se determinaron en el Laboratorio de Suelos de la UNAS. La aplicación de los materiales encalantes, elevó el pH de 4.33 a 6.27 y de 4.09 a 5.84 del suelo de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm de profundidad, redujo total o parcialmente la saturación de aluminio e incrementó la disponibilidad de P, Ca, Mg, favoreciendo el desarrollo vegetativo de los plantones de cacao. El efecto del encalado fue mayor en los tratamientos con cal hidratada, seguido de los tratamientos con dolomita y roca fosfórica. Las fuentes y niveles de encalado mejoraron algunas propiedades químicas del suelo; con cal hidratada, roca fosfórica y dolomita se incrementaron los niveles de calcio, fósforo y magnesio; aritméticamente los niveles de encalado fueron mayores en el suelo de 0 – 20 cm de profundidad. El efecto de la roca fosfórica en la reducción de la acidez o toxicidad de Al fue menor y su efecto sobre la disponibilidad del P se debería principalmente a su contenido de P. El encalado del suelo incrementó la altura, área foliar, materia seca y diámetro de plantones de cacao, teniendo mayor efecto la aplicación de cal hidratada.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ADRIAZOLA, J. 2003. Producción del alimento de los dioses (*Theobroma cacao* L.) Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 81 p.
2. ALCARDE, J.C. 1992. Correctivos de acidez de dos suelos: características e interpretaciones técnicas. Boletín Técnico No. 6. ANDA, BRA.
3. BENITO, J. 1992. Técnicas para el cultivo de cacao PEAH. Tingo María, Perú. 36 p.
4. BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José, Costa Rica. 157 p.
5. BESOAIN E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. IICA. San José, Costa Rica.
6. CALAMBAS, R. 2009. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas de producción de café orgánico y tradicional en los municipios de Caldono, Morales y Piendamó en el departamento del Cauca. Tesis para optar título de Ing. Agrícola. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Valle del Cauca, Colombia. Pp. 27 – 28.

7. CAMBRI, M. 2004. Calagem e formas de aluminio en tres localidades sob sistema de plantiodireto. Tese de Doutorado. Piracicaba, SP, Brasil. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Brasil. 83 p.
  8. CAMPILLO, R. y SADZAWKA, A. 1993. Manejo del encalado y sus implicancias. Investigación y Progreso Agropecuario. Carillanca. 12(3):8-12.
  9. CÉSARE, O. 1979. Tecnificación del cultivo de cacao. Tingo María, convenio UNAS – USA. Tingo María, Perú. 44 p.
  10. COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. 1967: The basic chemistry of soil acidity  
In: Pearson, R.W.; Adams, F. eds. Soil acidity and liming. Agronomy N°. 12. Madison, American society of Agronomy.
  11. DONAHUE, J. y R.M. MILLER 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice Hall International. Madrid, España. 449 p.
  12. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. (En línea). Consultado el 23 abril 2012. Disponible en [http:// www.fao.org](http://www.fao.org)
-

13. FAO – IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. 4ª ed. FAO – IFA. Roma, Italia. 210 p.
14. FAO. 2007. Utilización de las rocas fosfórica para una agricultura sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín FAO: Fertilizantes y nutrición Vegetal. Pp. 86 – 89.
15. FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
16. Fitz Patric A. E., 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Trillas. México.
17. GARCÍA, A. 1977. Respuesta de cinco híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) a toxicidad causada por el aluminio en solución nutritiva y en un oxisol de los llanos Orientales. CORPOICA. Colombia. Revista ICA. 13 (2): 219 – 227.
18. GUERRERO, J. 2012. Asistencia técnica dirigida en: Toma de muestras y recomendaciones de fertilización en cultivos tropicales. Universidad Nacional Agraria La Molina – AGROBANCO. Guía Técnica. Satipo, Perú. 16 p.
19. HUAMANÍ, H.; HUAUYA, M.; MANSILLA, L.; FLORIDO, R.N.; NEIRA, G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de caco (*Teobroma cacao* L.) orgánico. Acta Agronómica 1 (4): 339 – 344.

