

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



**APLICACION DE CARBONATO DE CALCIO AL SUELO, EN
PLANTACIONES DE *Guazuma crinita* (BOLAINA BLANCA) EN LA
CUENCA DEL RIO SUNGARO - PUERTO INCA**

Tesis

Para optar el título de:

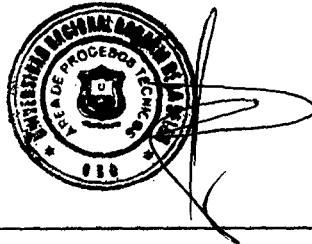
**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTAL**

OSCAR ROBERTO MARQUEZ TELLO

PROMOCIÓN 2007 - II

Tingo María – Perú

2015



**T
FOR**

MARQUEZ TELLO, Oscar Roberto

Aplicación de Carbonato de Calcio al Suelo, en Plantaciones de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca) en la Cuenca del Rio Sungaro - Puerto Inca

91 páginas; 34 Figuras; 43 Cuadros; 42 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

**1. PLANTACIONES 2. GUAZUMA CRINITA 3. TRATAMIENTO
4. CARBONATO DE CALCIO 5. DESARROLLO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de noviembre de 2015, a horas 12:00 m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

“APLICACION DE CARBONATO DE CALCIO AL SUELO, EN PLANTACIONES DE *Guazuma crinita* (BOLAINA BLANCA) EN LA CUENCA DEL RIO SUNGARO - PUERTO INCA”

Presentado por el Bachiller: **OSCAR ROBERTO MARQUEZ TELLO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, Mención: **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 16 de diciembre de 2015.

Dra. TANIA E. GUERRERO VEJARANO
PRESIDENTE



ING. MANUEL R. BRAVO MORALES
VOCAL

Ing. RAÚL ARAUJO TORRES
VOCAL

Ing. EDILBERTO DÍAZ QUINTANA
ASESOR

DEDICATORIA

A mi Dios y su hijo Jesucristo, por su amor, paciencia y misericordia mostrada hacia mi persona y familia.

A mis queridos y amados padres, por su apoyo y amor incondicional, fuente de inspiración de cada día que me ayudaron a cumplir mi más ansiada meta.

A mis queridos hermanos y amigos, por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Características de bolaina blanca	3
2.1.1. Descripción taxonómica	3
2.1.2. Descripción ecológica y dendrológica.....	4
2.1.3. Distribución geográfica	4
2.1.4. Silvicultura	5
2.2. Plantaciones de bolaina blanca.....	6
2.2.1. Requerimientos de suelo	6
2.2.2. Crecimiento de bolaina blanca	8
2.3. Nutrientes en el suelo y el Ph.....	13
2.3.1. Los macro nutrientes	13
2.3.2. Los micro nutrientes	20
2.3.3. Efectos del pH en el suelo en los macro y micro nutrientes	24
2.4. Encalado y propiedades del suelo	26
2.4.1. Encalado y propiedades químicas y físicas del suelo	27
2.4.2. Encalado y propiedades biológicas del suelo	30
2.5. Calcio y fertilización forestal.....	31
2.5.1. Síntomas de deficiencia de calcio.....	31
2.5.2. Requerimiento de calcio en plantaciones forestales	33

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, "Alma Mater" de mi formación profesional, que en sus aulas me formaron académicamente.
- A los ingenieros docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes impartieron sus excelentes conocimientos para mi formación profesional.
- Al Ing. Edilberto Díaz Q. por su valiosa colaboración y orientación en la redacción del presente trabajo de investigación como mi asesor.
- Al Ing. M.Sc. Casiano A. Escalante por compartir sus experiencias y brindarme la oportunidad de participar en trabajos de investigación que consolidaron mi formación profesional.
- A Sr. Ing. Carlos Cora P. ingeniero residente de Consorcio Agroforestal SAC por la oportunidad y confianza depositada a mi persona para desarrollar el presente trabajo.
- Al personal técnico y trabajadores de Consorcio Agroforestal SAC mi más sinceros agradecimientos por brindarme todo el apoyo y facilidades durante la ejecución del trabajo de campo.
- A mis amigos: David Quispe, Oscar del Águila, Mayra Moncada, Omar abundo, Beker Salcedo, Deivis Peña, Arnold Peña, y todos mis compañeros por compartir conmigo inolvidables momentos al compartir nuestras inquietudes, dudas, alegrías y tristezas durante nuestra vida en las aulas universitarias.

2.6. Métodos para determinar requerimiento de Ca^{2+} en el suelo	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Descripción del área de investigación	37
3.1.1. Ubicación	37
3.1.2. Condiciones climáticas	37
3.1.3. Ecología	39
3.1.4. Fisiografía y suelo	39
3.1.5. Vías de acceso	40
3.2. Materiales	41
3.2.1. Material genético	41
3.2.2. Materiales y equipos	41
3.2.3. Insumos.....	41
3.3. Metodología	41
3.3.1. Pre-instalación.....	42
3.3.2. Instalación del experimento	44
3.3.3. Evaluación del experimento	48
IV. RESULTADOS.....	51
4.1. Efecto de la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3 -) sobre altura de planta y diámetro de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.	51
4.1.1. Efecto en altura total de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	51
4.1.2. Efecto en diámetro de planta de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	55
4.2. Efecto del encalado sobre altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	59

4.2.1.	Efecto sobre altura de copa de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	59
4.2.2.	Efecto sobre diámetro de copa en <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	63
4.2.3.	Efecto sobre número de ramas vivas	68
4.3.	Efecto del encalado con CaCO_3 - sobre propiedades físicas y químicas del suelo en plantación de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	72
4.3.1.	Efecto en propiedades físicas.....	72
4.3.2.	Efecto en propiedades químicas.....	74
V.	DISCUSIÓN.....	79
5.1.	Crecimiento de diámetro y altura de <i>Guazuma crinita</i> Martius	79
5.2.	Del efecto de la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3 -) sobre altura de copa, diámetro copa y número de ramas vivas de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	82
5.3.	Del efecto del encalado con CaCO_3 - en las propiedades físicas y químicas del suelo a 9 meses de evaluación en plantación de <i>Guazuma crinita</i> C Martius	85
VI.	CONCLUSIONES	89
VII.	RECOMENDACIONES	90
VIII.	ABSTRACT	91
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	ANEXO	98

INDICE DE CUADRO

Cuadro	Pág.
1. Crecimiento de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius en Tingo María.	10
2. Tasas de crecimiento promedio de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius. en localidades de la cuenca del río Aguaytía.	12
3. Crecimiento de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius a campo abierto con densidad de 400 árboles/ha, suelo gleysol, relieve plano en Neshuya - Pucallpa.	12
4. Niveles críticos de macro nutrientes en el suelo.	19
5. Elementos esenciales para las plantas y su forma disponible.	22
6. Niveles críticos de micro nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , y S^{+2} , S^{+4} , S^{+6} en el suelo.	22
7. Niveles de micro nutrientes S^{+2} , Zn^{2+} , Cu^{+1} y B^{+3} en el suelo.	23
8. Niveles críticos cationes en el suelo.	23
9. Clasificación de la acidez del suelo en función del pH.	25
10. Requerimiento de Ca^{2+} en plantación de <i>Eucalyptus saligna</i> en relación a los macro nutrientes N, P y K^{+}	34
11. Presencia de Ca^{2+} en peso seco de árboles de <i>Eucalyptus grandis</i> a 19 años de edad a densidad de 1010 arbls/ha.	35
12. Ca^{2+} en plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> a 19 años de edad.	35
13. Crecimiento de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius en relación al Ca^{2+} disponible, uso anterior del suelo y textura en la zona de Pucallpa.	36
14. Datos de humedad relativa (H.R) y precipitación (PP) durante los meses de investigación.	38

15. Datos de temperatura mínima, media, máxima y horas sol durante los meses de investigación.....	38
16. Datos de análisis de suelo de calicata en la parcela experimental.	42
17. Análisis de suelo de calicata en parcela experimental.	43
18. Análisis de suelo en los bloques de la parcela experimental.	44
19. Tratamientos evaluados – niveles de calcáreo.	45
20. Modelo del análisis de varianza.	46
21. Característica de la parcela experimental para el encalado.	46
22. Análisis de varianza para altura de planta en <i>G. crinita</i> C. Martius tras 9 meses de aplicación de encalado con CaCO_3	51
23. Promedio de altura de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de dosis de CaCO_3	52
24. Estadística descriptiva para altura de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.	53
25. Análisis de varianza para diámetro de planta en <i>G. crinita</i> C. Martius tras encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.....	55
26. Promedio de diámetro (DAP) de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.	56
27. Estadística descriptiva del diámetro de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.	57
28. Análisis de varianza para altura de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO_3	59
29. Promedio de altura de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de encalado con CaCO_3	60
30. Estadística descriptiva para altura de copa en <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de aplicación de CaCO_3	61

31. Análisis de varianza para diámetro de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius-tras 9 meses de evaluación de encalado con CaCO ₃	63
32. Promedio de diámetro de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de encalado con CaCO ₃	64
33. Estadística descriptiva del diámetro de copa en <i>G. crinita</i> C. Martius como resultado del efecto de encalado con CaCO ₃	65
34. Análisis de varianza para el número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> C. Martius tras 9 meses de encalado con CaCO ₃	68
35. Promedio del número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> C. Martius tras encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	68
36. Estadística descriptiva para número de ramas vivas ven <i>G. crinita</i> C. Martius tras encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	69
37. Resultados de análisis de suelo por bloque a 9 meses de encalado con CaCO ₃ - en parcela experimental.	72
38. Disponibilidad de cationes en el suelo a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO ₃	74
39. Saturación de bases, pH y contenido de materia orgánica en <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efecto de encalado a 9 meses de evaluación.	76
40. Macro nutrientes presentes en el suelo tras encalado con CaCO ₃ -a 9 meses de evaluación en plantación de <i>G. crinita</i> C. Martius.	78
41. Datos de diámetro, altura total de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius dentro por tratamiento en evaluación inicial y final.....	99
42. Datos de altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas en <i>Guazuma crinita</i> C. Martius por tratamiento.....	99
43. Descripción de características edafológicas de la parcela experimental en el fundo Frontón del 29.01.13.	103

INDICE DE FIGURA

Figura	Pág.
1. Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para la plantas, adaptado de (Black, 1975).	26
2. Curva de precipitación y humedad relativa en la zona de trabajo durante los meses de evaluación.	38
3. Curva de temperatura durante los meses de evaluación.....	39
4. Ubicación del fundo Frontón en la provincia de Puerto Inca.....	40
5. Características del área experimental y distribución de tratamientos.	47
6. Altura de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.	52
7. Altura inicial y final de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.	53
8. Relación entre altura total de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius y dosis de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.....	54
9. Diagrama de asimetría de datos para altura de planta en <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.....	54
10. Diámetro de plantas de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.....	56
11. Diámetro inicial y final de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.	57
12. Relación diámetro de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius y dosis de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.	58

13 Diagrama de asimetría de datos del diámetro de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.....	58
14. Altura de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	60
15. Altura inicial y final de copa en <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación bajo encalado con CaCO ₃ -	61
16. Relación de altura de copa y dosis de encalado en plantas de <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de aplicación.....	62
17. Diagrama de asimetría de observaciones para la altura de copa de <i>G.</i> <i>crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.....	62
18. Diámetro de copa en <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	64
19. Diámetro inicial y final de copa en <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses bajo efecto de encalado con CaCO ₃ -	65
20. Relación del diámetro de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius y dosis de encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	66
21. Asimetría de observaciones para diámetro de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	67
22. Número de ramas vivas de <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.	69
23. Número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> C. Martius tras encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.....	70
24. Relación del número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO ₃ - a 9 meses de evaluación.	70

25. Diagrama de asimetría de datos del número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> C. Martius a 9 meses de evaluación.....	71
26. Efecto del encalado en textura del suelo a 9 meses de evaluación.....	73
27. Disponibilidad de cationes en el suelo a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO_3	75
28. Niveles de M.O, pH y saturación de bases bajo efecto de CaCO_3 a 9 meses de evaluación en plantación de <i>G. crinita</i> C. Martius.	77
29. Disponibilidad macro nutrientes N, P y K^+ bajo efecto de encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.	78
30. Apertura de calicata para muestreo de suelo en el área experimental fundo Frontón.	100
31. Estado inicial de la unidad experimental antes de instalación del experimento a 1 año de edad.	100
32. Estado de unidad experimental bajo efecto de T2 (2000 tn/ha) de CaCO_3 a 1 año y 9 meses de edad.....	101
33. Estado de copa de parcela experimental bajo efecto de encalado CaCO_3 a 1 año y 5 meses de edad.....	101
34. Estado de copa unidad de experimental bajo efecto de T2 (2000 tn/ha) de CaCO_3 a 1 año y 5 meses de edad.....	102

RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló de marzo a noviembre del 2013, geográficamente el área se ubicó en los 09°16' 32" de latitud sur y 67° 11' 08" de longitud oeste, y a una altitud promedio de 250 msnm. El propósito del estudio fue determinar el efecto de la aplicación de CaCO_3 - en el suelo para el desarrollo de plantaciones de *G. Crinita*. Para ello de un total de 154.96 ha de plantación con edades de 1-5 años. Se seleccionó un rodal de 1 año de edad en una parcela de 4.08 ha la misma que presentó una densidad de 3x3 m: a razón de 1111 árb/ha. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 repeticiones (bloques), donde se evaluó tres tratamientos (dosis) de CaCO_3 - T₁ (1000 Kg/ha), T₂ (2000 Kg/ha), T₃ (3000 Kg/ha) y un testigo (sin encalado). Los resultados indicaron que una alta disponibilidad de carbonato de calcio en el suelo por efecto del encalado con 2000 Kg/ha de CaCO_3 - determina mayor incremento en altura y diámetro. Así mismo, se evidenció que mediante la aplicación de CaCO_3 - a razón de 2000 Kg/ha determina una mayor altura de copa al mejorar las condiciones de regulación hídrica en plantas, también se observó que una alta disponibilidad de carbonato de calcio en el suelo no determina efecto significativo sobre el diámetro de copa pero si logra mantener mayor número de ramas vivas solo en comparación con el testigo. Finalmente la aplicación de CaCO_3 - a razón de 2000 Kg/ha produce mejoras físicas y químicas en las propiedades de suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Estudios realizados sobre calidad de sitio para plantaciones en la provincia de Padre Abad, y Coronel Portillo ha generado conocimientos iniciales sobre el comportamiento de *Guazuma crinita* C. Marthius (bolaina blanca) frente a las características químicas y físicas del suelo. En particular sobre la alta necesidad de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) que esta especie suele necesitar. Se ha reportado que en suelos con prominentes cantidades de estos elementos la especie demuestra un desarrollo superior (CORNELIUS, 2004). Correlaciones señalan también que esta especie es sensible altas concentraciones aluminio (Al^{3+}) en el suelo, mostrando una alta variabilidad de desarrollo en función a este elemento (ARA, 1999). En suma, altas concentraciones de Al^{3+} y bajos niveles acides del suelo, determinan condiciones negativas para el desarrollo de plantaciones de bolaina blanca.

En la región amazónica de nuestro país, y en especial en la provincia Puerto Inca, donde predominan los suelos tropicales con elevada saturación de Al^{3+} y de reacción acida, connota principal interés el lograr comprender las interacciones químicas, físicas y biológicas que puedan ser mejoradas mediante la aplicación de (CaCO_3 -). En este escenario, moderar el pH, incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), acelerar el proceso de mineralización

de materia orgánica y aumentar las bases cambiables puede significar respuesta favorecedora de incorporación de CaCO_3 al suelo.

Los resultados del trabajo permite aclarar conocimientos sobre los efectos de la aplicación de CaCO_3 en el suelo en condiciones de plantaciones de bolaina blanca, bajo este propósito se trabajó los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de carbonato de calcio (CaCO_3) en el crecimiento en altura total y DAP de *Guazuma crinita* C. Marthius.
- Evaluar el efecto de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas de *Guazuma crinita* C. Marthius.
- Determinar el efecto de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de bolaina blanca

2.1.1. Descripción taxonómica

Según CRONQUIST (1988) bolaina tiene la siguiente taxonomía:

Reino	:	VEGETAL.
División	:	MAGNOLIOPHYTA.
Subdivisión	:	ANGIOSPERMA.
Clase	:	MAGNOLIOPSIDA.
Subclase	:	DIAPÉTALAS.
Orden	:	Malvales.
Familia	:	Sterculaceae.
Género	:	<i>Guazuma</i> spp.
Especie	:	<i>Guazuma crinita</i> C. Martius.
Sinonimia	:	<i>Guazuma rosea</i> Poeppig. <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. <i>Bubroma crinitum</i> (Martius) Steud.
Nombre internacional:		Bolaina blanca.
Nombre común	:	Bolaina, bolaina blanca.

2.1.2. Descripción ecológica y dendrológica

En la cuenca del río Sungaro *Guazuma crinita* C. Martius abunda en purmales. Esta especie se asocia muy bien con "topa" *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urban y "atadijo" *Trema micrantha* (L.) Blume. En trabajos realizados por REYNEL *et al.* (2003) señalan que ecológicamente bolaina blanca se presenta en bosques secundarios (purmas), en sucesión de bosques, de naturaleza pionera. Bolaina blanca puede formar rodales muy puros y coetáneos en bosques secundarios y en parcelas de reciente abandono de la actividad agrícola, específicamente después de ser sometidas al ciclo de tumba y quema, siendo menos abundante en suelos de pastura (ICRAF, 2005). En cuanto a condiciones de micro sitio, la especie prefiere zonas planas. El árbol maduro puede alcanzar 25-80 cm de diámetro y 15-30 m de altura total, con fuste cilíndrico, de ramificación en el tercer tercio y buena auto poda, con base del fuste recta, corteza externa lisa a finamente agrietada color marrón claro a grisáceo y corteza interna fibrosa. Las hojas son simples, alternas y dísticas. Inflorescencias panículas axilares de unos 8-12 x 3-6 cm con muchas flores. Flores pequeñas, de 8-12 mm de longitud, hermafroditas. Frutos cápsulas globosas de unos 4-8 mm de diámetro con la superficie densamente cubierta de pelos largos.

2.1.3. Distribución geográfica

Bolaina blanca se distribuye en el neo trópico desde América Central hasta la región Amazónica, llegando al sur de Brasil y Bolivia. Puede encontrarse hasta los 1000 a 1500 m.s.n.m. Abundante en la amazonia peruana, presente en

ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. En Perú se encuentra en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali. La especie existe en bajas cantidades en la Amazonía central y en cantidades medias en la amazonia sur del Perú (INIA, 1999; REYNEL *et al.*, 2003; WIGHTMAN *et al.*, 2006).