20. IPARRAGUIRRE, L. 2000. Ecología. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.
21. JULCA, A.; MENESES, L.; BELLO, S.; ANAHUI, J.; CRESPO, R.; CASTAÑEDA, E.; REYNOSO, A.; SCHULLER, S.; FUNDES, G. 2006. Selección de fuentes naturales para la fertilización de café en el marco de una agricultura orgánica. Proyecto Financiado por INCAGRO – Informe de Avance (Diciembre – 2006). 20 p.
22. MANSILLA, L. 2013. Niveles críticos para la interpretación del análisis de suelos. Curso de interpretación de análisis físico-químico en los cultivos de café y cacao. Boletín N°1. Tingo María, Perú. Pp. 1 – 4.
23. MENDOZA, C. 2013. El cultivo de cacao, opción rentable para la Selva. Programa Selva Central. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (DESCO). Impresión: Roble Rojo Grupo de Negocios S.A.C. La Molina, Perú. Pp. 10 – 17.
24. MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAG). 2000. El cultivo de cacao en la Amazonía Peruana. Talleres gráficos de FIRMAT S.A.C. Lima, Perú. 105 p.
25. MOLINA, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.
26. NAVARRO G. G. y NAVARRO B. S. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Mundi prensa. España.

27. NAZAR, J. 2010. Efecto de la dolomita en el crecimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51 en un suelo ácido bajo condiciones de vivero, en Tingo María. Tesis para optar título de Ing. Recursos Naturales Renovables – Mención forestales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 80 p.
28. OSORNO, R. 2006. El semáforo del suelo una guía para calificar el nivel de fertilidad. Instituto de investigaciones agropecuarias. Informativo N° 51. Chile. 30 p.
29. PAREDES, M. 2003. Manual del cultivo de cacao. Perú. Ministerio de Agricultura - Programa para el Desarrollo de la Amazonia (PROAMAZONIA). Lima, Perú. 13 p.
30. PLASTER, E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo. España. 405 p.
31. PRIMAVESI, A. 1982. Manejo ecológico de suelos. 5ta ed. El Ateneo. Sao Paulo, Brasil. Pp. 73 - 74.
32. RUIZ, V. 2011. Efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de acidez, en Ricardo Palma – Naranjillo. Tingo María, Perú. Tesis para optar título de Ing. Recursos Naturales Renovables – Mención Forestales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 72 p.

33. ROMERO, R. 1996. Efecto del substrato, dosis de fertilizante y uso de cubierta en almácigos de tabaco rubio (*Nicotiana tabacum* L.) var. K-326 en la localidad de Satipo. Tesis Ingeniero Agrónomo. UNA La Molina. Lima, Perú. 104 p.
34. SÁNCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. IICA. San José, Costa Rica. 625 p.
35. SÁNCHEZ, R. 2006. Manual del cultivo de cacao. 1era edición. Chanchamayo – Junín, Perú. 106 p.
36. TISDALE, S.; NELSON, L. 1977. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Montaner y Simón S.A. Barcelona, España. 760 p.
37. VERA, M.; ROSALES, H.; UREÑA, N. 2000. Caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. Rev. Geog. Venez. 41(2): 257 – 270.
38. YAMADA, T. 2000. BORO: ¿Se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas? Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas N° 41. Georgia, Estados Unidos. 8 p.

## **IX. ANEXO**

## Estructura de la tesis

Estructura general de los cuadros

**Cuadro 18.** Análisis físico y químico de los sustratos del suelo de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm de profundidad.

| Elementos                                 | Suelo<br>0 – 20 cm     | Suelo<br>20 – 40 cm |
|---|------------------------|---------------------|
| <b>Análisis físico:</b>                   |                        |                     |
| Arena (%)                                 | 55.68                  | 39.68               |
| Limo (%)                                  | 17.28                  | 11.28               |
| Arcilla (%)                               | 27.04                  | 49.04               |
| Clase textural                            | Franco arcillo arenoso | Arcilloso           |
| <b>Análisis químico:</b>                  |                        |                     |
| pH ( 1:1) en agua                         | 4.58                   | 4.44                |
| CO <sub>3</sub> Ca (%)                    | 0.00                   | 0.00                |
| M.O. (%)                                  | 4.30                   | 3.76                |
| N total (%)                               | 0.19                   | 0.17                |
| Fósforo disponible (ppm)                  | 9.83                   | 7.72                |
| K <sub>2</sub> O disponible (kg/ha)       | 390.89                 | 400.17              |
| Ca cambiable (cmol <sup>(+)</sup> .kg/ha) | 3.91                   | 4.05                |
| Mg cambiable (cmol <sup>(+)</sup> .kg/ha) | 1.13                   | 1.13                |
| Al cambiable (cmol <sup>(+)</sup> .kg/ha) | 1.76                   | 1.09                |
| H cambiable (cmol <sup>(+)</sup> .kg/ha)  | 0.01                   | 0.88                |
| CICe (cmol <sup>(+)</sup> .kg/ha)         | 6.80                   | 7.14                |

**Cuadro 19.** Calificativo de la clase textural del suelo

| Clase textural                | Calificativo                 |
|-------------------------------|------------------------------|
| Arena, arena franca           | Textura gruesa               |
| Franco arenoso                | Textura moderadamente gruesa |
| Franco, franco limoso, limoso | Textura media                |
| Franco arcilloso a arcilloso  | Textura fina                 |

**Fuente:** MANSILLA (2013).

**Cuadro 20.** Calificativo y causas del grado de pH.

| pH          | Calificativo             | Causas  |
|-------------|--------------------------|---|
| > 3.5       | Ultra ácido              | Problemas de toxicidad del (Al <sup>+</sup> ) aluminio, fijación, absorción y baja disponibilidad de P. |
| <3.6 - 4.4> | Extremadamente ácido     |   |
| <4.5 - 5.0> | Muy fuertemente ácido    |   |
| <5.1 - 5.5> | Fuertemente ácido        |   |
| <5.6 - 6.0> | Moderadamente ácido      | xxx   |
| <6.1 - 6.5> | Ligeramente ácido        | xxx   |
| <6.6 - 7.3> | Neutro                   | Alta disponibilidad de nutrientes.  |
| <7.4 - 7.8> | Ligeramente alcalino     | Baja solubilidad de fosfatados.   |
| <7.9 - 8.4> | Moderadamente alcalino   | xxx   |
| <8.5 - 9.0> | Fuertemente alcalino     | Problemas de sodicidad.   |
| > 9.0       | Muy fuertemente alcalino | xxx   |

**Fuente:** MANSILLA (2013).

**Cuadro 21.** Clasificación del nivel de fertilidad de un suelo.

| Parámetros                                     | Nivel de fertilidad |                |                 |
|--|---------------------|----------------|-----------------|
|  | Bajo                | Medio          | Adecuado a alto |
| Textura  | Arenoso, arcilloso  | Fco. arcilloso | Francos         |
| pH   | < 5.0               | < 5.0 - 6.5 >  | < 6.5 - 7.5 >   |
| Materia orgánica (%)                           | <1.0 - 2.0>         | < 2.0 - 3.5 >  | > 3.5           |
| Nitrógeno (%)                                  | < 0.10              | < 0.1 - 0.2 >  | > 0.2           |
| Fosforo (ppm)                                  | < 2.0 - 5.0 >       | < 5.0 - 10.0 > | > 10            |
| Potasio (K <sub>2</sub> OKg Ha <sup>-1</sup> ) | < 150               | < 150 - 300 >  | > 300           |

**Fuente:** OSORNO (2006)

**Cuadro 22.** Contenido de cationes cambiabiles y otras propiedades del suelo  
(Universidad Nacional Agraria La Molina).