2.1.4. Silvicultura

En trabajos de silvicultura, bolaina blanca ha demostrado que a pesar de su agresiva regeneración y su amplia distribución, la especie requiere condiciones muy específicas para demostrar todo su potencial de crecimiento (EGOAVIL y CHAVEZ, 1991). En mérito a trabajos en esta especie, PALOMINO y BARRA (2003) refieren que es posible utilizar diferentes sistemas silvícolas para bolaina blanca, tales como a campo abierto, fajas de enriquecimiento, en agroforestería, silvopastura y responde muy bien al manejo de regeneración natural. Gracias a trabajos desarrollados en plantaciones puras se ha podido determinar que el número de árboles por hectárea juega un papel importante en la productividad por superficie. De acuerdo a investigación de WIGHTMAN *et al.* (2006), la densidad de plantación, va normalmente de 2.5 x 2.5 m hasta 3 x 3 m. Por su rápido crecimiento esta especie es raleada a edad temprana. Si el sitio de la plantación es bueno, el primer raleo debe hacerse a los 3 años de edad o incluso antes, de ahí en adelante se recomienda monitorear cuidadosamente la plantación para hacer a tiempo los siguientes raleos. En general, experiencias demuestran que debe ralearse la bolaina blanca cada 1 o 3 años, hasta llegar a

una densidad equivalente a 300-450 árboles por hectárea para su aprovechamiento final a los 8 o 10 años de edad cuando la madera ya se encuentra madura y compacta (INIA, 2006).

2.2. Plantaciones de bolaina blanca

Se ha reportado que la supervivencia de esta especie en plantaciones suele ser alta en el valle de Chanchamayo a una altitud de 900 m.s.n.m con 2010 mm precipitación total anual (REYNEL *et al.*, 2003). En otro estudio DE LA CRUZ (1999) afirma que en una experiencia agroforestal en el Huallaga Central se observó un porcentaje del 88.20% de supervivencia de bolaina blanca en campo definitivo asociado con el cultivo de "cocona" *Solanum sessiflorum* al primer año de evaluación. Por su parte, WIGHTMAN *et al.* (2006) manifiestan que se han hecho plantaciones exitosas, aunque en pequeña escala, en la Selva Central (Chanchamayo) y en la Selva Baja (en Ucayali). Respecto a estadísticas, no existen reportes oficiales en cuanto a la superficie de plantaciones de bolaina blanca en el Perú. Se estima por fuentes extraoficiales que actualmente el Puerto Inca se tiene una extensión de 2500 has. Reforestadas con capital privado, y alrededor de 200 ha reforestadas por diferentes programas del gobierno regional y otros entes de cooperación en la provincia de Puerto Inca para el año 2013.

2.2.1. Requerimientos de suelo

Naturalmente bolaina blanca suele presentarse en suelos limosos a arenosos, muchas veces de escasa fertilidad, a veces pedregosos; no tolera el

anegamiento, sobre todo cuando es una plántula (REYNEL *et al.*, 2003). En Ucayali, las mejores plantaciones han estado en zonas aluviales o de alta precipitación y en suelos que van de franco-arcillosos a arcillosos. En estos sitios, los árboles han alcanzado alturas de 10 metros a los 4 años después de instalados (WIGHTMAN *et al.*, 2006).

PALOMINO y BARRA (2003) observaron en la zona de selva central (Oxapampa) propiedades óptimas de sitio para bolaina blanca siendo como sigue: pH de 5-6 (moderadamente ácido), textura del suelo media a fina (de franco arenoso a arcilloso), drenaje del suelo moderado a bueno y tipo profundo. Así mismo los autores mencionan que la especie se desarrolla en diferentes tipos de suelo, entre ellos el Ultisol, Entisol e Inceptisol. En otro estudio, ARA (1999) evaluó el vigor de establecimiento de bolaina blanca en suelos degradados, el autor sostiene que Ca^{2+} , y posiblemente Al y P, son los componentes de fertilidad que mejor explican la variabilidad en altura de planta de la especie a un año del trasplante, sin embargo los bajos coeficientes de determinación de estos componentes, individuales o combinados, indicaron que otros factores ambientales y genéticos están también en juego. Por su parte WIGHTMAN *et al.* (2006), sostienen que bolaina blanca crece bien en sitios fértiles, de suelos francos, franco-arcillosos o arcillosos y que la presencia de bolaina natural bien desarrollada es un buen indicador de un sitio apto para la plantación de esta especie. Los autores también señalan que en zonas de suelos arenosos y ácidos (zona cercana a Campo Verde, en Ucayali) algunas plantaciones no han tenido un desarrollo adecuado.

2.2.2. Crecimiento de bolaina blanca

RECAVARREN (2009) trabajando con humus de lombriz, reporta que con 30% de tierra agrícola y 70% de humus la bolaina alcanza 66.0 cm de altura con 7.12 mm de diámetro y 22 hojas promedio por planta después del quinto mes de evaluación. En otro trabajo similar, MANAYALLE (1995) encontró mayor desarrollo en altura y diámetro para la especie con 15% de humus de lombriz e infección de micorrizas tipo *Scetellospora creterogama*.

ARA (1999) halló en Pucallpa que el vigor de establecimiento de bolaina blanca está relacionado a la fertilidad del suelo, encontrando alta variabilidad en el crecimiento diamétrico de bolaina blanca con la disposición de nutrientes y las propiedades físicas del suelo.

SANCHEZ (1995) investigó la respuesta a la fertilización química y orgánica al establecimiento de bolaina blanca, los tratamientos estudiados por el autor fueron 5, un control absoluto, y tratamientos que recibieron dosis de fertilización orgánica (2 y 4 kg de humus de lombriz/planta), mientras que los tratamientos con fertilizantes químicos a dos niveles fueron: 150-50-50 kg/ha y 225-75-75 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O respectivamente. La especie presentó una alta respuesta significativa a la fertilización química alcanzando promedios de altura de 126,31cm y 129 cm en los tratamientos a doce meses después del trasplante, mientras que los tratamientos con abono orgánico alcanzaron alturas promedios de 84.3 cm y 79.8 cm respectivamente para el mismo período de tiempo. Similar respuesta se estableció para diámetro de planta. Los resultados encontrados mostraron una fuerte respuesta en el establecimiento y crecimiento, tanto en

altura como en diámetro de planta, a la fertilización química. La dosis óptima de fertilizante NPK recomendada por el autor fue de 150-50-50 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O por presentar incrementos de igual magnitud en el crecimiento de las plantas de bolaina.

REYNEL *et al.* (2003) informan que plantaciones de bolaina alcanzan 25-30 cm de diámetro y 12-15 m de altura a los 5 años. En otra publicación, Sotelo *et al.* (1999), citado por REYNEL *et al.* (2003) señalan que en un ensayo efectuado para esta especie con semillas de diferentes procedencias en la amazonia peruana, éstas lograron un promedio de 2.0-2.3 m de altura a los 6 meses y 4.9-5.7 m al año de edad.

PALOMINO y BARRA (2003) sostienen que el crecimiento medio anual de bolaina blanca es 3.5 m en altura y 5.5 cm en diámetro, con un volumen 0.3725 m³/ha para una plantación de 8 años de edad a una densidad de siembra de 5 x 5 m y bajo un sistema de siembra a campo abierto en la provincia de Oxapampa.

DE LA CRUZ (1999) reporta que bolaina blanca alcanza en promedio 2.5 m de altura al año y medio en suelo arcilloso ligeramente ácido, resultado obtenido en experiencias del trabajo realizado por el Comité de Reforestación del Huallaga Central en Tingo María.

VILLA CHICA *et al.* (1993), con el fin de determinar sistemas agroforestales para establecer plantaciones con especies maderables evaluaron el crecimiento a los dos años del trasplante de bolaina blanca, encontrando

resultados entre 1.44 y 2.93 m de altura para la especie establecida en asociación con yuca, frijol, plátano y piña.

VIDAURRE (1992) sostiene que el crecimiento de bolaina blanca en suelo Gleysol en Pucallpa, alcanza un incremento promedio anual en altura de 2.2 m hasta los 6 años, determinándose una altura promedio de 16.1 m con una máxima de 19.9 m y una mínima de 7.6 m a los 8 años de evaluación.

CREDO (2005) informa que bolaina blanca presenta buenos indicadores del crecimiento para plantones procedentes de vivero con semillas de Pucallpa. El Cuadro 1 muestra la información dasonométrica obtenida en la evaluación de cuatro sectores pertenecientes al ámbito de Tingo María.

Cuadro 1. Crecimiento de *Guazuma crinita* C. Martius en Tingo María.

Variables	Centro poblado					
	Alto Pendencia.	San Cristóbal	Alto Pendencia	San Nicolás		
Edad (años)	4.50	4.50	4.00	9.00	9.00	9.70
Árboles evaluad.	25.00	32.0	81.00	20.0	7.00	44.00
Dap medio(cm.)	15.00	13.80	13.50	1.60	22.10	19.60
IMA medio(cm.)	3.33	3.06	3.38	2.18	2.45	2.03
Vol. medio(m3)	0.11	0.12	0.08	0.313	0.42	0.29
IMA Vol. (m3.)	0.02	0.03	0.02	0.035	0.05	0.03
Altura fuste (m.)	7.70	10.10	8.20	13.9	15.10	12.50
Iluminación				Bueno		
Vigor				Bueno		
Estado sanitario				Bueno		

Fuente: Cámara Nacional Forestal- ITTO. Proyecto-PD 23/00 Rev.4. (2005).

En otras experiencias locales, en Pucallpa, se realizó experimentación para determinar el efecto en la supervivencia, crecimiento, rendimiento y calidad del rodal de *Guazuma crinita* Martius de cuatro densidades de plantación 2000, 1600, 1111 y 625 árboles por ha, durante los tres primeros años. Se concluyó que la densidad inicial de plantación influye significativamente en el crecimiento en altura total, altura comercial altura dominante, así como en la productividad relacionada al área basal por hectárea, volumen por hectárea, pero no influye significativamente en el crecimiento del DAP, área basal por árbol y volumen por árbol. Así mismo los incrementos corrientes anuales (ICA) y los incrementos medios (IMA) del diámetro y de las alturas se interceptan en todas las densidades al tercer año, lo cual muestra la posibilidad de alcanzar el turno económico al tercer año. La mayor área basal/ha y el mayor volumen/ha se consiguen a densidades de 2000 y 1600 árboles, pero los valores de los ICAs del área basal y volumen, así como de la altura total, DAP, área basal por árbol, se reducen drásticamente al pasar del segundo al tercer año. El efecto de las densidades de plantación es notorio en la calidad del rodal plantado, específicamente en la forma de copa, el espaciamiento de 4 x 4 produce un mayor número de árboles con copas defectuosas lo que se traduce en un menor crecimiento en diámetro y altura (CICFOR, 2011). Características parecidas se han observado en los rodales de CAFSAC, pudiendo añadirse que factores como el manejo cultural (desmalezamiento) y fertilización en los primeros 2 años determina el buen desarrollo tanto en altura y diámetro llegando a alcanzar 10-12 metros y diámetros que van de 12-15 centímetros a los 2 años de instalación.

Cuadro 2. Tasas de crecimiento promedio de Guazuma crinita C. Martius en localidades de la cuenca del río Aguaytía.

Plantación (sistema)	Edad (años)	IMA (promedio)		Sitio de estudio	Tipo de suelo
		DAP (cm)	Altura total (m)		
Fajas de 5 m de ancho	3.4	0.97	1.71	V. Humboldt Irazola	Gleysol
Fajas de 10 m de ancho	3.4	2.91	3.29	V. Humboldt Irazola	Gleysol
Fajas de 30 m de ancho	3.4	3.26	4.06	V. Humboldt Irazola	Gleysol
Campo abierto	10.0	2.01	2.70	V. Humboldt Irazola	Gleysol
Campo abierto	6.0	-	2.26	V. Humboldt Irazola	Gleysol
Campo abierto	6.0	-	1.25	V. Humboldt Irazola	Cambisol
Campo abierto	6.0	3.82	3.33	Curimaná/Nueva Requena	Cambisol - Fluvisol

Fuente: ALVAREZ y RIOS (2007).

Cuadro 3. Crecimiento de Guazuma crinita C. Martius a campo abierto con densidad de 400 árboles/ha, suelo gleysol, relieve plano en Neshuya - Pucallpa.

Edad (años)	DAP (cm)	IMA DAP (cm/año)	Altura (m)	Área basal (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)	IMA Vol. (m ³ /ha/año)
1.3	9.50	7.10	8.30	2.90	22.79	10.00
2.3	13.20	5.60	11.80	5.50	40.48	14.90
3.3	16.80	5.00	13.50	8.90	59.50	18.70
4.3	18.80	4.30	16.40	11.10	78.12	21.70
5.3	20.00	3.70	17.30	12.60	110.20	20.70
6.3	20.00	3.10	17.50	12.50	110.20	17.40
7.3	20.70	2.80	18.50	13.40	123.50	16.80
8.3	24.20	2.80	21.29	16.58	148.84	16.95
10.0	27.20	2.60	24.02	19.51	178.63	17.12
11.6	30.20	2.30	26.75	22.43	208.41	17.24

Fuente: INIA (2006).

2.3. Nutrientes en el suelo y el Ph

2.3.1. Los macro nutrientes

Los denominados macro nutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que la planta requiere en grandes cantidades generalmente se encuentran en pocas proporciones en el suelo tropical (DODERA Y PERDOMO, 1992). De manera general se conoce que, el N promueve un crecimiento rápido con mayor desarrollo de las hojas y tallos, siendo función más importante su participación en el crecimiento de las partes vegetativas y aéreas de los vegetales (ERSTON, 1967). En cuanto al P, es el nutriente que da origen al vigor y desarrollo de la estructura de la planta, así mismo se ha evidenciado que favorece la fecundación, la formación y maduración de frutos. (JONES, 1993), además este elemento resulta esencial para el desarrollo radicular y la división celular en el proceso de crecimiento de las plantas (DEVLIN, 1975). Según RUBIO (2002), el fósforo, es uno de los elementos críticos para la producción agropecuaria, debido a su relativa escasez edáfica, la elevada retención por parte de la matriz del suelo (especialmente en zonas tropicales), la falta de reposición natural y la progresiva escasez. Con respecto al potasio, ESRTON (1967) manifiesta que este elemento promueve la resistencia de la planta al ataque de plagas y enfermedades, y que influye en los fenómenos de respiración y transpiración, manteniendo la economía el agua en la planta, reduciendo su tendencia a la marchitez. Para DEVLIN (1975) este nutriente favorece la formación de carbohidratos, sacarosa, almidón, prótidos y lípidos en las plantas.

2.3.1.1. Comportamiento de macro nutrientes en el suelo

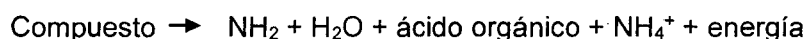
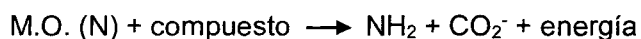
Comportamiento del nitrógeno: Según estudios, la disponibilidad y/o stock del nitrógeno en el suelo depende del contenido en materia orgánica, y existe entre 0.02-0.4% de nitrógeno en suelo del cual el 98% está en forma orgánica, solo una pequeña fracción resulta asimilable por las plantas (LANDIS, 1989).

En este aspecto dependiendo del contenido de materia orgánica, los primeros 20 centímetros de profundidad de un suelo pueden contener entre 1000 y 10000 kg. de N por hectárea. Estas formas orgánicas incluyen proteínas, aminoácidos y azúcares aminados. Sin embargo, las formas químicas identificadas representan sólo un 30-35% del total del N orgánico del suelo. El resto, entre un 70 a 75% del N orgánico, está en estructuras químicas complejas que aún faltan estudiar (DODERA y PERDOMO, 1992).

Por otra parte, de acuerdo con ZAVALA (2002), el contenido de nitrógeno en el suelo depende de varios factores como el clima, tipo de vegetación y tipo de suelo y que inclusive las concentraciones llegan a ser muy variables para el mismo sitio, influenciada por factores como precipitación, cambio de cobertura del suelo, tipo de cobertura, actividades de laboreo, etc. Para CANO (1969), el balance de las formas asimilables de N para la planta en la solución suelo, es el resultado dinámico de una serie de reacciones que se realizan continuamente y producen un constante movimiento de entradas y salidas de N asimilable. La movilidad del nitrógeno viene producida por diversos procesos de entrada y salida de este elemento en el suelo, estos procesos

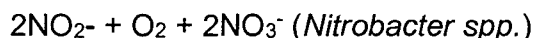
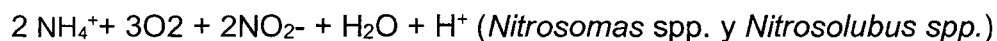
aumentan o disminuyen el contenido de nitrógeno asimilable en el suelo, y pueden ser:

- Amonificación que consta de dos etapas:



Este proceso se bloquea cuando la temperatura es menor a 0 °C o superior a 45 °C. Las condiciones óptimas de humedad se encuentran entre el 80.0 % al 90.0 % y cuanto más alto es el pH mejor va el procedimiento. Buena aireación y tamaño pequeño de partícula favorecen el proceso (LANDIS, 1989).

- Nitrificación que consta también de dos etapas y es realizado por bacterias:



La nitrificación es un proceso aerobio con un potencial de hidrogeno (pH) límite entre 5.5-8.0 y un pH óptimo entre 7.0-7.5. Su temperatura óptima está entre 20-25 °C. Cabe mencionar que cuando la concentración de sustrato aumenta debido al uso de fertilizante se produce inhibición del proceso (DEVLIN, 1975). De otro lado el exceso de humedad bloquea la nitrificación, y a mayor tamaño en los agregados peor va el proceso. A diferencia del P y K, la dinámica del N en el suelo no está regulada por un equilibrio químico, sino principalmente por procesos biológicos (mineralización, nitrificación, amonificación y des

nitrificación), derivados de la actividad microbiana del suelo que afectan sobre todo a las formas minerales y a las formas orgánicas de reserva (LANDIS, 1989).

En consideración a la pérdida del nitrógeno del suelo, en la zona selvática esta se da mayormente por dos factores importantes: El primero por volatilización, ya que las sales amoniacales reaccionan en medio alcalino desprendiéndose NH_4^+ en forma gaseosa a la atmósfera. El segundo caso es debido al lavado denominado también lixiviación, en este caso las pérdidas de nitrógeno son originadas por la solubilización del nitrógeno en agua, dependiendo del nivel de infiltración de agua a través del perfil del suelo y de la concentración de nitratos en la solución del suelo. En los suelos con textura gruesa, buena permeabilidad y escasa retención de agua se produce una pérdida de nitrógeno intensa. Con respecto a esto, se informa que en suelos desnudos la pérdida es de 30 a 150 Kg de N/ha y en suelos cultivados entre 30-80 Kg de N/ha (DODERA y PERDOMO, 1992).