| Niveles  | Ca          | Mg          | K             | Na            | CIC         |
|----------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
|          | meq/100 g   |             |               |               |             |
| Muy alto | > 20        | > 8         | > 1.2         | > 2.0         | > 20        |
| Alto     | < 10 - 20 > | < 3 - 8 >   | < 0.6 - 1.2 > | < 0.7 - 2.0 > | < 15 - 20 > |
| Medio    | < 5 - 10 >  | < 1 - 3 >   | < 0.3 - 0.6 > | < 0.3 - 0.7 > | < 10 - 15 > |
| Bajo     | < 2 - 5 >   | < 0.3 - 1 > | < 0.2 - 0.3 > | < 0.1 - 0.3 > | < 5 - 10 >  |
| Muy bajo | < 2         | < 0.3       | < 0.2         | < 0.1         | < 5         |

**Fuente:** ROMERO (1996)

**Cuadro 23.** Contenido en el suelo de materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo (ppm) y potasio disponible (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>)

| Nivel crítico | Cantidad de suelo |           |         |   |
|---------------|-------------------|-----------|---------|---|
|               | M.O (%)           | N (%)     | P (ppm) | K disp. (Kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> ) |
| Bajo          | < 2               | < 0.1     | < 7     | < 300   |
| Medio         | 2 – 4             | 0.1 – 0.2 | 7 – 14  | 300 – 600                                       |
| Alto          | > 4               | > 0.2     | > 14    | > 600   |

Fuente: MANSILLA (2013).

**Cuadro 24.** Contenido químico de las enmiendas encalantes.

| Enmienda    | %     |      |       |       |                   |
|-------------|-------|------|-------|-------|-------------------|
|             | Ca    | Mg   | CaO   | MgO   | CaCO <sub>3</sub> |
| Dolomita    | 21.05 | 9.11 | 29.26 | 15.12 | 90.06             |
| Cal apagada | 61.57 | 6.80 | 85.58 | 11.29 | 181.05            |
| Cal viva    | 59.39 | 6.50 | 82.55 | 10.79 | 174.39            |

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**Cuadro 25.** Contenido químico de las enmiendas encalantes.

|                | Humedad (%) | P (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) |
|----------------|-------------|-------|-----------------------------------|
| Roca fosfórica | 13.24       | 14.34 | 32.84                             |

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**Cuadro 26.** Resultados evaluados cada 15 días, de altura de planta (cm); se muestra en el cuadro el promedio por cada tratamiento.