Comportamiento del fósforo: Según ZAVALA (2002), en el P los mecanismos de fijación en suelos altamente meteorizados de los trópicos (ultisoles y Oxisoles dominados por óxidos e hidróxidos de Al^{3+} y Fe y caolinita), están relacionadas con la alta reactividad y afinidad de las superficies de las arcillas. En esta circunstancia, los iones orto fosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) son atraídos a la superficie de las arcillas por reacciones covalentes de alta energía que fijan fuertemente el P a los minerales arcillosos (BLACK, 1975). Este proceso retiene apreciables cantidades de P en un rango de pH de 5.0-7.0. Se ha determinado con estudios que en suelos tropicales viejos, que han pasado por un extenso proceso de

meteorización, los minerales arcillosos son estables hasta niveles de pH bajos. Solamente cuando el pH del suelo llega a valores menores a 5.3 el Al^{3+} y el Fe^{2+} son liberados de la estructura de las arcillas a la solución del suelo (DODERA y PERDOMO, 1992). En estas condiciones, estos elementos reaccionan con los iones fosfato formando compuestos insolubles que se precipitan, llegando a estar no asimilables para las plantas. Por lo tanto, la mayor causa de pérdida de disponibilidad de P en estos suelos se debe a las reacciones del P con el aluminio (Al^{3+}) y el hierro (Fe^{2+}). En ese sentido el pH del suelo desempeña un papel importante, así la reducción de pH (incremento de acidez) permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia libera Al^{3+} y Fe^{2+} (LANDIS, 1989). En contraparte, las formas más solubles o disponibles de fósforo existen en un rango de pH que va de 6.0 a 7.0. En otros estudios sobre P se determinó que la movilidad de este nutriente en el suelo es menos dinámica que el N. Según CUBERO y VIEIRA (1999), debido a que el fósforo se mueve muy poco en casi todos los suelos agrícolas, las pérdidas por lixiviación al manto freático no tienen importancia. Este comportamiento se ha utilizado para definir al P como un elemento de baja solubilidad, siendo relativamente estable en el suelo, se encuentra casi exento de pérdidas en el suelo sea volatilización o lixiviación (LANDIS, 1989). Este hecho sucede por porque existe el fenómeno de retención de P mediante dos procesos, la precipitación y adsorción. En suelos ácidos el P se precipita con Fe^{2+} y Al^{3+} en solución, mientras que con oxihidróxidos de Fe^{2+} y Al^{3+} y arcillas aluminio silicatadas se produce la adsorción, mientras que en suelos calcáreos la precipitación se da con CaHPO_4 y la adsorción con CaCO_3 - y arcillas aluminio

silicatadas. Otros trabajos señalan que la alta estabilidad y baja solubilidad del P es causa inmediata de deficiencias para la planta (FERRANDO 2013).

Una propiedad importante en la disponibilidad de P en los suelos es la denominada concentración de P lábil que se define como la fracción de P del suelo que responde rápidamente a un descenso en la concentración de P en la solución del suelo, tendiendo a reponerlo hasta un nivel que sería correspondiente a la constante del producto de solubilidad de los compuestos que lo forman. Así, en el suelo la proporción del P lábil es de 30.0 %, el P en solución 10.0 % y el P fijado (no lábil) es 60.0 %.

Comportamiento del potasio: La dinámica del K^+ en el suelo es netamente mineral. Las fuentes minerales nativas son los feldespatos (ortoclasas) y las micas (moscovita, biotita y phlogopita), y las fuentes minerales secundarias son illitas, vermiculitas, cloritas (BLACK, 1975). La movilidad del potasio del suelo a la planta es como ion K^+ . La cantidad del elemento que se mueve por difusión está directamente relacionado con la intensidad de K^+ en la solución del suelo. Siendo un nutriente móvil en floema, participa en la regulación hídrica y movimiento de otros nutrientes. Se conoce que K^+ participa en la activación de 80 enzimas, y que estas a su vez participan en la producción de ATP para la planta. El K^+ regula la apertura y cerrado de los estomas, y su deficiencia no permite que los estomas se cierren rápidamente fomentando que la planta pierda agua. Asimismo, se ha determinado que el K^+ actúa en las raíces, donde produce una gradiente de presión osmótica que lleva el agua dentro de la planta, por lo que niveles deficitarios hace que las plantas tengan menos habilidad para

absorber agua (DEVLIN,1975). El K^+ está presente en el suelo en las siguientes formas: K^+ estructural, retenido fuertemente por minerales primarios como rocas. K^+ no intercambiable, que es lentamente disponible según meteorización. K^+ fijo, se encuentra retenido por arcillas 2:1 lilitas, vermiculitas etc. K^+ intercambiable, retenido pero intercambiable por materia orgánica y arcillas. Por último K en solución, disponible en la solución del suelo absorbido por las raíces de las plantas. La disponibilidad de este nutriente varía de acuerdo a la humedad del suelo (la mayor parte del K^+ se mueve en el suelo hacia las raíces por difusión) de acuerdo con el tipo de cultivo o variedad. (CUBERO y VIEIRA, 1999).

2.3.1.2. Niveles críticos de macro nutrientes en el suelo

A partir de la forma y contenido de los nutrientes en el suelo es posible analizar sus niveles bajos o insuficientes para determinado tipo de cultivo. De manera general, el estado crítico de los macro nutrientes N, P y K en el suelo puede resumirse de según el siguiente cuadro de interpretación.

Cuadro 4. Niveles críticos de macro nutrientes en el suelo.

Nivel Crítico	Cantidad de nutrientes en el suelo					
	N (%)	P (ppm)	K_2O (Kg/Ha)	M.O (%)	°	Ca^{2+} . Total (%)
Muy Bajo					< 5	
Bajo	< 0.1	0 - 6	0 - 300	< 2	5 - 10	< 1
Medio	0.1 – 0.2	7 - 14	300 - 600	2 - 4	10 - 15	1 - 5
Alto	> 0.2	> 14	> 600°	> 4	15 - 20	5 - 10
Muy Alto				°	> 20	> 15

Fuente: AYRE y ROMAN(1982), Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA.

2.3.2. Los micro nutrientes

Son denominados así por la poca cantidad que la planta requiere para su crecimiento. Conforman en poca proporción la biomasa seca que producen las plantas, pero su presencia es vital para el óptimo funcionamiento fisiológico de los vegetales.

2.3.2.1. Comportamiento de micronutrientes en el suelo

El Ca^{2+} es mineral, la principal fuente son los feldespatos, la apatita, la dolomita y la calcita. En el suelo se presenta como carbonato de calcio o sulfato de calcio. También se presenta formando puentes entre montmorillonita con la materia orgánica y como catión intercambiable Ca^{2+} en la solución del suelo en donde es el elemento predominante. La planta lo toma como Ca^{2+} . Su ciclo es muy similar al del potasio pero el Ca^{2+} no se fija en las arcillas solo se adsorbe fuertemente y no es fácilmente lixiviado. Es poco móvil en floema de las plantas.

El Mg^{2+} es mineral, las principales fuentes de magnesio en el suelo son minerales: biotita, hornablenda, dolomita y clorita (ferro-magnesianos). Otra fuente de minerales secundarios son: clorita, illita, montmorillonita y vermiculita. Se adsorbe en las superficies de las arcillas y la materia orgánica. Es un catión intercambiable Mg^{2+} y se encuentra en la solución del suelo en menor cantidad que el Ca^{2+} . La planta lo toma como Mg^{2+} . Su ciclo es similar al del K^+ pero el Mg^{2+} no es fijado por las arcillas y puede lixivarse fácilmente. El Mg^{2+} es un elemento móvil en floema.

El S, su naturaleza al igual que el fósforo es de origen mineral y orgánico (similar a N), las fuentes del suelo son yeso, pirita, galena, epsomita, etc. Las formas de azufre presente en el suelo son como azufre mineral: SO_4^{2-} : en solución disponible a las plantas mediante la difusión y flujo en masa. SO_4^{2-} : adsorbido en forma cambiante, disponible a las plantas mediante la desorción de los coloides. SO_4^{2-} insoluble en forma de azufre inorgánico reducido S^{-2} y S en áreas agrícolas, se tiene S^{-} producto de residuos de cosecha. El S elemental (S) debe ser oxidado por bacterias *Thiobacilos spp*, a la forma sulfato (SO_4^{2-}), la cual es tomada por las plantas el cual es móvil en floema.

El B, la materia orgánica es la fuente más importante de boro en el suelo, la mineralización de esta materia orgánica determina su suficiencia, único elemento no metálico junto con el cloro. La forma como se encuentra en la solución del suelo es H_3BO_3 , y es como lo toma la planta, este elemento inmóvil en el floema.

El Zn^{2+} , su origen es mineral (Carbonatos, Silicatos y Sulfuros), pero su disponibilidad está asociada con la materia orgánica, puesto que fija abundante Zn^{2+} . También se adsorbe a la superficie de las arcillas lo que reduce su lixiviación. Altos niveles de Zn^{2+} o de P pueden reducir la absorción del otro. La forma como la planta lo toma es Zn^{2+} . Es móvil en el floema.

El Cu, su origen es mineral, proviene de carbonatos (Malaquita, Azurita), óxidos (Cuprita), sulfuros complejos (Calcopiritas, Bornita). Es uno de los elementos que más tiende a formar quelatos que el manganeso, pero menor que el hierro. Después del Al^{3+} y Fe^{2+} , es el más fuertemente enlazado con la

materia orgánica del suelo. Hace parte de un grupo importante de oxidasas. La planta lo toma como Cu^{2+} . Es móvil en el floema.

Cuadro 5. Elementos esenciales para las plantas y su forma disponible.

Elemento	Símbolo	Forma disponible	Elemento	Símbolo	Forma disponible
Oxígeno	O	O_2 , H_2O , CO_2	Boro	B	H_3BO_3 , $\text{B}(\text{OH})_3$
Carbono	C	CO_2	Cloro	Cl	Cl^-
Hidrógeno	H	H_2O	Cobre	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+	Hierro	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}
Fosforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	Molibdeno	Mo	MoO_4^{2-}
Potasio	K	K^+	Manganeso	Mn	Mn^{2+}
Calcio	Ca	Ca^{2+}	Níquel	Ni	Ni^{2+}
Magnesio	Mg	Mg^{2+}	Silicio	Si	H_2SiO_4 , $\text{Si}(\text{OH})_4$
Azufre	S	SO_4^{2-}	Zinc	Zn	Zn^{2+}

Fuente: (DEVLIN, 1975).

2.3.2.2. Niveles críticos de micro nutrientes en el suelo

De manera general, el análisis de interpretación de estos niveles puede obedecer a lo sugerido por AYRE y ROMAN (1982) cuyos rangos se representan en los Cuadros 6,7 y 8.

Cuadro 6. Niveles críticos de micro nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , y S^{+2} , S^{+4} , S^{+6} en el suelo.

Elemento	Calcio (Ca^{2+})		Magnesio (Mg^{2+})		Azufre (S - SO_4^{2-})
Método de análisis	Acetato amónico		Acetato amónico		KCL 40
Unidades	meq/100g	ppm	meq/100g	ppm	ppm
Bajo	<5	<1000	<0.5	<60	<5
Adecuado	5-10	1000-2000	0.5-1.5	60-180	5-10
Alto	>10	>2000	>1.5	>180	10-20
Exceso	-	-	-	-	>20

Fuente: AYRE y ROMAN (1982), Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA.

Cuadro 7. Niveles de micro nutrientes-S²⁺, Zn²⁺, Cu¹⁺ y B³⁺ en el-suelo.

Elemento	Hierro (Fe ²⁺)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn ²⁺)	Cobre (Cu ¹⁺)	Boro (B ³⁺)
Método de análisis	DTPA	DTPA	DTPA	DTPA	Agua Caliente
Unidades	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Bajo	<2.5	<0.6	<1.0	<0.6	<0.5
Adecuado	2.5-5.0	>2.0	>1.5	>2.0	0.5-2.0
Alto	>5.0	-	-	-	>2.0

Fuente: AYRE y ROMAN (1982), Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA:

A parte de los niveles críticos de los micro elementos en el suelo, el análisis de las relaciones catiónicas son de gran ayuda para interpretar las consecuencias del niveles bajos de un elemento y su afectación sobre otros. Es importante conocer que una relación Ca²⁺/ Mg²⁺ equivalente a 2-5 se considera bajo, una relación de Ca²⁺/ K⁺ igual 5-25 es medio, Mg²⁺/ K⁺ igual a 2.5-15 optimo y una relación Ca²⁺+ Mg²⁺/ K⁺ se considera elevado. En numerosos ensayos se determinado que el contenido de bases intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo (MOLINA, 2011).

Cuadro 8. Niveles críticos cationes en el suelo.

Catión	Símbolo	Rango de concentración (%)
Calcio	Ca ²⁺	65.0 - 80.0
Magnesio	Mg ²⁺	10.0 - 20.0
Potasio	K ⁺	3.0 - 8.0
Sodio	Na ⁺	<6.0
Aluminio	Al ³⁺	<1.0

Fuente: AYRE y ROMAN (1982), Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA:

2.3.3. Efectos del pH en el suelo en los macro y micro nutrientes

La disponibilidad de los nutrientes está determinada por varios factores en especial el valor de pH, que es la medida de concentración de los iones hidrógeno en la solución del suelo (BINKLEY, 1993). Como magnitud el valor del pH presenta una escala de 0.0 – 10.0 la cual se utiliza para determinar la acidez o alcalinidad del suelo (BLACK, 1975). Suelos con valores extremos de esta escala afectan y causan diversos problemas a la vegetación. Los suelos ácidos liberan metales tóxicos y metales pesados, disminuyen la disponibilidad de los macro nutrientes, y reducen el ritmo de la mineralización de la materia orgánica (CANO, 1969). La mayor solubilidad de gran parte de los nutrientes se encuentra entre un pH de 5,5 a 7. En estas condiciones el N, cuyo ciclo está determinado por la acción microorganismos es óptima. Si el pH es mayor a 7 se afecta más el pasaje de NO_2^- a NO_3^- , mientras que cuando el pH es superior a 8 se afecta el pasaje de NH_4^+ a NO_2^- (DODERA y PERDOMO, 1992). Por su parte, el P también presenta diversas formas de estado en relación al pH. Como H_3PO_4 en condiciones de extrema acidez, como iones orto fosfato asimilables, primario $\text{H}_3\text{PO}_4^{-1}$ en condiciones neutras, y como $\text{H}_3\text{PO}_4^{-2}$ en situaciones alcalinas. Del mismo modo, el pH también tiene efecto sobre la adsorción y precipitación de P, en condiciones de acidez existe adsorción con arcillas y óxidos, formación de fosfatos insolubles con Fe^{2+} y Al^{3+} , mientras que en condiciones alcalinas se llegan a formar fosfatos de Ca^{2+} insoluble, siendo el 6.5 el pH óptimo para este elemento (Stevenson, 1986 citado por DODERA y PERDOMO, 1992). El K^+ es poco disponible en condiciones de extrema acidez, pero presenta un amplio rango de solubilidad en condiciones neutras y alcalinas.

El pH del suelo también afecta la disponibilidad de los micro-nutrientes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , que presenta óptima disponibilidad en rangos de pH de 4.5-7.0. En condiciones muy ácidas se ha evidenciado poca disponibilidad de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ aumentando la solubilización de Zn^{2+} y Al^{3+} , que en función al manejo de suelo y fertilizantes aplicados pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas (ALVARADO, *et al.*, 1996). Del comportamiento común de casi todos los micro elementos respecto a su disponibilidad y el pH del suelo, Mb presenta alta disponibilidad solo en condiciones alcalinas, y en forma particular Br presenta alta disponibilidad en pH ácidas a neutras y en condiciones altamente alcalinas (Figura 1.).

Cuadro 9. Clasificación de la acidez del suelo en función del pH.

Término descriptivo	Rango de pH
Extremadamente ácido	<4.5
Muy fuertemente ácido	4.0-5.0
Fuertemente ácido	5.1-5.5
Moderadamente ácido	5.6-6.0
Ligeramente ácido	6.1-6.5
Neutral	6.6-7.3
Ligeramente alcalino	7.4-7.8
Moderadamente alcalino	7.9-8.4
Fuertemente alcalino	8.5-9.0
Muy fuertemente alcalino	>9.0

Fuente: (AYRE y ROMAN, 1982, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – 1982).

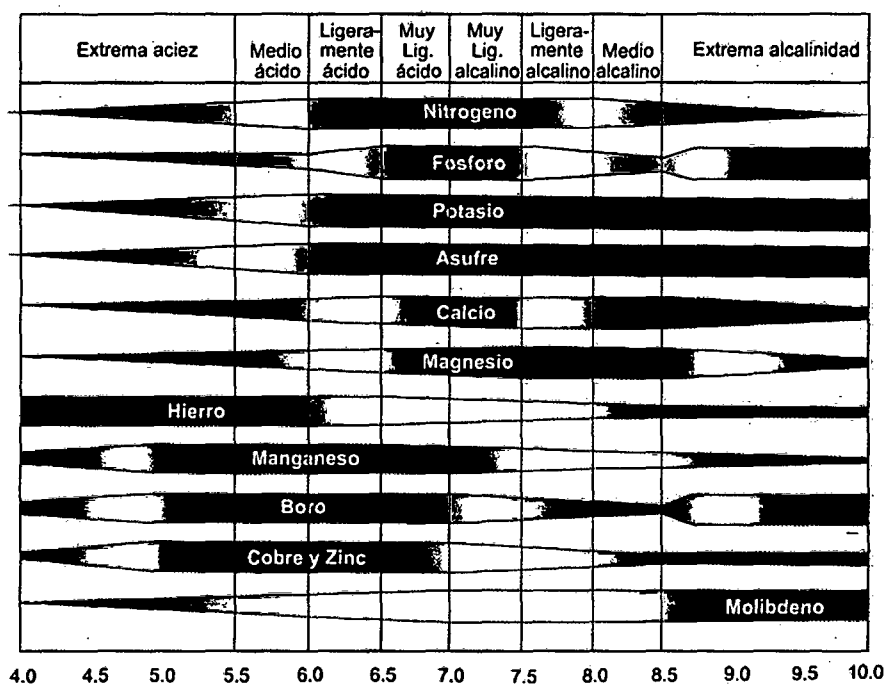


Figura 1. Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para la plantas, adaptado de (Black, 1975).

2.4. Encalado y propiedades del suelo

El encalado consiste en incorporar al suelo Ca^{2+} en su forma de CaCO_3 (cal común), o en su forma de MgCaO_2 (dolomita), o también $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ denominado fosforita. El objetivo de esta práctica es neutralizar la acidez del suelo. Con un nivel ideal de pH se optimiza la disponibilidad de los nutrientes por tanto se hace que se consiga mejor desarrollo de los cultivos. El encalado mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, favorece las condiciones para el desarrollo de microorganismos del suelo y coadyuva a la mineralización de materia orgánica (ALVARADO *et al.*, 1996).

En la práctica de encalado se debe tener presente 3 aspectos importantes: Selección del calcáreo, momento de la aplicación y cantidad a ser aplicada. La selección del calcáreo: Se debe dar preferir a aquellos materiales que contengan, además del calcio, el magnesio (dolomita) a fin de evitar que ocurra un desequilibrio entre los nutrientes. En caso de presentarse un desequilibrio en la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (bastante magnesio) se pueden aplicar solo CaCO_3 . Por lo general se recomienda una relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ variable entre 3 a 6. El momento de aplicación: La incorporación del calcáreo debe ser realizada con antelación mínima de 2 a 3 meses, tiempo suficiente para que el calcareo a través del contacto con las partículas del suelo reaccione sobre la acidez del mismo. Cantidad a emplear: Según experiencias en el Centro Sur del Brasil, suelos con mas de tres años en siembra directa han mostrado índices elevados de acidez entre 0 – 10 y 10 – 20 cm de profundidad, para los cual se hace la siguiente recomendación de dosificación:

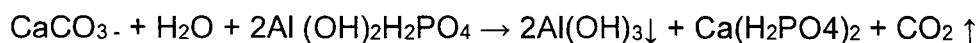
Suelos de textura arenosa	1,0 - 1,5 tn/ha cada 2 años
Suelos de textura media	1,5 - 2,0 tn/ha cada 2 años
Suelos de textura arcillosa	1,5 - 2,5 tn/ha cada 2 años

2.4.1. Encalado y propiedades químicas y físicas del suelo

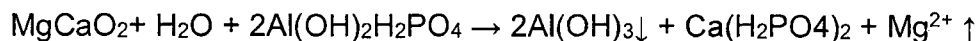
La variación del pH es básicamente el principal efecto que tiene el encalado en las reacciones químicas del suelo. Esta variación depende de la capacidad amortiguadora (buffer) de cada uno de los suelos. De acuerdo con LOPEZ (1980), en aquellos suelos con menor contenido de arcilla y materia

orgánica existe un mayor ascenso en pH, con la misma dosis de encalamiento, que en aquellos que tienen un mayor contenido de estos componentes. En suelos de selva con característica ácidas y elevada presencia de Al^{3+} y Fe^{2+} el encalado principalmente presenta la siguiente reacción según (FERRANDO, 2013):

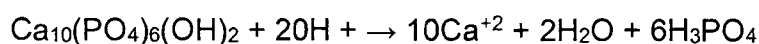
Con cal (CaO_3)



Con dolomita (MgCaO_2)



Con fosforita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)



Con estas reacciones se puede comprobar que el Ca^{2+} precipita elementos perjudiciales como el Al^{3+} y induce a solubilidad al P, provocando la sustitución del Al^{3+} intercambiable por Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Investigaciones realizadas en los Estados Unidos mostraron la acidificación de los primeros 5 cm de la camada de suelo como efecto de la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados amoniacales. Otras investigaciones indican que el efecto del encalado llegó hasta los 60 cm de profundidad cuando grandes cantidades de cal fueron aplicadas sobre la superficie. Este hecho es explicado por la reacción del nitrógeno de los fertilizantes (NO_3^-) con los

elementos Ca^{2+} y Mg^{2+} de la cal, formando sales solubles sujetas a la lixiviación por el movimiento descendente de las aguas. También la lixiviación del calcio es directamente proporcional a la descomposición de los materiales vegetales. Se cree que la reducción del calcio es debida a la lixiviación con ligantes orgánicos producidos en la descomposición de residuos vegetales.

En cuanto a las beneficios del encalado en las propiedades físicas del suelo se encontrado resultados que mejoran las cualidades físicas del suelo para el laboreo agrícola. Según VAZQUES *et al*, (2009) el encalado mejoró la resistencia a la penetración, densidad aparente, cantidad y distribución de tamaño de poros, infiltración y escurrimiento de un suelo Argiudol Típico. Se cree que los cambios en las propiedades evaluadas estarían asociados al aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiables, a causa del incremento de pH y su incidencia en las cargas variables. Semejante observación afirma McLean (1971) citado por MORAN (2009), quien sostiene que encalado mejora las propiedades físicas del suelo debido a que el calcio actúa como floculante de los coloides que presentan carga negativa, reforzando la cohesión de los agregados como consecuencia del estímulo del desarrollo vegetal, aumentando la biomasa radicular y el contenido de materia orgánica. Sin embargo, cuando la estructura se debe a la acción de cationes como Fe^{2+} y Al^{+3} en su estado oxidado, el encalado produce su colapso al reducir la carga positiva de estos iones, haciendo disminuir la permeabilidad del suelo como consecuencia de este hecho (Schoffelen y Middleburg 1954 citado por MORAN, 2009). Se puede agregar también que en suelos donde la

materia orgánica es responsable de la agregación de partículas, el encalado puede afectar de forma negativa a la estructura del suelo debido a que se incrementa la actividad de los microorganismos, lo que conlleva un consumo de la materia orgánica (Harris *et al.*, 1996 citado por MORAN, 2009).

En contraparte de los efectos positivos de la práctica de encalado, para ALVARADO *et al.* (1996), con sustento en observaciones de aplicación de CaCO_3 en cultivos anuales y frutales han llegado a suponer que existe un riesgo notable de provocar deficiencias en algunos micro nutrientes fundamentales para la nutrición de la planta, básicamente de boro, pero también de otros como el Zn^{2+} , Mn, K^+ etc. Estos riesgos aumentan conforme aumenta la escasez de dichos micro nutrientes en la composición de los suelos, por lo que son más susceptibles de producirse en suelos pobres en micro elementos que en los originados a partir de roca madre rica en aquellos.

2.4.2. Encalado y propiedades biológicas del suelo

La disponibilidad del CaCO_3 en el suelo actúa de manera directa sobre los agentes biológicos benéficos presentes en el suelo. Las *Nitrosomonas spp.* y *Nitrobacter spp.* prosperan más con práctica de encalado favoreciendo la mineralización de algunos macro nutrientes como N y P (LANDIS, 1989), y que la tasa de mineralización provocada por bacterias y hongos aumenta cuando se encalan suelos ácidos (ALVARADO *et al.*, 1996). En otras evaluaciones fue observado un mayor número de lombrices que promovieron la mezcla física del suelo con el correctivo y el transporte en profundidad de la cal por los canales y galerías abiertos. En otras palabras, se presenta una alta tasa de infiltración de

agua...posibilitando el transporte de partículas finas de cal a mayores profundidades a través del movimiento descendente del agua, realizando la reacción de neutralización y mejoramiento de las condiciones de desarrollo de las raíces.

Investigadores brasileños observaron tendencia de acidificación inferior en el sistema de siembra directa debido a la menor tasa de mineralización de materiales orgánicos acumulados en la superficie, ocurriendo de esa manera menor liberación de ácidos orgánicos (ALVARADO *et al.*, 1996).

2.5. Calcio y fertilización forestal

2.5.1. Síntomas de deficiencia de calcio

El Ca^{2+} tiene una función muy importante en el crecimiento y nutrición de la planta, asimismo actúa sinérgicamente para el aprovechamiento de otros nutrientes. Una vez fijo, el calcio es poco móvil en la planta. Es un constituyente importante de la parte aérea y radicular de los vegetales, y solo puede ser suministrado por la savia del xilema. Si la planta se queda sin reserva de Ca^{2+} no podría movilizarla desde los tejidos más viejos siendo indicador de déficit de este elemento (BLACK, 1975). Generalmente los síntomas de deficiencia de calcio en los cultivos se les llama desordenes fisiológicos, estos se deben principalmente al suministro inadecuado del Ca^{2+} en los tejidos afectados. Estos síntomas suelen aparecer aun cuando en el suelo aparenta tener una cantidad de calcio adecuado. Los síntomas generales son: En las hojas nuevas se presenta signos de formación de hojas arrugadas y deformadas,

bordes de hojas amarillentos y luego se tornan de color café. Además también se puede observar sintomatología de hojas con necrosis en las puntas y los márgenes de las hojas jóvenes, anormalidades de los bulbos y los frutos, deformación de las hojas afectadas, sistemas de raíces altamente enramados y marrones, crecimiento impedido y clorosis general de la planta en casos extremos (BINCLEY, 1993).

De acuerdo a lo citado por BLACK (1975), el Ca^{2+} es esencial para el crecimiento de meristemas, esencialmente para el crecimiento (elongabilidad) y funcionamiento apropiado de los ápices radicales. Parece actuar modulando la acción de las hormonas vegetales, regulando el crecimiento y senescencia. Es importante en el desarrollo de procesos fisiológicos y regulación metabólica. De la planta, porque participa en forma intracelular en procesos bioquímicos y fisiológicos. La concentración intracelular de Ca^{2+} es muy baja, y la mayor parte se localiza en pared celular, pectatos de la lámina media y membranas, e interviene en la estabilización de ambas estructuras. Estabiliza las membranas celulares, impidiendo difusión de componentes citoplásmicos y regulando selectividad de absorción iónica.

En plantas forestales donde el producto del cultivo es la madera su disponibilidad es fundamental por ser componente de la pared celular y de la lámina media, donde cumple una función cementante como pectato cálcico. Impide daños a la membrana celular, evitando escape de sustancias intracelulares (DEVLIN, 1975).

2.5.2. Requerimiento de calcio en plantaciones forestales

La cantidad de calcio que requieren las especies forestales es alto. En los trópicos donde las plantaciones se desarrollan en suelos ácidos en su mayoría muestran problemas de nutrición. El pH, materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el aluminio intercambiable (LOPEZ, 1980), son utilizadas para determinar el requerimiento de cal (CaCO_3 .) en cultivos agrícolas como maíz, algodón, trigo, etc. Existe poca referencia sobre la aplicación de estos métodos al ejercicio de encalado en árboles. Algunas experiencias poco sistematizadas se reportan, caso los resultados de ensayos y análisis de biomasa seca indicaron que *Eucalyptus saligna* requiere de 125 Kg/ha/año para producir 6 m³ de madera. En contraste con la necesidad de otros macro nutrientes (Cuadro 10.) que la planta utiliza para la elaboración de productos orgánicos que pasan a formar parte de las estructuras de las plantas. El Ca^{2+} parece actuar de dos maneras, como nutriente y coadyuvante, puesto que mejora las condiciones del suelo para la asimilación de N, P y K^+ . (BINKLEY, 1993) En Chile se ha determinado que elementos con mayores niveles de extracción del suelo por las plantaciones forestales son el N y Ca^{2+} . La extracción de elementos nutritivos dependen de la cantidad de biomasa cosechada, la cual varía según el tipo de cosecha practicada (árbol completo, troncos con corteza o descortezados) y también de la edad de rotación o la edad a la cual se ralea (Raison y Crane 1986, citado por THIERS *et al.*, 2007). En esta línea, se encontró que previo al raleo de un rodal de *Eucalyptus nitens* de 5 años de edad la biomasa aérea de un testigo (sin fertilización) logro una acumulación de: 434 kg N/ha y 306 kg Ca/ha, y en tratamiento con fertilización de roca

fosfórica antes de plantar, el mismo año NP K⁺ + micro elementos, y al año siguiente (NP K⁺) y al tercer año (NP) logró acumular 516 Kg N/ha y 359 kg Ca²⁺/ha. Las raíces representaron 6,20 % y 5,40 % de la biomasa total, respectivamente, mientras que la extracción del fuste (sólo madera) extrajo 16-18.0 % del nitrógeno y 5.0-6.0 % de Ca²⁺ aéreo del rodal, mientras que la extracción del árbol completo extrajo 41.0-44.0 % del nitrógeno y del calcio. La corteza fue el componente de biomasa que más Ca²⁺ acumuló, alcanzando a casi el triple que en la madera (THIERS *et al.*, 2007). En Costa Rica SALAZAR *et al.*, (2003) no encontraron efectos significativos sobre el crecimiento del DAP y altura total en plantación es de *Alnus acuminata* tras la aplicación de 750, 1500 y 2250 kg.ha⁻¹ de CaCO₃- y Mg²⁺ (Dolomita), 1500 kg.ha⁻¹ de carbonato de Ca²⁺ (Calcita) y 1500 kg.ha⁻¹ de sulfato de calcio (Yeso).

Cuadro 10. Requerimiento de Ca²⁺ en plantación de *Eucalyptus saligna* en relación a los macro nutrientes N, P y K⁺.

Nitrógeno Kg/Ha/año	Fosforo Kg/Ha/año	Potasio Kg/Ha/año	Calcio Kg/Ha/año	Magnesio Kg/Ha/año
4.5	1	5.5	125	2

Fuente: (BINKLEY, 1993).

Investigadores han encontrado también que tras 19 años de instalación *Eucalyptus grandis* presenta considerablemente alto contenido de Ca²⁺ en peso seco por árbol (Cuadro 11 y 12). Casi en todas las partes del árbol (raíz, hojas, corteza, ramas y fuste) Ca²⁺ manifiesta su importancia.

Cuadro 11. Presencia de Ca^{2+} en peso seco de árboles de *Eucalyptus grandis* a 19 años de edad a densidad de 1010 arbls/ha.

Contenido de elementos (Kg/árbol)	Hojas	Ramas	Raíz	Fuste	Árbol total
N	3.089	0.572	0.796	0.999	5.456
P	0.282	0.07	0.103	0.183	0.638
K^+	1.781	0.587	1.081	1.741	5.19
Ca^{2+}	1.64	0.791	1.278	2.477	6.186
Mg^{2+}	0.405	0.066	0.16	0.295	0.926
S	0.005	0.003	0.003	0.017	0.028
Cu	0.002	0.001	0.002	0.003	0.008
Fe^{2+}	0.019	0.042	0.009	0.029	0.099
Mn	0.101	0.011	0.075	0.098	0.285
Zn^{2+}	0.004	0.004	0.004	0.005	0.017
Cenizas	6.279	3.969	5.34	10.346	25.934

Fuente: (BINKLEY, 1993).

Cuadro 12. Ca^{2+} en plantación de *Eucalyptus grandis* a 19 años de edad.

Contenido de elementos (ton/ha)	Parte aérea	Fuste con corteza	Fuste sin corteza	Hojarasca
N	4.851	1.039	0.659	0.054
P	0.558	0.19	0.138	0.003
K^+	4.273	1.811	1.296	0.33
Ca^{2+}	5.1008	2.576	0.526	0.066
Mg^{2+}	0.801	0.307	0.133	0.007
S	0.028	0.018	0.016	
Cu	0.008	0.003	0.002	
Fe	0.98	0.03	0.024	
Mn	0.224	0.102	0.032	
Zn^{2+}	0.017	0.005	0.001	
Cenizas	21.414	10.76	3.496	

Fuente: (BINKLEY, 1993).

Investigaciones peruanas, mediante técnica de correlación han determinado que existe considerable relación entre la disponibilidad Ca^{2+} en el

suelo y la variabilidad en el crecimiento en altura en plantaciones de bolaina blanca, especialmente en los primeros años de establecimiento. (ARA, 1999). Similarmente, CORNELIUS (2004) reportó crecimientos de bolaina blanca para varias zonas de Pucallpa, refiriendo una relación positiva sobre el crecimiento en altura total de la bolaina blanca en función a la disponibilidad de Ca^{2+} en el suelo, la clase textural y el uso anterior de la plantación.

Cuadro 13. Crecimiento de *Guazuma crinita* C. Martius en relación al Ca^{2+} disponible, uso anterior del suelo y textura en la zona de Pucallpa.

Plantación	Uso anterior	Alt. dom 24 meses (m)	Clase textural	Ca^{2+} (cmol /
J. Grandez, Requena	Pastura	4.30	Franco arenoso	1.32
M. Romucho, Requena	Purma baja	8.30	Franco	2.64
M. Rojas, Neshuya	Arroz	8.80	Franco arenoso	0.48
L. García, Requena	Purma baja	6.50	Franco arenoso	1.48
N. Damian, Curimaná	Purma baja	13.70	Franco	5.68
J. Rengifo, Curimaná	Purma baja	8.00	Franco arenoso	1.36
A. Noriega, S. Alejandro	Maíz	14.70	Arcilla franca	17.04

Fuente: CORNELIUS (2004), Experiencias del ICRAF en la Amazonía Peruana.

2.6. Métodos para determinar requerimiento de Ca^{2+} en el suelo

Aunque con cierta eficacia en algunas condiciones y en otras muy pocas certeras, los métodos más comunes son:

Shoemaker, Mclean y Pratt (SMP), Al intercambiable en el suelo y CIC-(bases intercambiables).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de investigación

3.1.1. Ubicación

La investigación se desarrolló de marzo a noviembre del 2013 en el fundo Frontón que posee una extensión total de 823.39 ha. Ubicado en el caserío Nuevo Frontón, en la cuenca del río Sungaro, propiedad de Consorcio Agroforestal SAC. El predio cuenta con 154.96 ha de plantación comercial de *Guazuma crinita* C. Martius, cuya ubicación geográfica fue 09°16' 32" de latitud sur y 67° 11' 08" de longitud oeste, sobre una altitud promedio de 250 msnm. Políticamente pertenece a la jurisdicción del distrito Codo de Pozuzo, provincia de Puerto Inca, región Huánuco.

3.1.2. Condiciones climáticas

El área de estudio presenta temperatura media anual de 26.0 °C, con máximos de 33.5 °C y mínimos de 17.5 °C. El periodo de mayor helifonidad se presenta en los meses de marzo-abril, y es donde se registran las más altas temperaturas que coinciden con el verano austral. La precipitación anual es de 2000 mm con presencia de lluvias mayormente en los meses de diciembre a marzo, con épocas de menor precipitación durante mayo a setiembre. En la zona la humedad relativa promedio anual es de 88.0 %.

Cuadro 14. Datos de humedad relativa (H.R) y precipitación (PP) durante los meses de investigación.

Variable	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	set.	oct.
H.R (%)	82	80	80	78	77	77	78	80	81
PP (mm)	392	379.7	256	105.3	85.24	118	72	145.3	160.3

Fuente: Estación Meteorológica CP-PI.2013.

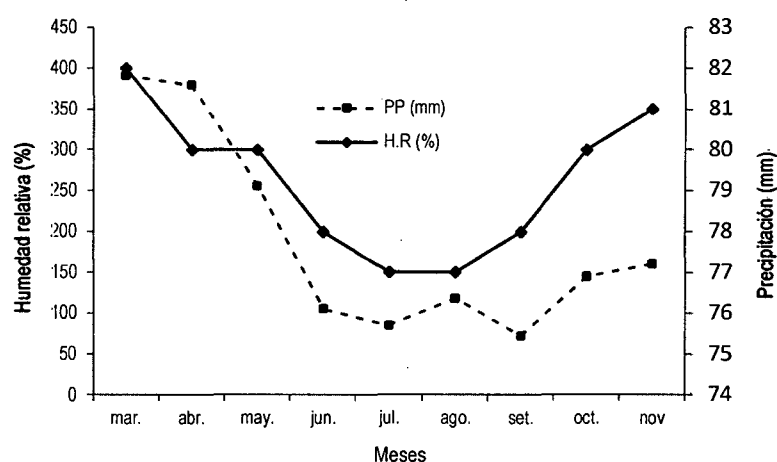


Figura 2. Curva de precipitación y humedad relativa en la zona de trabajo durante los meses de evaluación.