| Sustrato            | Enmienda          | Trat            | Resultados de las evaluaciones a cada 15 días |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------------------|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                     |                   |                 | 1ra   | 2da  | 3ra  | 4ta  | 5ta  | 6ta  | 7ma  | 8va  | 9na  | 10ma |
| Suelo<br>0 - 20 cm  | Cal<br>hidratada  | T <sub>1</sub>  | 16.7  | 17.4 | 18.2 | 20.7 | 23.6 | 24.9 | 26.3 | 28.4 | 29.5 | 30.8 |
|                     |                   | T <sub>2</sub>  | 17.3  | 18.0 | 19.8 | 22.3 | 24.1 | 26.9 | 27.5 | 28.5 | 29.9 | 32.0 |
|                     |                   | T <sub>3</sub>  | 16.2  | 17.5 | 20.8 | 23.8 | 24.9 | 26.1 | 27.6 | 28.4 | 29.8 | 31.4 |
|                     |                   | T <sub>4</sub>  | 14.4  | 16.4 | 18.9 | 22.5 | 24.1 | 25.9 | 26.4 | 27.8 | 29.6 | 31.9 |
|                     | Roca<br>fosfórica | T <sub>5</sub>  | 14.4  | 15.9 | 17.1 | 18.9 | 20.1 | 22.3 | 24.5 | 26.3 | 26.8 | 28.4 |
|                     |                   | T <sub>6</sub>  | 13.3  | 15.2 | 16.8 | 18.9 | 21.3 | 23.5 | 24.9 | 26.5 | 28.0 | 29.1 |
|                     |                   | T <sub>7</sub>  | 16.0  | 17.3 | 19.5 | 23.1 | 24.2 | 25.1 | 27.1 | 28.1 | 29.1 | 30.0 |
|                     |                   | T <sub>8</sub>  | 13.8  | 15.0 | 16.8 | 20.8 | 22.1 | 24.7 | 25.3 | 26.3 | 27.8 | 30.4 |
|                     | Dolomita          | T <sub>9</sub>  | 13.1  | 14.5 | 16.7 | 18.5 | 20.7 | 22.5 | 25.5 | 27.5 | 28.8 | 30.8 |
|                     |                   | T <sub>10</sub> | 13.5  | 16.8 | 18.1 | 20.0 | 22.3 | 24.9 | 26.1 | 27.8 | 28.5 | 30.9 |
|                     |                   | T <sub>11</sub> | 15.4  | 16.8 | 20.0 | 23.4 | 24.7 | 25.6 | 27.4 | 28.5 | 29.4 | 30.5 |
|                     |                   | T <sub>12</sub> | 14.0  | 16.1 | 17.5 | 21.0 | 23.8 | 25.0 | 26.0 | 27.1 | 28.0 | 28.7 |
| Suelo<br>20 - 40 cm | Cal<br>hidratada  | T <sub>13</sub> | 14.9  | 18.5 | 19.8 | 23.0 | 23.8 | 24.9 | 25.0 | 25.4 | 25.8 | 26.4 |
|                     |                   | T <sub>14</sub> | 14.7  | 16.6 | 18.6 | 19.0 | 19.5 | 20.1 | 21.5 | 22.3 | 22.7 | 25.9 |
|                     |                   | T <sub>15</sub> | 15.0  | 17.8 | 19.5 | 21.0 | 22.1 | 22.9 | 24.4 | 26.0 | 26.8 | 27.5 |
|                     |                   | T <sub>16</sub> | 14.8  | 16.7 | 18.7 | 19.5 | 20.5 | 22.4 | 22.9 | 24.6 | 25.2 | 26.9 |
|                     | Roca<br>fosfórica | T <sub>17</sub> | 16.8  | 17.5 | 18.2 | 20.0 | 20.9 | 21.6 | 22.7 | 23.9 | 24.7 | 25.4 |
|                     |                   | T <sub>18</sub> | 15.5  | 16.8 | 18.0 | 20.0 | 20.9 | 22.1 | 23.3 | 24.6 | 25.0 | 25.8 |
|                     |                   | T <sub>19</sub> | 16.5  | 17.4 | 18.7 | 20.9 | 21.6 | 22.5 | 23.7 | 24.1 | 24.4 | 25.2 |
|                     |                   | T <sub>20</sub> | 15.0  | 16.1 | 17.4 | 19.5 | 20.3 | 21.4 | 22.2 | 23.7 | 24.1 | 24.7 |
|                     | Dolomita          | T <sub>21</sub> | 15.6  | 16.9 | 18.7 | 19.8 | 20.1 | 21.7 | 23.0 | 24.8 | 25.5 | 26.0 |
|                     |                   | T <sub>22</sub> | 14.9  | 17.3 | 18.4 | 19.9 | 20.8 | 21.5 | 22.8 | 24.0 | 24.9 | 25.3 |
|                     |                   | T <sub>23</sub> | 15.3  | 17.5 | 18.9 | 20.8 | 21.6 | 22.1 | 23.4 | 24.3 | 25.0 | 25.9 |
|                     |                   | T <sub>24</sub> | 14.8  | 16.4 | 17.7 | 19.8 | 20.2 | 20.9 | 21.6 | 22.1 | 22.8 | 23.5 |
| Suelo<br>0 - 20 cm  | Tes 1             | 13.0            | 15.8  | 18.4 | 19.5 | 19.8 | 20.1 | 20.5 | 21.4 | 22.0 | 22.7 |      |
| Suelo<br>20 -40 cm  | Tes 2             | 11.8            | 14.6  | 16.8 | 17.1 | 17.5 | 18.7 | 19.2 | 19.7 | 20.2 | 20.8 |      |