Cuadro 15. Datos de temperatura mínima, media, máxima y horas sol durante los meses de investigación.

Var.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	set.	oct.	nov.
T. Min. (°C)	20.50	19.80	20.70	20.20	20.70	21.70	21.50	21.10	21.10
T. Med (°C)	25.50	24.85	25.75	25.45	25.70	26.50	25.45	25.35	25.35
T. Máx (°C)	26.90	29.90	30.80	30.70	30.70	31.30	29.40	29.60	29.60
Hr. sol (H.)	182.10	212.00	197.00	183.00	160.00	176.00	113.00	9.00	90.10

Fuente: Estación Meteorológica CP-PI.2013.

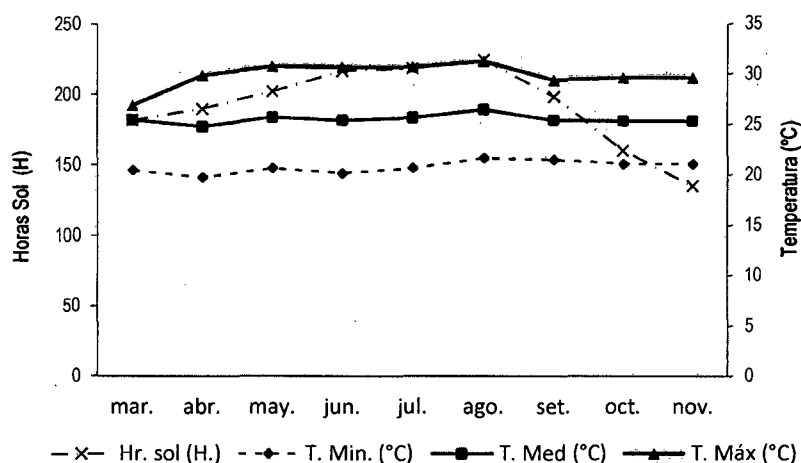


Figura 3. Curva de temperatura durante los meses de evaluación.

3.1.3. Ecología

El área experimental se ubicada en una formación de bosque húmedo tropical (bh-T). En el lugar se observa vegetación tipo bosques secundarios o purmales, predominantes son las especies de *Cecropia sp.* (céticos), *Ochroma pyramidale* (topa), *Erythrina poepigiana* (oropel), *Chorisia integrifolia* (huimba) presencia importante de *Gynerium sagittatum* (caña brava), *Phytelephas macrocarpa* (yarina) y *Brachiaria lumbens* (pasto).

3.1.4. Fisiografía y suelo

La plantación de bolaina en el fundo Frontón se extiende sobre terraza baja, uso anterior pasto por 4 años, color de suelo marrón oscuro (7.5YR3/3) profundidad efectiva 0.8-2.2 m predominantemente de formación aluvial, textura franco arenosa a franco arcillosa. Clasificación natural Tropofluent típico según Soil Taxonomy (1975) y Fluvisol FAO (1974). El área

presenta un cambio gradual de suelo de sureste a noroeste virando de ligero a pesado, de franco arenoso, a franco arcilloso, hasta netamente arcilloso.

3.1.5. Vías de acceso

Al fundo Frontón se llega por vía fluvial navegando en bote motor el río Sungaro tomando como partida el centro poblado Puerto Sungaro. El tiempo que demanda llegar al fundo es aproximadamente 5:00 horas. A Puerto Sungaro se llega vía terrestre por la carretera 5N teniendo como ruta de inicio el poblado Km. 86 de la carretera Federico Basadre, siguiendo desvío a Puerto Sungaro, con un recorrido 60.0 km en un tiempo de 1.20 horas en auto móvil.

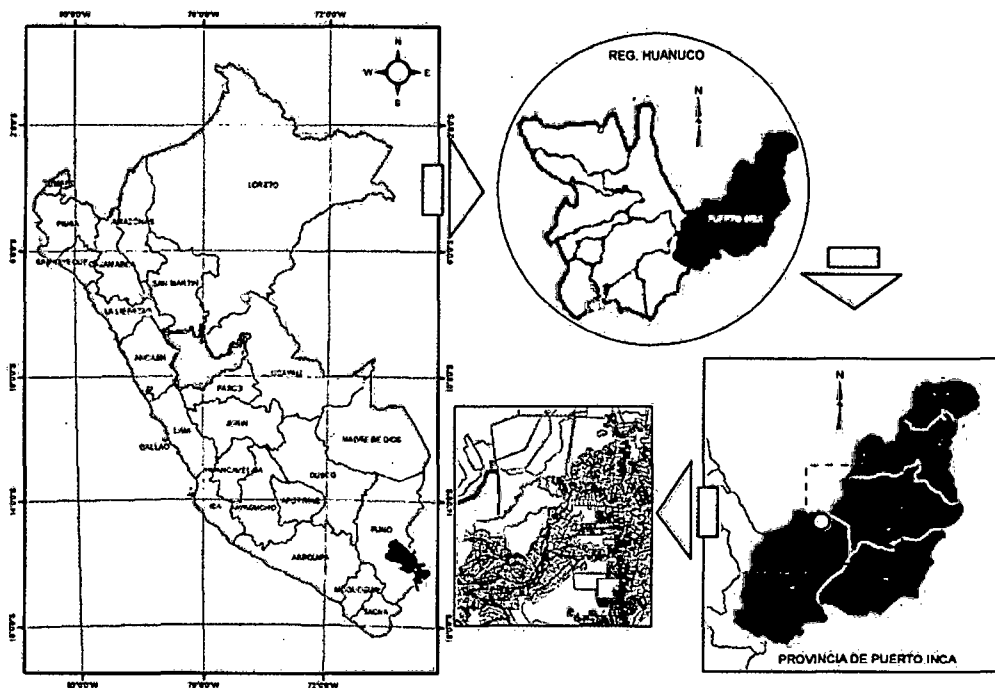


Figura 4. Ubicación del fundo Frontón en la provincia de Puerto Inca.

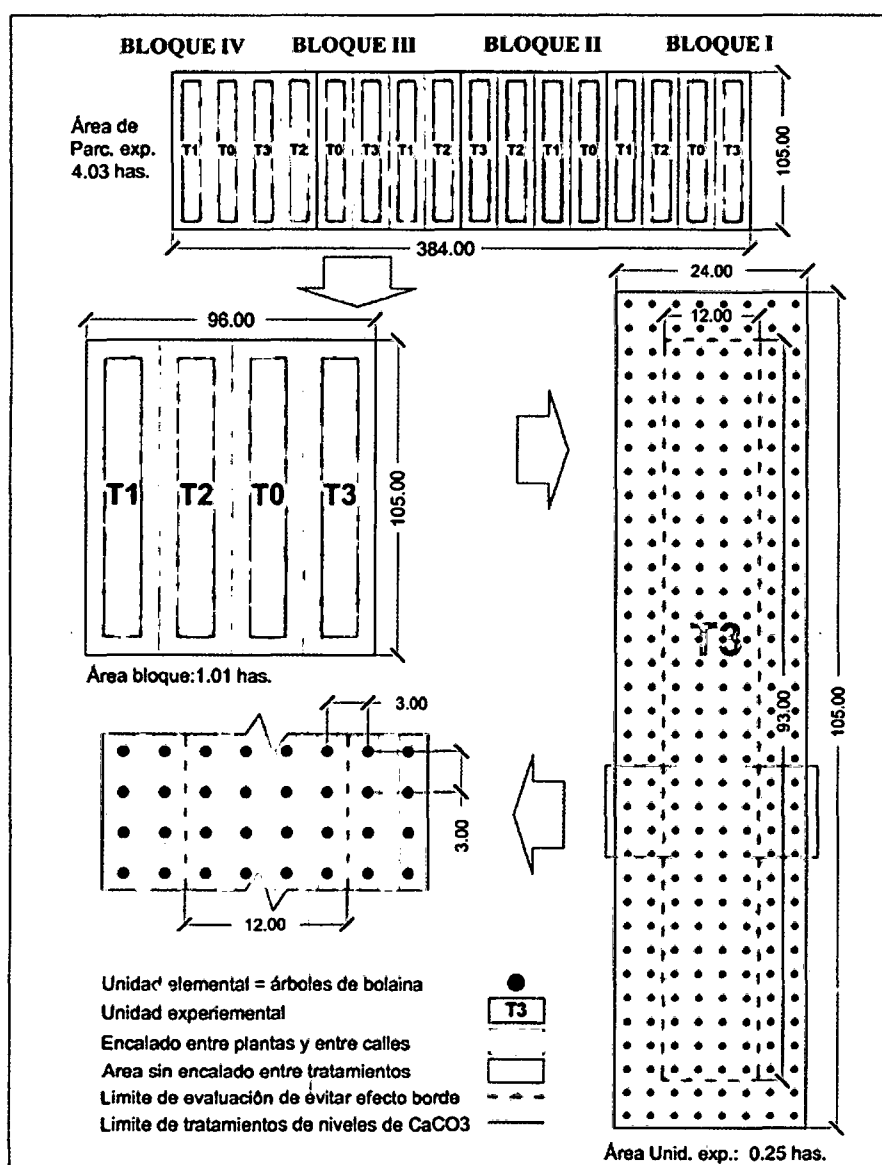


Figura 5. Características del área experimental y distribución de tratamientos.

Las características de la parcela experimental definida para el experimento en el fundo Frontón se describe en la Figura 5. Al momento de la instalación el rodal tuvo 2 años de edad, densidad de 1111 arb/ha. Bajo un sistema de plantación en marco real (3x3 m) con buen control de maleza.

3.3.2.4. Metodología de aplicación de los tratamientos

Se optó por conveniente encalar en febrero de 2013, época de abundante precipitación con lo que se esperó mayor efecto del CaCO_3 - producto de la alta humedad del suelo. Previo al encalado se eliminó todo tipo de maleza en las unidades experimentales. El calcáreo fue aplicado en bandas manualmente con la técnica del boleó por las entre filas y entre plantas de la plantación. Se trató de cubrir de forma uniforme las entrecalles de las filas de la plantación. Para ello se separó cada tratamiento en bolsas en cantidades de 1.0, 2.0 y 3.0 Kg la cual tenían que cubrir 10 m² de suelo cada una. Tras el encalado se cubrió con rastrojos el área tratada. Se dejó una fila entre los límites de las unidades experimentales sin aplicar dosis de calcáreo para evitar el efecto borde dentro del experimento.

3.3.3. Evaluación del experimento

Tras la aplicación del calcáreo en febrero de 2013, la evaluación del experimento se realizó a finales de octubre de 2013, nueve meses tiempo adecuado para observar efecto de los tratamientos. Esta fecha fue elegida porque es el mes donde se inicia la temporada de lluvias en la zona. Esto sirvió para realizar de nuevo el muestreo de suelo en las unidades experimentales para detectar cambios en sus propiedades físicas y químicas.

3.3.3.1. Variables respuesta

Para medir el efecto de la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3 .) en el suelo sobre el desarrollo de plantaciones de bolaina blanca se tuvo en

cuenta dos aspectos. Primero la productividad que se obtiene por el cambio dimensional del diámetro y altura del árbol. El segundo aspecto calificado fue el físico-anatómico, teniendo como indicador la copa del árbol. Es de saber, que el estado de éste en el árbol es muy importante para la productividad, ya que en la copa se realizan los procesos fotosintéticos que dan como resultado la elaboración de materia orgánica que pasa a formar la estructura del árbol. Con sustento a los aspectos descritos se definió 5 variables numéricas: 1). Diámetro a la altura del pecho (DAP). 2). Altura total del árbol. 3). Altura de copa viva, 4) Diámetro de copa y 5). Número de ramas vivas. Todas las variables fueron evaluadas en dos oportunidades, antes de aplicar los tratamientos (evaluación inicial) y a los 9 meses de aplicado los tratamientos (evaluación final). La metodología y procedimientos empleados para la evaluación de cada una de las variables respuesta fueron de la siguiente manera:

1) Altura de planta: La medición de la altura se realizó de forma indirecta por principios trigonométricos para lo cual se utilizó clinómetro Sunnto. La medición se consideró desde la base de la planta hasta el ápice del fuste del árbol.

2) Diámetro de planta: Se marcaron los arboles con pintura naranja para tener certeza de medir el DAP en el mismo punto tanto en la evaluación inicial y final. Se empleó forcípula milimetrada para la medición del diámetro.

3) Altura de copa viva: Se midió indirectamente utilizando clinómetro Sunnto. Se consideró la medición a partir de la primera rama viva del fuste hacia el ápice del mismo.

4) Diámetro de copa: El promedio de la distancia de la proyección de copa hacia el eje del árbol (fuste) en sentidos norte-sur y este-oeste fue utilizada para medir el diámetro de copa.

5) Número de ramas vivas: Se evaluó por conteo de las ramas vivas.

Para la interpretación de los resultados del análisis de suelo se utilizaron las siguientes formulas según cada caso.

Saturación de acidez:

$$\%SA = \frac{\text{Acidez intercambiable}}{\text{CICE}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Saturación de bases:

$$\%SB = \frac{\text{Bases cambiables}}{\text{CICE}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

3.3.3.2. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANVA) fue utilizada como método estadístico al cual se sometieron todos los resultados del trabajo experimental. Antes de correr el ANVA se realizó una evaluación de datos para ver si estos cumplían la normalidad en su distribución y la homogeneidad de varianzas. Por último las pruebas de significancia estadística para contrastación de la hipótesis del diseño fueron a un nivel de confiabilidad del 95.0 % (significativo) y al 99.0 % (altamente significativo). Para comparar promedios muestrales de cada variable respuesta se utilizó la prueba de Duncan a un nivel de $\alpha = 0,05$.

IV. RESULTADOS

4.1. Efecto de la aplicación de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre altura de planta y diámetro de *Guazuma crinita* C. Martius.

4.1.1. Efecto en altura total de *Guazuma crinita* C. Martius

El efecto del encalado con CaCO₃ - sobre altura de planta de *Guazuma crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación fue significativo (p<0.001) según análisis de varianza (ANVA). Esto indica un considerable efecto del CaCO₃ - aplicadas en el experimento. En ese aspecto, la comparación del promedio de los tratamientos según Duncan (Cuadro 23) sugiere como dosis óptima T₂ (2000 Kg/ha CaCO₃-), puesto que se obtiene promedio superior, y estadísticamente similar al obtenido con T₃ (3000 Kg/ha).

Cuadro 22. Análisis de varianza para altura de planta en *G. crinita* C. Martius tras 9 meses de aplicación de encalado con CaCO₃-.

FV	Altura de planta de <i>G. crinita</i> C. Martius.					
	Ev. inicial			9 meses		
	GL	CM	Sig.	GL	CM	Sig.
Bloque	3	0,32	n.s	3	4327,20	**
Dosis de CaCO ₃ -	3	0,17	n.s	3	1780,20	**
Error experimental	9	0,26		9	99,05	
Total	15			15		
CV %		1,99			8,09	

n.s = No significativo. ** = Altamente significativo (p<0.01).

Cuadro 23. Promedio de altura de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de dosis de CaCO_3 .

OM	Tratamientos	Prom. altura. (m)	Sig.
1	T ₃ = 3000 Kg/ha.	5.97	a
2	T ₂ = 2000 Kg/ha.	5.70	a
3	T ₁ = 1000 Kg/ha.	5.17	b
4	T ₀ = Testigo.	4.50	c

Letras diferentes indican diferencias significativas según test de Duncan a $\alpha = 0.05$.

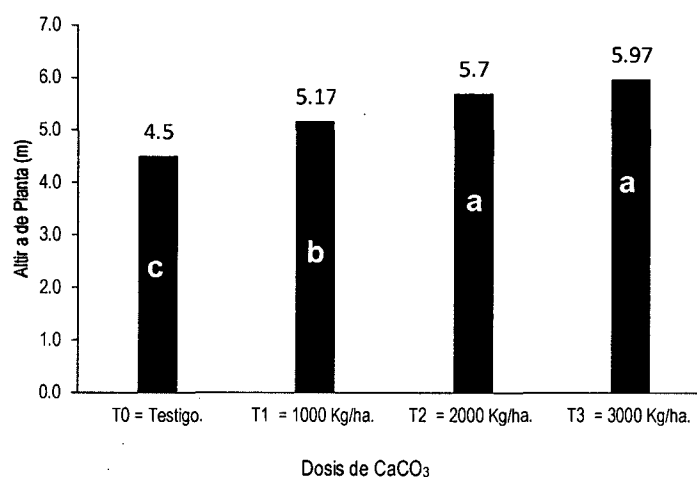


Figura 6. Altura de planta de *G. crinita* C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

Los valores de los promedios de altura de planta resultados del test de Duncan (Figura 6), evidencian un efecto creciente a mayor dosificación del encalado con CaCO_3 - superando al testigo. Sin embargo entre el tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) y T₃ (3000 Kg/ha) agrupados con la letra (a) hay poca diferencia, Pero ambos son superiores a los promedios del tratamiento T₁ (1000Kg/ha) y del testigo (letras b y c respectivamente).

La estadística descriptiva para altura de planta de *Guazuma crinita* C. Martius antes de la aplicación de CaCO_3 - (altura inicial) y a 9 meses de evaluación (altura final) es representada en el Cuadro 23. Se observa que el promedio, valor mínimo y máximo difieren apreciablemente de los valores iniciales a pesar del corto periodo de evaluación. No obstante, se observa también alta variabilidad (rango) de altura que podría derivarse por micro sitio del suelo o daño mecánico de las plantas durante el experimento.

Cuadro 24. Estadística descriptiva para altura de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

Evaluación	Altura de planta de (m)			
	Mín.	Máx.	Media	Dsv. estándar
Altura inicial	2.15	3.55	3.21	0,501
Altura final	3.47	6.48	5.80	35,70

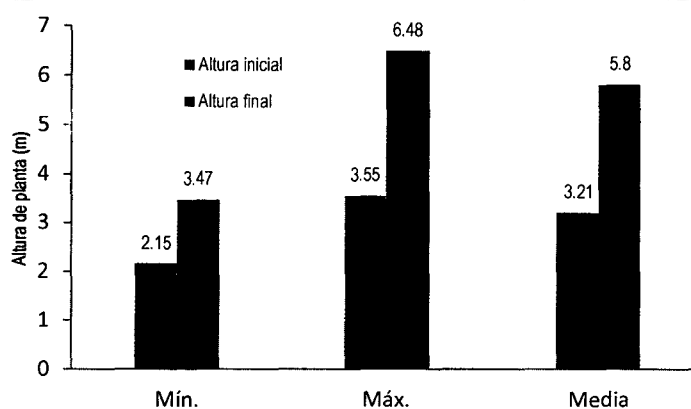


Figura 7. Altura inicial y final de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

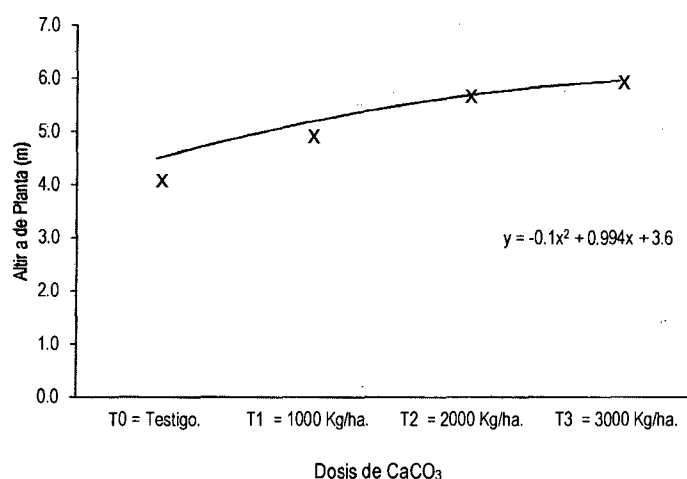


Figura 8. Relación entre altura total de planta de *G. crinita* C. Martius y dosis de encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

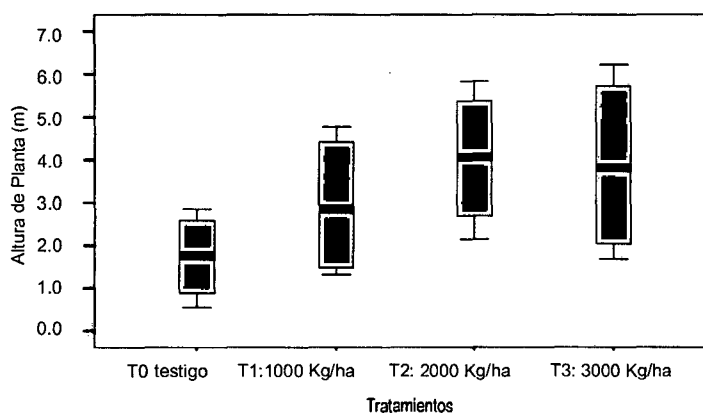


Figura 9. Diagrama de asimetría de datos para altura de planta en *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

La curva de altura de planta de *Guazuma crinita* C. Martius presentó mejor ajuste a la función polinómica de segundo grado (Figura 8), se observa que a dosis superiores a T_2 (2000 Kg/ha) ya no se obtiene incremento significativo de altura, haciéndose evidente también en la Figura 9.

4.1.2. Efecto en diámetro de planta de *Guazuma crinita* C. Martius

El crecimiento del árbol está relacionado al incremento de sus dimensiones en altura, diámetro, área basal y volumen, que en términos de plantación pueden definirse como desarrollo de este. En plantaciones el área útil de un árbol puede ser limitada por arboles vecinos generando competencia entre copas y raíces y que finalmente afecta el crecimiento en diámetro. Previendo esta situación, para que no se vean afectados los efectos del ensayo el experimento se instaló cuando los árboles tenían 1 año de edad donde la competencia señaladas son prácticamente insignificantes. En ese sentido, los resultados del (ANVA) indicaron un desenvolvimiento diferenciado entre la dosificación aplicada por los tratamientos de encalado con CaCO_3 , el cual se mostró con alta significancia ($p < 0.01$) sobre el diámetro de planta de *Guazuma crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación (Cuadro 24). Por otra parte también es importante señalar que los bloques connotaron diferencias ($p < 0.01$).

Cuadro 25. Análisis de varianza para diámetro de planta en *G. crinita* C. Martius tras encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

FV	Diámetro de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius					
	Ev. inicial			9 meses		
	GL	CM	Sig.	GL	CM	Sig.
Bloque	3	0,00100	n.s	3	0,27	**
Dosis de CaCO_3	3	0,00075	n.s	3	1,15	**
Error experimental	9	0,00071		9	0,02	
Total	15			15		
CV %		2,71			7,13	

n.s = No significativo.

** = Altamente significativo ($p < 0.01$).

En la discriminación de los efectos por comparación de medias según test de Duncan notamos que el nivel óptimo de encalado con CaCO_3 corresponde a T_2 (2000 Kg/ha), puesto que a dosis más altas T_3 (3000 Kg/ha) no aprecia estadísticamente un efecto superior (Cuadro 25). Este resultado es semejante al obtenido para la variable altura visto párrafos

Cuadro 26. Promedio de diámetro (DAP) de *G. crinita* C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

OM	Tratamientos	Prom. diámetro (cm)	Sig.
1	$T_3 = 3000$ Kg/ha.	8.43	a
2	$T_2 = 2000$ Kg/ha.	8.13	a
3	$T_1 = 1000$ Kg/ha.	7.65	b
4	$T_0 =$ Testigo	7.13	c

Letras diferentes indican diferencias significativas según test de Duncan a $\alpha = 0.05$.

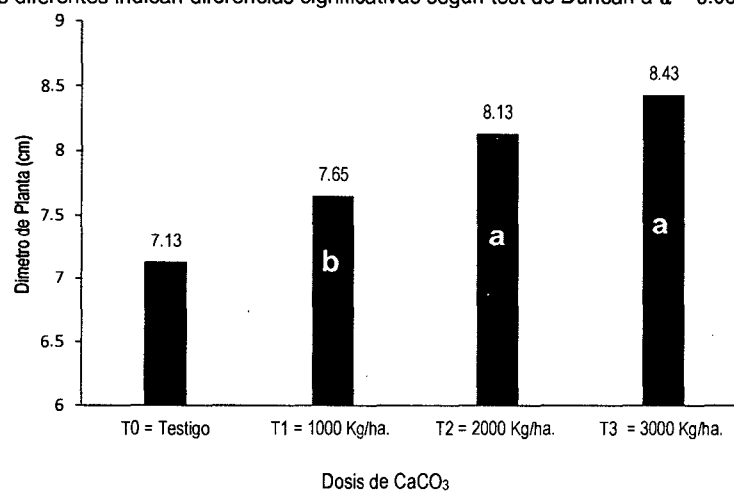


Figura 10. Diámetro de plantas de *G. crinita* C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

La descripción estadística del diámetro inicial y final de planta de *Guazuma crinita* C. Martius mostró que el promedio del crecimiento diamétrico como respuesta al encalado fue alto respecto a los valores iniciales. Es oportuno acotar que en términos de dispersión de los datos observados respecto a la altura de planta (Cuadro 23), el diámetro resultó menos variable al momento final de evaluación (Cuadro 26 y Figura 11).

Cuadro 27. Estadística descriptiva del diámetro de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

Evaluación	Diámetro de planta (cm)			
	Mín.	Máx.	Media	Dsv. estándar
Diámetro inicial	4.25	5.16	4.70	0,009
Diámetro final	5.03	9.62	8.20	0,540

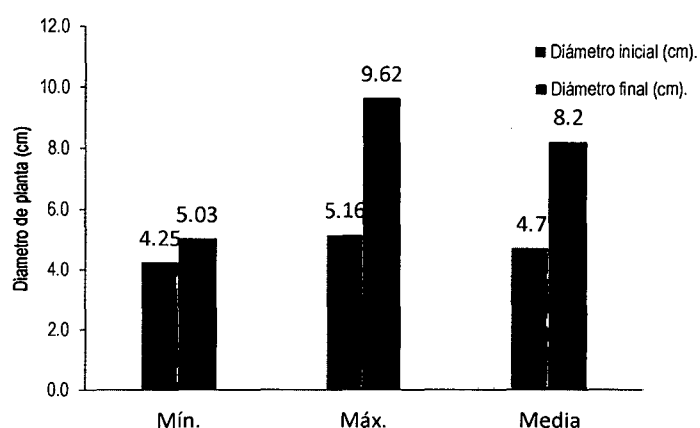


Figura 11. Diámetro inicial y final de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

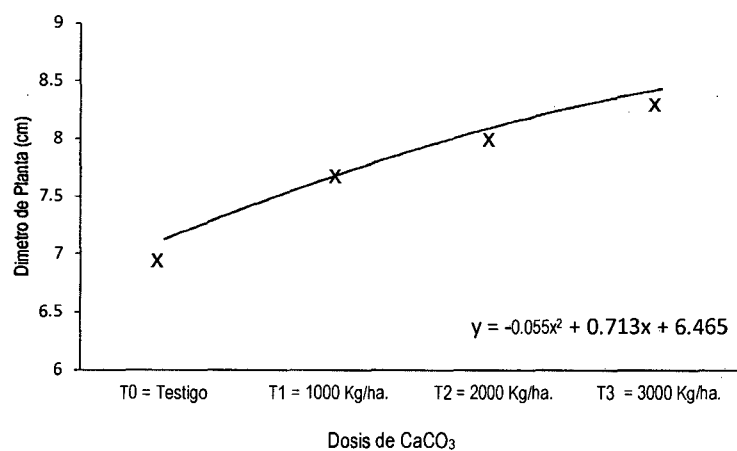


Figura 12. Relación diámetro de planta de *G. crinita* C. Martius y dosis de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

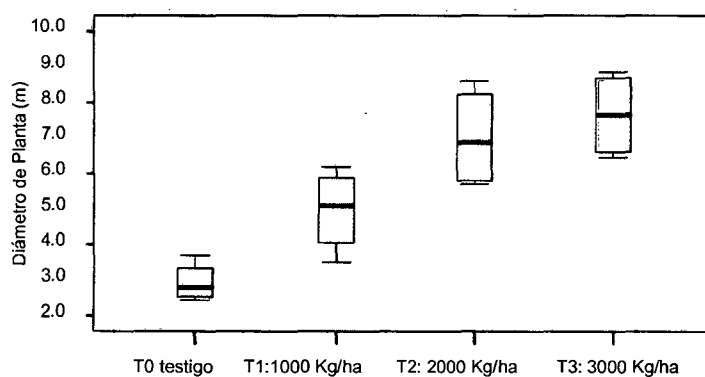


Figura 13 Diagrama de asimetría de datos del diámetro de planta de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación

Los resultados demuestran también que la relación del crecimiento diamétrico y los niveles CaCO_3 -, tras 9 meses, presentan mejor ajuste función $y = 0.09x^2 + 0.856x + 0.445$ con $r = 0.99$ (Figura 12). En la curva se observa que

dosis superiores a T₂ (2000Kg/ha) ya no se muestran incremento diamétrico significativo, mismo comportamiento se observa también en la (Figura 13).

4.2. Efecto del encalado sobre altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas de *Guazuma crinita* C. Martius

4.2.1. Efecto sobre altura de copa de *Guazuma crinita* C. Martius

El efecto de los tratamiento sobre altura de copa fueron significativos ($p < 0.001$), después de 9 meses de aplicación del encalado con CaCO₃ - según análisis de varianza (Cuadro 27). Así, las dosificaciones de T₁ (1000 Kg/ha), T₂ (2000 Kg/ha) y T₃ (3000 Kg/ha) probada en el experimento fueron significativos y ayudaron a mantener la formación de una buena dimensión de copa en las plantas de bolaina. Esto refleja la importancia del encalado en los primeros años de instalación de esta especie por lo que podría conformarse como un protocolo ineludible a seguir.

Cuadro 28. Análisis de varianza para altura de copa de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO₃.

FV	Altura de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius					
	Ev. inicial			9 meses		
	GL	CM	Sig.	GL	CM	Sig.
Bloque	3	0,31n.s		3	271,64 *	
Dosis de CaCO ₃ -	3	1,04n.s		3	744,44**	
Error experimental	9	1,26		9	40,78	
Total	15			15		
CV %		3,18			11,35	

n.s = No significativo.

* = Significativo ($p < 0.05$).

** = Altamente significativo. ($p < 0.01$).

La prueba del test de Duncan para $\alpha = 0,05$ (Cuadro 28), muestra que la dosis óptima que produce mejor promedio de altura de copa a 9 meses de evaluación es el tratamiento T₂ (2000 Kg/ha). El tratamiento T₃ (3000 Kg/ha), aunque con promedio mayor al tratamiento T₂ (Cuadro 28 y Figura 14), no demostró ser estadísticamente superior ($p < 0.05$) de acuerdo al test de Duncan. Se puede observar también que todas las dosis probadas fueron diferentes y superior al testigo (sin encalado).

Cuadro 29. Promedio de altura de copa de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de encalado con CaCO₃.

OM	Tratamientos	Alt. Copa (m)	Sig.
1	T ₃ = 3000 Kg/ha.	1.73	a
2	T ₂ = 2000 Kg/ha.	1.67	a
3	T ₁ = 1000 Kg/ha.	1.51	b
4	T ₀ = Testigo	1.39	c

Letras diferentes indican diferencias significativas según test de Duncan a $\alpha = 0.05$.

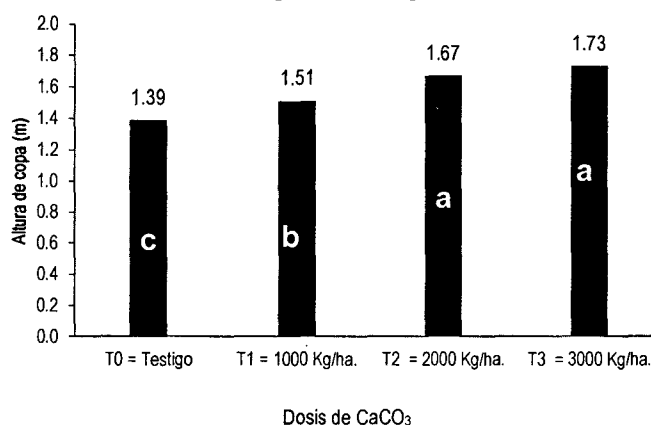


Figura 14. Altura de copa de *G. crinita* C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO₃- a 9 meses de evaluación.

Estadísticamente en términos de dispersión para altura de copa de bolaina (Cuadro 29), antes de aplicar los tratamientos (altura de copa inicial) y a 9 meses de evaluación (altura de copa final) sugiere que en términos medios las plantas de bolaina desarrollaron buena copa respecto al estado inicial. Particular significado puede tener, si observamos el valor de altura máxima, se puede decir que existieron plantas con desarrollo sobresaliente (Figura 15), influenciadas quizás fuera del efecto del encalado con CaCO_3 .

Cuadro 30. Estadística descriptiva para altura de copa en *G. crinita* C. Martius a 9 meses de aplicación de CaCO_3 .

Evaluación	Altura de copa (m)			
	Mín.	Máx,	Media	Dsv. estandar
Altura inicial	1.32	1.36	1.35	01,54
Altura final	1.36	1.88	1.56	15,08

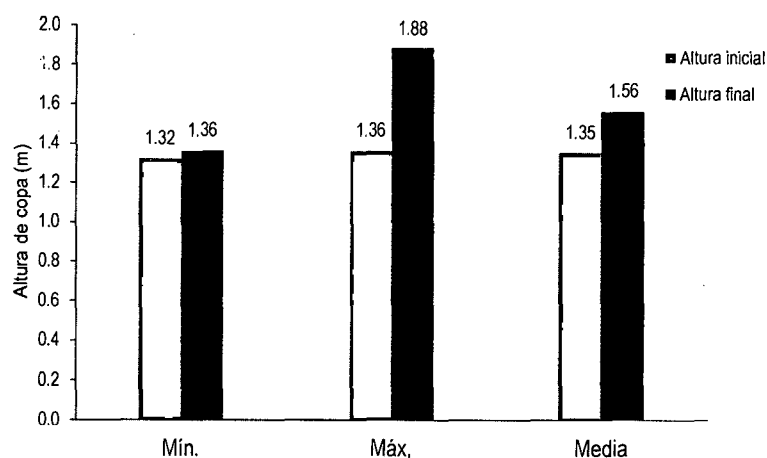


Figura 15. Altura inicial y final de copa en *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación bajo encalado con CaCO_3 .

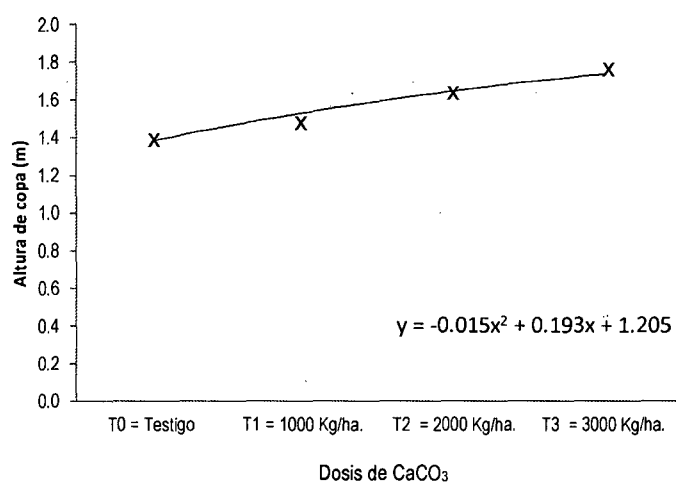


Figura 16. Relación de altura de copa y dosis de encalado en plantas de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de aplicación.

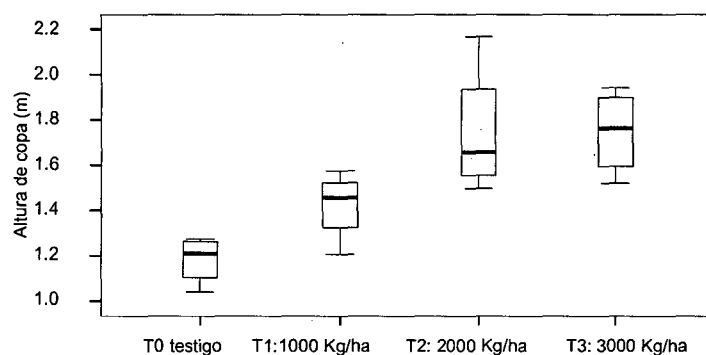


Figura 17. Diagrama de asimetría de observaciones para la altura de copa de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

Los resultados expresan relación positiva de la aplicación de encalado sobre altura de copa para bolaina blanca (Figura 16). No obstante se debe precisar que a dosis altas los efectos ya no son satisfactorios, existiendo una ligera disminución de la pendiente de la curva a dosis superiores del

tratamiento T₂ (2000 Kg/ha), esto sugiere que a dosis mayores no se obtiene el máximo beneficio de aplicar CaCO₃-. Asimétricamente también se confirma esto (Figura 17), donde las mayores observaciones corresponden a T₂ (2000 Kg/ha). Los resultados de altura de copa se relacionarían con el crecimiento de la planta, y que en bolaina al pasar de estadios iniciales de 1 año a juveniles de 2-4 años, generalmente existe una auto poda natural que hace que las ramitas se sequen a veces en una proporción de hasta 70.0 % respecto al tamaño total de la planta implicando una disminución en el crecimiento del plantío.