**Cuadro 27.** Resultados de altura de planta (cm), a los 150 días.

| Tratamientos    |  | Repeticiones   |                |                |                |      |
|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Clave           | Descripción                            | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Prom |
| T <sub>1</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 0.5 X  | 28.,8          | 30.8           | 29.2           | 30.1           | 29.6 |
| T <sub>2</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 1.0 X  | 28.3           | 29.5           | 30.5           | 29.4           | 29.4 |
| T <sub>3</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 2.0 X  | 27.8           | 29.5           | 28.4           | 29.6           | 28.8 |
| T <sub>4</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 4.0 X  | 28.3           | 29.7           | 30.4           | 29.4           | 29.5 |
| T <sub>5</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 0.5 X           | 26.9           | 27.8           | 28.1           | 27.1           | 27.5 |
| T <sub>6</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 1.0 X           | 27.1           | 28.4           | 26.8           | 29.2           | 27.9 |
| T <sub>7</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 2.0 X           | 27.5           | 29.8           | 28.4           | 29.0           | 28.7 |
| T <sub>8</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 4.0 X           | 28.2           | 29.3           | 28.5           | 27.9           | 28.5 |
| T <sub>9</sub>  | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 0.5 X       | 26.4           | 27.5           | 29.2           | 28.2           | 27.8 |
| T <sub>10</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 1.0 X       | 27.8           | 28.9           | 30.1           | 28.2           | 28.8 |
| T <sub>11</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 2.0 X       | 28.2           | 27.6           | 29.4           | 28.3           | 28.4 |
| T <sub>12</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 4.0 X       | 26.8           | 27.5           | 28.2           | 27.3           | 27.5 |
| T <sub>13</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 0.5 X | 25.2           | 24.6           | 23.8           | 24.1           | 24.4 |
| T <sub>14</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 1.0 X | 24.3           | 23.1           | 24.1           | 23.5           | 23.8 |
| T <sub>15</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 2.0 X | 24.5           | 25.8           | 26.1           | 25.4           | 25.5 |
| T <sub>16</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 4.0 X | 23.9           | 24.5           | 25.3           | 24.7           | 24.6 |
| T <sub>17</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 0.5 X          | 23.7           | 24.8           | 23.1           | 24.2           | 24.0 |
| T <sub>18</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 1.0 X          | 24.2           | 25.3           | 24.3           | 24.7           | 24.6 |
| T <sub>19</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 2.0 X          | 22.9           | 23.8           | 24.5           | 23.9           | 23.8 |
| T <sub>20</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 4.0 X          | 23.1           | 24.2           | 22.8           | 23.5           | 23.4 |
| T <sub>21</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 0.5 X      | 23.7           | 24.5           | 25.1           | 24.8           | 24.5 |
| T <sub>22</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 1.0 X      | 23.5           | 24.6           | 22.9           | 24.3           | 23.8 |
| T <sub>23</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 2.0 X      | 23.9           | 24.9           | 25.1           | 24.7           | 24.7 |
| T <sub>24</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 4.0 X      | 22.1           | 23.2           | 22.4           | 23.1           | 22.7 |
| Test. 1         | Suelo 0 – 20 cm                        | 21.9           | 22.8           | 23.1           | 22.9           | 22.7 |
| Test. 2         | Suelo 20 – 40 cm                       | 20.8           | 19.9           | 20.7           | 21.6           | 20.8 |