4.2.2. Efecto sobre diámetro de copa en *Guazuma crinita* C. Martius

EL efecto del encalado sobre el diámetro de copa de *Guazuma crinita* C. Martius no fueron significativos ($p < 0.05$) según ANVA (Cuadro 30). Este resultado significaría que las plantas de bolaina por su edad aún no han entrado en competencia por el espacio aéreo, confirmándose esto también con el del test de Duncan (Cuadro 31).

Cuadro 31. Análisis de varianza para diámetro de copa de *G. crinita* C. Martius tras 9 de evaluación de encalado con CaCO₃-.

FV	Diámetro de copa de <i>G. crinita</i> C. Martius					
	Ev. inicial			9 meses		
	GL	CM	Sig.	GL	CM	Sig.
Bloque	3	11,43	n.s	3	67,07	n.s
Dosis CaCO ₃ -	3	11,33	n.s	3	163,15	n.s
Error experimental	9	7,42		9	19,80	
Total	15			15		
CV %		17,56			22,17	

n.s = No significativo.

** = Altamente significativo. ($p < 0.01$).

Cuadro 32. Promedio de diámetro de copa de *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación bajo efecto de encalado con CaCO_3 .

OM	Tratamientos	Diámetro de copa (m)	Sig.
1	T ₃ = 3000 Kg/ha.	2.84	a
2	T ₂ = 2000 Kg/ha.	2.61	a
3	T ₁ = 1000 Kg/ha.	2.50	a
4	T ₀ = Testigo	2.20	ab

Letras diferentes indican diferencias significativas según test de Duncan a $\alpha = 0.05$.

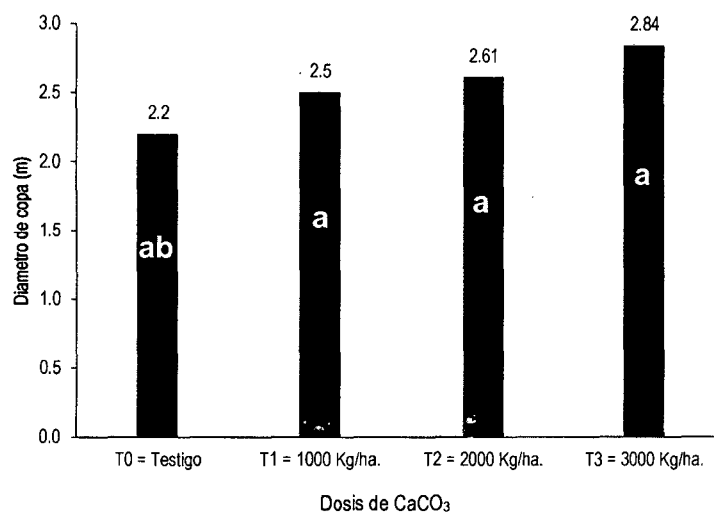


Figura 18. Diámetro de copa en *G. crinita* C. Martius bajo efectos de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

En forma gráfica también se puede observar los resultados expresados por el análisis de varianza y el test de Duncan. Los promedios de los tratamientos son similares (letra a) aunque existe ligero efecto favorecedor de los tratamientos respecto a la unidad experimental que no recibió encalado (testigo). El tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) y T₁ (1000 Kg/ha) en forma gráfica

fueron los más parecidos en sus efectos sobre el diámetro de copa a 9 meses de evaluación (Figura 18). La estadística descriptiva para diámetro de copa inicial y final de *Guazuma crinita* C. Martius (Cuadro 32) hace ver que no se presentó diferencia notable respecto a los valores iniciales, siendo la diferencia menores al 100 % apreciables en la representación de la Figura 19.

Cuadro 33. Estadística descriptiva del diámetro de copa en *G. crinita* C. Martius como resultado del efecto de encalado con CaCO_3 .

Evaluación	Diámetro de copa (m)			
	Mín.	Máx.	Media	Dsv. estándar
Diámetro inicial	1.52	2.10	1.85	3,01
Diámetro final	2.44	2.95	2.75	7,38

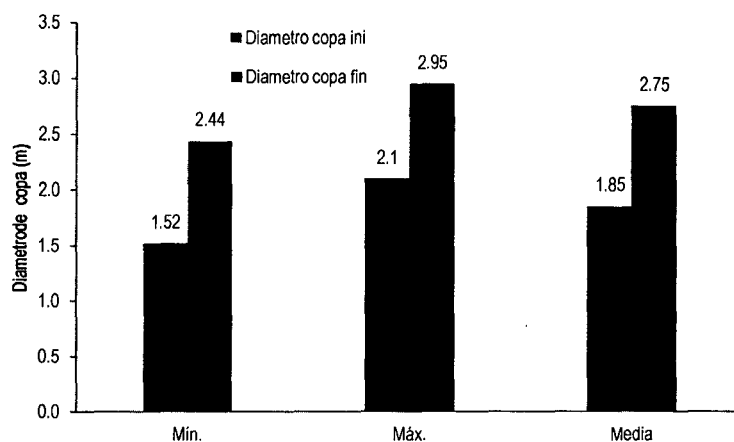


Figura 19. Diámetro inicial y final de copa en *G. crinita* C. Martius a 9 meses bajo efecto de encalado con CaCO_3 .

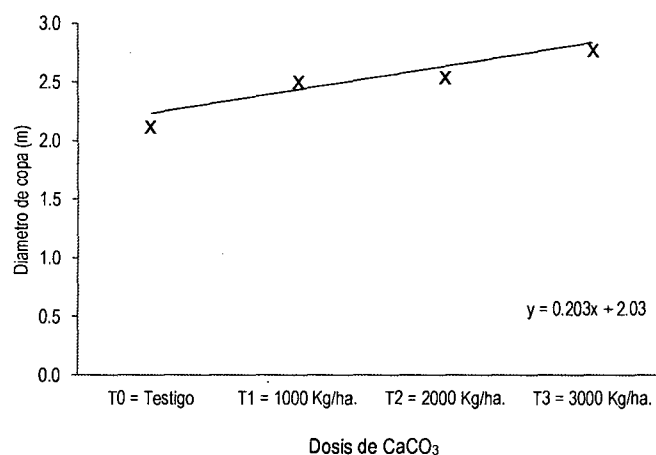


Figura 20. Relación del diámetro de copa de *G. crinita* C. Martius y dosis de encalado con CaCO₃ - a 9 meses de evaluación.

Existió una relación lineal positiva entre el diámetro de copa y los niveles de encalado aplicados en el experimento según la representación de la Figura 20. Sin embargo esta relación no demostró significancia estadística ($p < 0.05$, $p < 0.01$) de acuerdo a Duncan (Cuadro 31). Aunque se hubiese esperado resultados diferenciables en esta variable respuesta, los resultados parecen describir el comportamiento de esta especie en condiciones iniciales de plantación. Una explicación a este resultado podría recaer en la densidad del rodal, es decir el número de plantas iniciales registradas en la unidad experimental que fue a 3 x 3 metro (1111 plts./ha). En otros esquemas de instalación se manejan generalmente distanciamientos menores como 2.5 x 2.5 metros donde se alcanzan alrededor de 1600 plts./ha. Esta diferencial de densidad afecta el desarrollo inicial de las plantas ya que existirá una competencia del espacio a una edad más temprana. El resultado de esto se muestra en el rodal generalmente por un elevado porcentaje de suprimidos. Para

caso del experimento el distanciamiento de los plantas de bolaina pareció adecuado porque hasta el momento de la evaluación no se observó la supresión de individuos, salvo por daños mecánicos u otro particular mas no por competencia del espacio aéreo de las copas.

Los resultados no significativos obtenidos tanto en el ANVA y test de Duncan se reflejan también en la asimetría de datos de la evaluación correspondiente al diámetro de copa de *Guazuma crinita* C. Martius según Figura 21. Existió amplio rango de valores como efecto del tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) redundando en alta dispersión de datos, mientras que las medias fueron casi similares entre T₁ (1000Kg/ha) y ligeramente inferiores a T₃ (3000Kg/ha).

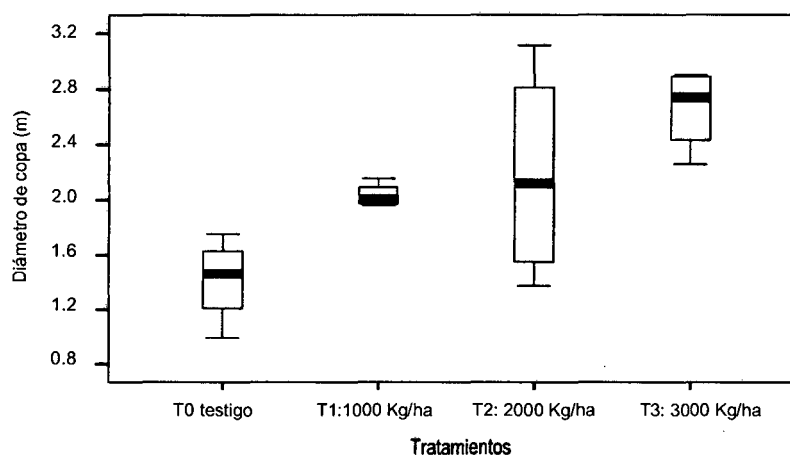


Figura 21. Asimetría de observaciones para diámetro de copa de *G. crinita* C.

Martius bajo encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

4.2.3. Efecto sobre número de ramas vivas

El ANVA (Cuadro 33) y el test de Duncan (Cuadro 34), para el número de ramas vivas de *Guazuma crinita* C. Martius sugiere que el encalado con CaCO_3 fue diferente ($p < 0.05$) solo al testigo, determinándose que los tratamientos T_1 (1000 Kg/ha), T_2 (2000 Kg/ha) y T_3 (3000 Kg/ha) produjeron para este caso resultados similares ($p < 0.05$) en la variable respuesta.

Cuadro 34. Análisis de varianza para el número de ramas vivas en *G. crinita* C. Martius tras 9 meses de encalado con CaCO_3 .

FV	Número de ramas vivas de <i>G. crinita</i> Martius					
	Ev. inicial			9 meses		
	GL	CM	Sig.	GL	CM	Sig.
Bloque	3	0,15	n.s	3	0,88	*
Dosis de CaCO_3 -	3	0,06	n.s	3	0,94	*
Error experimental	9	0,07		9	0,23	
Total	15			15		
CV %		9,32			10,54	

n.s = No significativo.

* = Significativo ($p < 0.05$).

Cuadro 35. Promedio del número de ramas vivas en *G. crinita* C. Martius tras encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

OM	Tratamientos	Promedio número de ramas vivas	Sig.
1	$T_3 = 3000$ Kg/ha.	11.28	a
2	$T_2 = 2000$ Kg/ha.	10.34	a
3	$T_1 = 1000$ Kg/ha.	10.12	ab
4	$T_0 =$ Testigo	8.97	b

Letras diferentes indican diferencias significativas según test de Duncan a $\alpha = 0.05$.

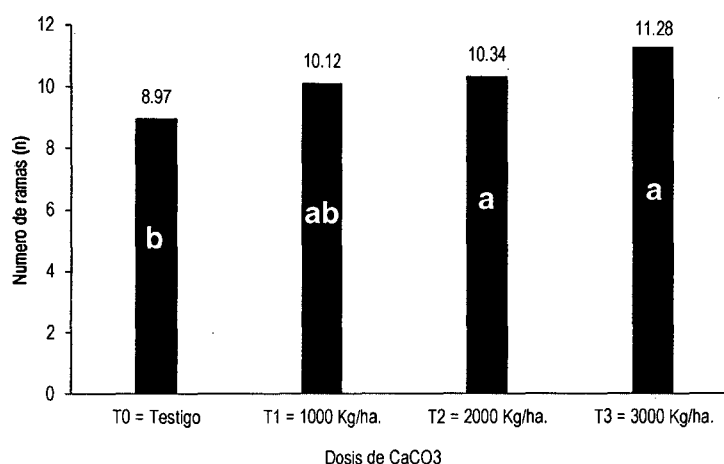


Figura 22. Número de ramas vivas de *G. crinita* C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO₃ - a 9 meses de evaluación.

La grafica del orden de los promedios según Duncan, muestra al igual que el resultado estadístico similitud entre T₁, T₂ y T₃. La explicación a esto recaería en la auto poda presente en bolaina, pues se nota que el efecto de éste es de manera general en un rodal de bolaina y que afecta tanto a plantas que muestran buen crecimiento y a otras que no tanto. De otra lado, la estadística descriptiva para la número de ramas vivas hace notar que no se presentó diferencia apreciable respecto a los valores iniciales (Figura 23).

Cuadro 36. Estadística descriptiva para número de ramas vivas ven *G. crinita* C. Martius tras encalado con CaCO₃ - a 9 meses de evaluación.

Evaluación	Número de ramas vivas en <i>G. crinita</i> Martius			
	Mín.	Máx.	Media	Dsv. estándar
Nº de ramas inicial	7	11	9.5	0,28
Nº de ramas final	8	13	11.5	0,70

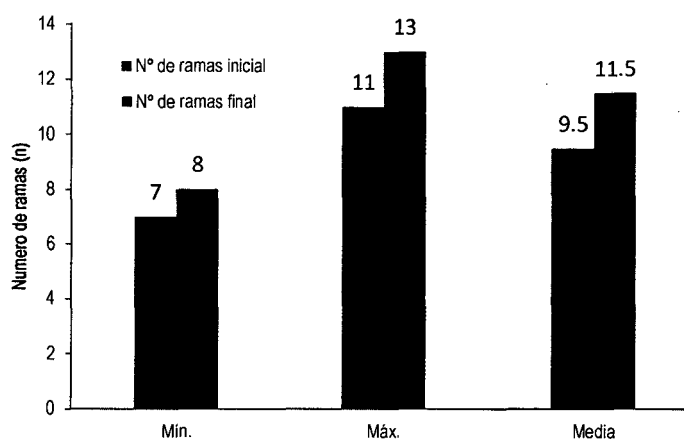


Figura 23. Número de ramas vivas en *G. crinita* C. Martius tras encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

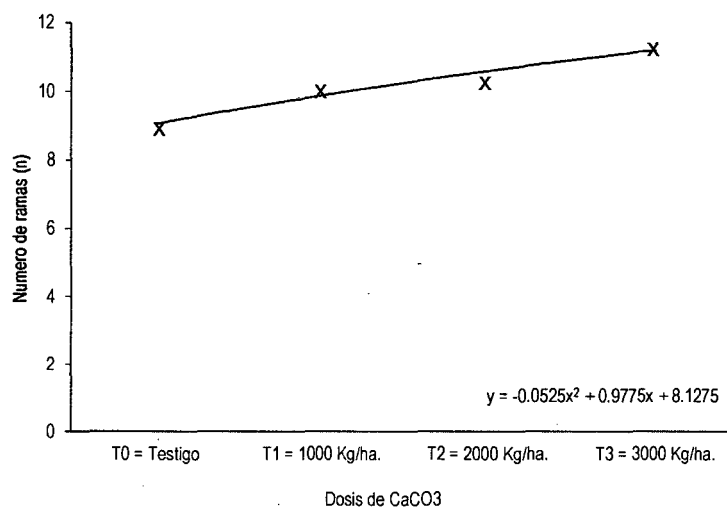


Figura 24. Relación del número de ramas vivas en *G. crinita* C. Martius bajo efecto de encalado con CaCO_3 - a 9 meses de evaluación.

En cuanto a la relación para esta variable evaluada, los resultados del número de ramas vivas de *Guazuma crinita* C. Martius mostró mejor curva

de ajuste a función polinómica de segundo grado (Figura 24), se observa que la curva tiende a disminuir conforme el nivel de dosificación llega al tratamiento T₃ (3000 Kg/ha), por lo que se puede afirmar que, al igual que para las variables altura de planta y diámetro el tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) resulta ser óptima.

La representación gráfica del grado de dispersión de las observaciones para el número de ramas vivas por planta de *Guazuma crinita* C. Martius se muestra en la Figura 25. Se observa que los mayores valores son alcanzados por las dosis T₃ (3000 Kg/ha) y T₂ (2000 Kg/ha). Asimismo, es de notar que la dispersión de las observaciones son en sentido superior por que podría dar indicios de un efecto positivo no observadas en el experimento dado el tiempo de evaluación y que podrían ser más notorios en sucesivas evaluaciones del experimento.

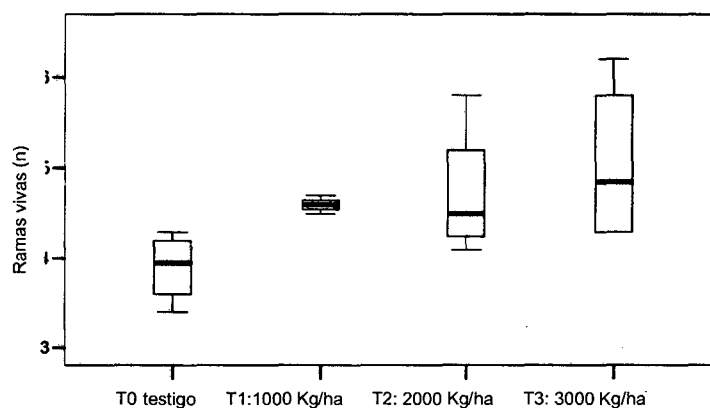


Figura 25. Diagrama de asimetría de datos del número de ramas vivas en *G. crinita* C. Martius a 9 meses de evaluación.

4.3. Efecto del encalado con CaCO_3 sobre propiedades físicas y químicas del suelo en plantación de *Guazuma crinita* C. Martius

4.3.1. Efecto en propiedades físicas

El encalado no produjo cambios en relación con valores iniciales del porcentaje de limo, arena y arcilla que determinaron la textura del suelo en la parcela experimental (Cuadro 18). La textura se mantuvo en mayor proporción en franco arenosa para los primeros 30 cm de profundidad de suelo.

Cuadro 37. Resultados de análisis de suelo por bloque a 9 meses de encalado con CaCO_3 en parcela experimental.