**Cuadro 28.** Resultados de diámetro de tallo (mm), a los 150 días.

| Tratamientos    |  | Repeticiones   |                |                |                |      |
|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Clave           | Descripción                            | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Prom |
| T <sub>1</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 0.5 X  | 6.5            | 6.1            | 6.3            | 6.3            | 6.3  |
| T <sub>2</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 1.0 X  | 6.2            | 5.8            | 6.3            | 6.0            | 6.1  |
| T <sub>3</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 2.0 X  | 5.9            | 5.6            | 6.2            | 6.1            | 6.0  |
| T <sub>4</sub>  | Suelo 0-20 cm + Cal hidratada + 4.0 X  | 6.4            | 5.8            | 5.9            | 5.9            | 6.0  |
| T <sub>5</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 0.5 X           | 6.0            | 5.7            | 5.6            | 6.1            | 5.9  |
| T <sub>6</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 1.0 X           | 6.5            | 6.1            | 5.9            | 5.9            | 6.1  |
| T <sub>7</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 2.0 X           | 5.8            | 8.3            | 6.3            | 6.0            | 6.6  |
| T <sub>8</sub>  | Suelo 0-20 cm + Roca + 4.0 X           | 6.2            | 6.0            | 6.3            | 5.8            | 6.1  |
| T <sub>9</sub>  | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 0.5 X       | 6.7            | 6.0            | 5.7            | 5.9            | 6.1  |
| T <sub>10</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 1.0 X       | 6.1            | 6.0            | 5.9            | 5.7            | 5.9  |
| T <sub>11</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 2.0 X       | 6.5            | 5.8            | 6.0            | 5.9            | 6.1  |
| T <sub>12</sub> | Suelo 0-20 cm + Dolomita + 4.0 X       | 6.4            | 6.0            | 6.3            | 6.1            | 6.2  |
| T <sub>13</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 0.5 X | 5.6            | 5.6            | 5.1            | 5.4            | 5.4  |
| T <sub>14</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 1.0 X | 5.5            | 5.3            | 5.2            | 5.3            | 5.3  |
| T <sub>15</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 2.0 X | 5.5            | 5.9            | 5.5            | 5.4            | 5.6  |
| T <sub>16</sub> | Suelo 20-40 cm + Cal hidratada + 4.0 X | 5.9            | 5.2            | 5.4            | 5.7            | 5.6  |
| T <sub>17</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 0.5 X          | 6.0            | 5.6            | 6.2            | 5.5            | 5.8  |
| T <sub>18</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 1.0 X          | 6.1            | 5.8            | 5.6            | 5.9            | 5.9  |
| T <sub>19</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 2.0 X          | 5.5            | 6.1            | 5.7            | 5.9            | 5.8  |
| T <sub>20</sub> | Suelo 20-40 cm + Roca + 4.0 X          | 5.6            | 5.5            | 5.7            | 5.9            | 5.7  |
| T <sub>21</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 0.5 X      | 5.2            | 5.9            | 5.4            | 6.6            | 5.8  |
| T <sub>22</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 1.0 X      | 5.4            | 6.0            | 6.2            | 5.7            | 5.8  |
| T <sub>23</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 2.0 X      | 6.0            | 5.5            | 6.1            | 5.1            | 5.7  |
| T <sub>24</sub> | Suelo 20-40 cm + Dolomita + 4.0 X      | 5.4            | 5.6            | 5.9            | 6.1            | 5.8  |
| Test. 1         | Suelo 0 – 20 cm                        | 4.9            | 5.0            | 4.6            | 5.2            | 4.9  |
| Test. 2         | Suelo 20 – 40 cm                       | 4.7            | 4.2            | 4.6            | 4.5            | 4.5  |

**Cuadro 29.** Resultados de las evaluaciones de área foliar ( $\text{cm}^2$ ), materia seca (g), y volumen radículas ( $\text{mm}^3$ ), a los 150 días.

| Sustratos        | Enmiendas      | Trat.           | Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) | Materia seca (g) | Volumen radicular ( $\text{mm}^3$ ) |       |
|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------|
| Suelo 0 - 20 cm  | Cal hidratada  | T <sub>1</sub>  | 5.49                          | 6.88             | 20.92                               |       |
|                  |                | T <sub>2</sub>  | 5.23                          | 6.40             | 19.42                               |       |
|                  |                | T <sub>3</sub>  | 5.42                          | 6.36             | 16.75                               |       |
|                  |                | T <sub>4</sub>  | 3.79                          | 5.72             | 17.25                               |       |
|                  | Roca fosfórica | T <sub>5</sub>  | 4.12                          | 5.62             | 19.42                               |       |
|                  |                | T <sub>6</sub>  | 3.85                          | 5.50             | 17.83                               |       |
|                  |                | T <sub>7</sub>  | 3.31                          | 5.25             | 15.75                               |       |
|                  |                | T <sub>8</sub>  | 3.38                          | 5.26             | 17.33                               |       |
|                  |                | Dolomita        | T <sub>9</sub>                | 3.50             | 5.65                                | 14.67 |
|                  |                |                 | T <sub>10</sub>               | 4.11             | 5.41                                | 14.83 |
|                  |                |                 | T <sub>11</sub>               | 4.89             | 5.90                                | 15.50 |
|                  |                |                 | T <sub>12</sub>               | 2.49             | 4.67                                | 12.67 |
| Suelo 20 - 40 cm | Cal hidratada  | T <sub>13</sub> | 2.60                          | 3.38             | 10.96                               |       |
|                  |                | T <sub>14</sub> | 2.75                          | 3.45             | 11.88                               |       |
|                  |                | T <sub>15</sub> | 3.11                          | 4.18             | 12.17                               |       |
|                  |                | T <sub>16</sub> | 2.28                          | 3.80             | 10.21                               |       |
|                  | Roca fosfórica | T <sub>17</sub> | 3.15                          | 4.77             | 12.92                               |       |
|                  |                | T <sub>18</sub> | 2.50                          | 4.07             | 11.44                               |       |
|                  |                | T <sub>19</sub> | 2.91                          | 4.17             | 12.42                               |       |
|                  |                | T <sub>20</sub> | 2.16                          | 3.61             | 10.29                               |       |
|                  | Dolomita       | T <sub>21</sub> | 2.73                          | 3.91             | 9.79                                |       |
|                  |                | T <sub>22</sub> | 3.43                          | 4.53             | 11.42                               |       |
|                  |                | T <sub>23</sub> | 2.59                          | 4.01             | 11.00                               |       |
|                  |                | T <sub>24</sub> | 2.11                          | 3.54             | 9.00                                |       |
| Suelo 0 - 20 cm  |                | Tes 1           | 2.00                          | 2.69             | 12.25                               |       |
| Suelo 20 -40 cm  |                | Tes 2           | 1.11                          | 1.67             | 7.67                                |       |



Figura 23. Mapa de ubicación geográfica de la ejecución del experimento.



**Figura 24.** Obtención de los sustratos para el vivero de cacao.



**Figura 25.** Separando los dos sustratos “suelo 0 a 20 y 20 a 40 cm”.



**Figura 26.** Los dos sustratos “suelo 0 a 20 y 20 a 40 cm”, secados y separados para su análisis en el Laboratorio de Suelos de la UNAS.



**Figura 27.** Calería “José Luis”, sector Cueva de Las Pavas, Tingo María.



**Figura 28.** Horno de la Calería “José Luis”, sector Cueva de Las Pavas, Tingo María, donde se produce la cal mediante el quemado de la piedra caliza.



**Figura 29.** Empaquetado de la cal hidratada para su comercio.



**Figura 30.** Cantera de dolomita en Tambillo Grande, administrado por el señor Tafur.



**Figura 31.** Planta de proceso de dolomita, administrado por el señor José Tafur, en el sector Quezada, llenado en sacos para su comercio.



**Figura 32.** Cantera de la roca fosfórica.



**Figura 33.** Llenado en sacos de la roca fosfórica para su comercio.



**Figura 34.** Remoción del mucílago de las semillas de cacao.



**Figura 35.** Siembra de las semillas de cacao en las bolsas en vivero.



**Figura 36.** Las plantas de cacao en pleno desarrollo en vivero.



**Figura 37.** Visita de los miembros de jurado de tesis al lugar del experimento.