Muestra	Análisis mecánico				Reacción del suelo				
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	M.O (%)	pH (1:1)	C.E. dS/m		
Bloque I	46,0	44,0	10,0	Fr.	2,3	5,26	0,32		
Bloque II	54,0	38,0	8,0	Fr.A.	4,2	6,37	1,02		
Bloque III	56,0	32,0	32,0	Fr.A.	5,1	6,17	0,77		
Bloque IV	24,0	44,0	32,0	Fr.Ar.	6,2	6,10	0,63		
	Macro Nutrientes				Micro nutrientes				
	N (%)	P (ppm)	K ⁺ (ppm)	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn ²⁺ (ppm)	
Bloque I	0.04	5,1	172	0,5	0,6	12,2	2,7	0,6	
Bloque II	0,08	9,7	187	0,3	0,7	16,5	1,8	0,5	
Bloque III	0.10	7,5	210	0,3	0,6	14,5	0,9	0,7	
Bloque IV	0.12	6,5	197	0,2	0,8	22,3	1,7	0,8	
Capacidad de intercambio Catiónico (CIC) meq/100 g.									
	CIC	Ca ²⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	Sum. Cats.	Sum. Bs	% Sat. Bases
Bloque I	18,72	13,92	4,10	0,39	0,11	0,20	18,72	18,52	99
Bloque II	43,20	33,42	5,20	0,89	0,10	0,00	39,61	39,61	92
Bloque III	28,16	21,79	5,48	0,66	0,23	0,00	28,16	28,16	100
Bloque IV	62,88	51,49	5,49	1,01	0,20	0,00	58,19	58,19	93

Fuente: LASPAF-Universidad Nacional Agraria la Molina UNALM, diciembre 2013.

Generalmente, experimentos de encalado han reportado mejoras en las propiedades físicas del suelo, produciendo como rango ideal texturas ligeras. En el experimento no existió cambio, puesto que la textura inicial del suelo en la parcela experimental fue "ligero" franco arenoso (Fr.A.). Sin embargo, se evidenció un ligero incremento en las proporciones de limo (Figura 26) dados en el tratamiento T₃ (3000 Kg/ha), manteniéndose también este comportamiento, aunque en menor magnitud en los tratamientos T₂ (2000 Kg/ha) y T₁ (1000 Kg/ha). Por su parte, el tratamiento T₀ testigo ha mantenido casi invariable las proporciones de limo, arcilla y arena.

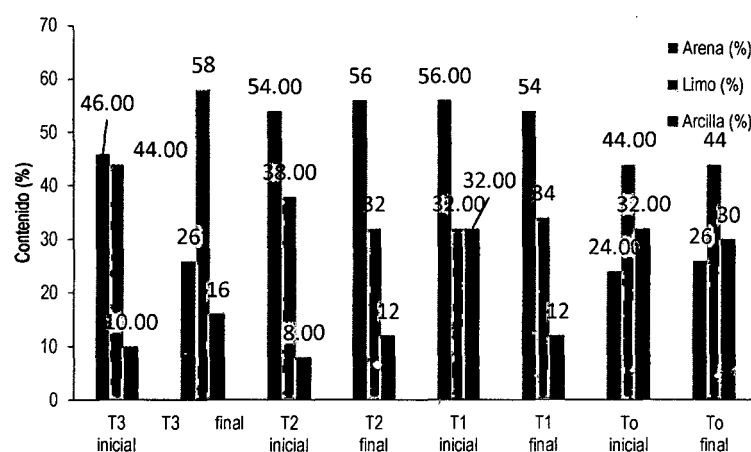


Figura 26. Efecto del encalado en textura del suelo a 9 meses de evaluación.

La mejoría por encalado con CaCO_3 - esta medida en cambios de textura, es decir el suelo pasa de ser pesada a ligera, por ejemplo, de arcilloso a franco arcilloso o franco limoso. En esto, es preciso señalar que los resultados más notorios se dan cuando el encalado es acompañada de subsolado, puesto que de esta forma existe un proceso mecánico que rompe la capa superficial

arable de 30-40 cm. Esta práctica permite que parte de la materia orgánica y rastrojos que se sitúa superficialmente pase conjuntamente con el CaCO_3 a lados más profundos produciendo como resultado el incremento de actividad de microorganismos que aligeran el suelo.

4.3.2. Efecto en propiedades químicas

El incremento de los cationes intercambiables como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ ha suscitado respuesta evidenciable a la incorporación de Ca^{2+} al suelo según los resultados del análisis de suelo (Cuadro 38). Al respecto, si bien los tratamientos aplicados ha denotado efecto favorecedor sobre el aumento de cationes en el suelo, no parece haber existido una relación clara sobre el incremento de dosis. Se puede advertir que otros factores podrían haber incidido sobre el efecto final, pudiendo ser, tipo mantenimiento (control de maleza) tipo de maleza presente en el sitio, humedad del suelo, textura, etc.

Cuadro 38. Disponibilidad de cationes en el suelo a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO_3 .

Tratamientos	Cationes intercambiables meq/100g			
	Ca^{2+}	Mg^{+2}	K^+	$\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$
To inicial	11.95	1.21	0.16	0.3
To final	13.92	4.1	0.39	0.2
T1 inicial	11.28	2.51	0.38	0.3
T1 final	33.42	5.20	0.89	0.0
T2 inicial	7.90	2.62	0.45	0.2
T2 final	21.79	5.48	0.66	0.0
T3 inicial	39.12	2.81	0.64	0.4
T3 final	51.49	5.49	1.01	0.0

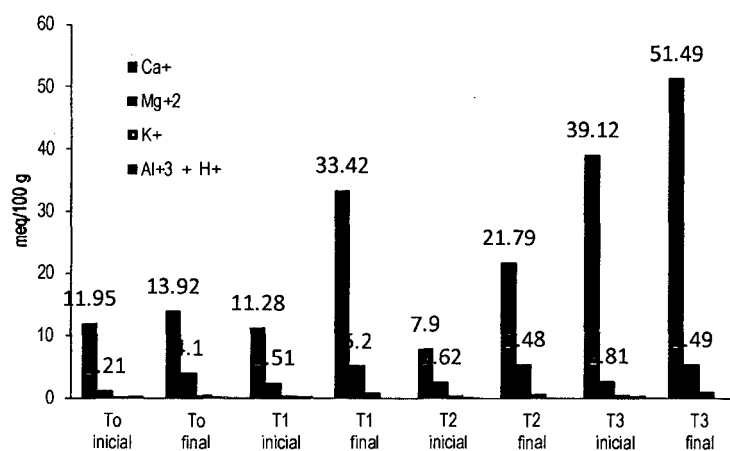


Figura 27. Disponibilidad de cationes en el suelo a 9 meses de evaluación tras encalado con CaCO_3 .

En la misma línea de efectos positivos del encalado, los resultados también indican que los cationes Al^{+3} y H^+ fueron reducidos en proporción considerable en relación a condiciones iniciales del experimento. Así, se observa que el tratamiento T_1 (1000 Kg/ha), T_2 (2000 Kg/ha) y T_3 (3000 Kg/ha) redujeron el Al^{+3} y H^+ a 0.0 meq/100g, teniendo como valores iniciales de 0.3, 0.2 y 0.4 meq/100g respectivamente. Este hecho es importante, ya que la acidez de recambio corresponde al H^+ y Al^{+3} intercambiables en la solución del suelo, que son los que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas.

Los efectos del encalado encontrados en el experimento dan luces para el manejo eficiente de la acidez en condiciones de plantación, ya que el valor de saturación de Al^{+3} o acidez intercambiable es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez. Considerando ello, la saturación de acidez

(que es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por Al^{+3} y H^+) fue reducida de 1.44 % a 0.0 %.

En cuanto al pH, se reconoce que este esta directamente relacionado con el % de saturación de acidez, ya que el Al^{+3} intercambiable precipita entre pH 5.5 y 6.0. Cuando el pH es menor de 5.5 el Al^{+3} se solubiliza, y por lo tanto, resulta más abundante. Citando los resultados del análisis de suelo al final del experimento (Cuadro 37), vemos que los tratamientos si moderaron el pH del suelo, pasando de: En T₁ (1000 Kg/ha) de muy fuertemente acido a ligeramente acido, en T₂ (2000 Kg/ha) de fuertemente acido a ligeramente acido, y en T₃ (3000 Kg/ha) de moderadamente acido a ligeramente acido. El testigo no viró cambio en la condición de acidez permaneciendo en fuertemente acido tanto en la evaluación inicial y final del experimento (Cuadro 18, 37 y 39).

Cuadro 39. Saturación de bases, pH y contenido de materia orgánica en *G. crinita* C. Martius bajo efecto de encalado a 9 meses de evaluación.

Tratamientos	Reacción del suelo y M.O			
	pH (1:1)	Sat. Bases (%)	CIC	M.O (%)
To inicial	5.12	0.81	16.64	2.1
To final	5.26	0.99	18.72	2.3
T1 inicial	4.96	0.74	19.12	3.8
T1 final	6.37	0.92	43.20	4.2
T2 inicial	5.10	0.71	15.52	2.6
T2 final	6.17	1.00	28.16	5.1
T3 inicial	5.62	0.89	48.00	4.3
T3 final	6.10	0.93	62.88	6.2

La saturación de bases que corresponde al Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ también se vio mejorada por efecto del encalado (Cuadro 39). De acuerdo al resultados, la saturación de bases se incrementó en promedio 17.0 %. Respecto a valores iniciales. La materia orgánica aumentó también, mostrando mejor respuesta el tratamiento T₂ (2000 Kg/ha), que afecto cambio de 2.6 % a 5.1 % y el tratamiento T₃ (3000 Kg/ha) que afecto cambio de 4.3 % a 6.2 %. (Figura 28).

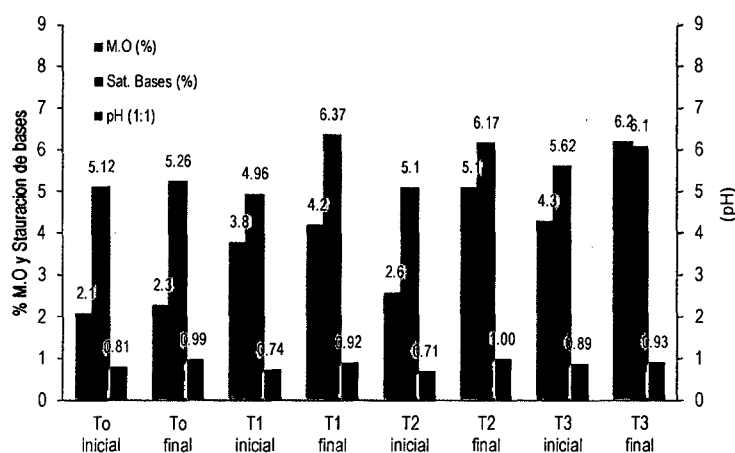


Figura 28. Niveles de M.O, pH y saturación de bases bajo efecto de CaCO_3 a 9 meses de evaluación en plantación de *G. crinita* C. Martius.

Por último, el efecto del encalado igualmente causó mejoras en la disponibilidad de macro nutrientes en el suelo. Se observa que, el nitrógeno y el potasio fueron los elementos que más mejoras mostraron en su disponibilidad. El tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) y T₃ (3000 Kg/ha) juzgaron mayor efecto al incrementar de 0.05 y 0.08 % a 0.10 y 0.12 % respectivamente los contenidos de nitrógeno disponible en el suelo. En cambio el fósforo fue poco afectado por

la aplicación de CaCO_3 - ya que este elemento es poco dinámico en el suelo y depende de otros factores para el incremento de su stock en el suelo (Cuadro 40 y Figura 29).

Cuadro 40. Macro nutrientes presentes en el suelo tras encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación en plantación de *G. crinita* C. Martius.

Tratamientos	Macro nutrientes		
	N (%)	P (ppm)	K ⁺ (ppm)
To inicial	0.04	4.5	104
To final	0.04	5.1	172
T1 inicial	0.07	7.9	125
T1 final	0.08	9.7	187
T2 inicial	0.05	5.1	115
T2 final	0.10	7.5	210
T3 inicial	0.08	6.5	146
T3 final	0.12	6.5	197

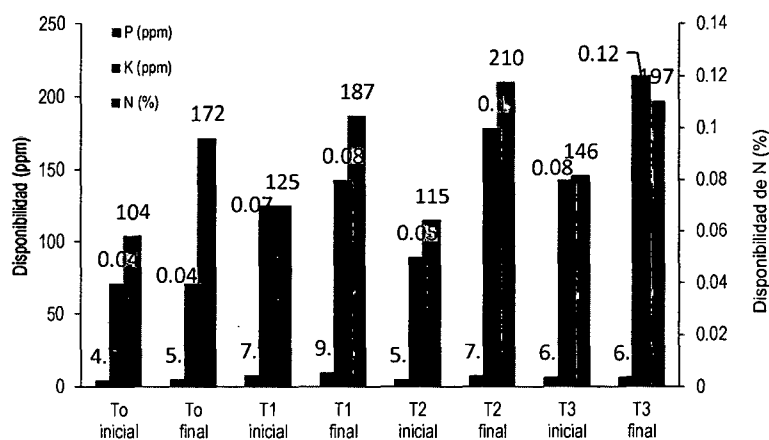


Figura 29. Disponibilidad macro nutrientes N, P y K⁺ bajo efecto de encalado con CaCO_3 a 9 meses de evaluación.

V. DISCUSIÓN

5.1. Crecimiento de diámetro y altura de *Guazuma crinita* Martius

En suelos tropicales uno de los principales inconvenientes para el desarrollo de actividades tanto agrícolas o forestales es el alto contenido de Al^{3+} en el suelo, cuyo principal indicador es la reacción del pH, que es la medida de concentración de los iones hidrógeno en la solución del suelo (BINKLEY, 1993). En estas condiciones, el encalado con $CaCO_3$ logra de alguna manera corregir ese inconveniente, al aumentar el nivel de pH y favorecer en mucho aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (ALVARADO *et al.*, 1996). En respuesta a estos efectos, los resultados del experimento (Cuadro 22) mostraron favorecer el desarrollo de la plantación de *Guazuma crinita* C. Martius, tanto en altura y diámetro ($p < 0.01$) a 9 meses de evaluación.

Los tratamientos que promovieron mejores efectos tanto en altura y diámetro de planta fueron T_2 (2000 Kg/ha) y T_3 (3000 Kg/ha). Sin embargo, pese a mayor cantidad de $CaCO_3$ en el último, no mostró ser superior ($p < 0.05$) al tratamiento T_2 (Cuadro 23). Esto estaría explicado por la capacidad amortiguadora (buffer) de cada suelo en los bloques. De acuerdo con LOPEZ (1980), en aquellos suelos con menor contenido de arcilla y materia orgánica existe un mayor ascenso en pH, con la misma dosis de encalado. Por su parte FERRANDO (2013), sostiene que la humedad también desempeña importante

rol en la capacidad correctora de acidez del encalado, puesto que se requiere de moléculas de H₂O que participan reaccionando con el Ca²⁺ sobre hidróxidos de Al³⁺ hasta lograr precipitarlos.

El crecimiento en altura de planta, según los resultados a 9 meses del encalado (Cuadro 23) fueron en promedio 5.97 m para T₃, 5.70 m para T₂, 5.17 m para T₁ y solo 4.50 m para el testigo. A una edad de 1.75 años las alturas obtenidas en el experimento han sido inferiores a lo reportado por Sotelo *et al.* (1999), citado por REYNEL *et al.* (2003), quienes informaron la evaluación de alturas de 4.9-5.7 m a 1 año de edad. La diferencia entre estos resultados confirma que *Guazuma crinita* C. Martius es una especie que requiere condiciones muy adecuadas para demostrar su máximo potencial de crecimiento lo que confirma también lo establecido por (CORNELIUS, 2004). Es preciso señalar que la plantación de la especie evaluada se desarrolló en un suelo con uso anterior de pasto por 4 años. Lo que implicaría moderada acidificación del suelo y contenido deficiente de nutrientes (Cuadro 17). Esto se evidencia en el análisis de caracterización de suelo realizado en la calicata, donde se encontró niveles de N 0.11-0.05 % hasta 45 cm de profundidad muy bajo, P 3.6-4.5 ppm hasta 45 cm de profundidad bajo, y K⁺104-112 ppm hasta 45 cm de profundidad bajo o deficitario. La limitada concentración de estos elementos justificaría el menor crecimiento de bolaina en la parcela experimental en comparación a lo informado por Sotelo *et al.* (1999). En comparación con otros trabajos, el crecimiento en altura obtenidos en el experimento han sido superiores a los 1.44-

2.93 m de altura a 2 años de edad informado por VILLA CHICA *et al.* (1993), a los 2.5 m a 1.5 años de edad reportado por DE LA CRUZ (1999).

El diámetro de planta DAP demostró mayor crecimiento al igual que la altura por efectos del encalado sobre el testigo. Las mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento T₃ (3000 Kg/ha) y T₂ (2000 Kg/ha) alcanzando 8.43 cm y 8.13 cm para cada caso. Aunque T₃ indujo efecto ligeramente superior sobre T₂ este no fue significativo ($p < 0.05$). Esto indicaría que con el tratamiento T₂ se obtendría resultados adecuados en términos de optimización. El tratamiento T₁ (1000 Kg/ha) con 7.65 cm causó menor efecto sobre el diámetro, pero fue superior al testigo que solo mostro 7.13 cm. En contraste a otros resultados el crecimiento diamétrico obtenido fue inferior a los 9.50 cm (INIA, 2006) evaluados en una plantación de 1.3 años, localizado en suelo gleysol a una densidad de 400 arb/ha. La diferencia de estos resultados estaría relacionada a la consistencia del rodal. No obstante la poca información sobre la incidencia de la densidad inicial en la instalación de plantaciones de bolaina blanca, se conoce que en esta especie el crecimiento diamétrico está relacionada en gran medida a la densidad del rodal (CICFOR, 2011). En función a esto se han probado densidades de 2000, 1600, 1111 y 625 árb/ha, durante los tres primeros años. Concluyéndose la densidad inicial de plantación influye significativamente en el crecimiento en altura total, altura comercial altura dominante, así como en la productividad relacionada al área basal por hectárea, volumen por hectárea, y que influye significativamente en el crecimiento del DAP, área basal por árbol y volumen por árbol.

5.2. Del efecto de la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3 .) sobre altura de copa, diámetro copa y número de ramas vivas de *Guazuma crinita* C. Martius

La altura de copa es un importante indicador del estado fisiológico de bolaina blanca en plantaciones puras. Como se comentó, la característica de auto poda natural de bolaina blanca descrita por REYNEL *et al.* (2003) representa una ventaja en condiciones de manejo sobre todo en ahorro de coste que demandaría esta actividad. Pero, paradójicamente esta cualidad representa un cierto problema, en la medida que, es justamente en las ramas portadora de hojas donde se desarrolla todo el proceso fotosintético. Tanto en condición de plantaciones coetáneas, y en manchales de regeneración natural la auto poda se observa en poblaciones jóvenes a inicios de periodos de menor precipitación. Este podría ser un comportamiento de la especie para de alguna manera economizar el agua dentro de sus células. En principio, se conoce que las plantas con metabolismo C3 presentan deficiencias en cuanto a la forma de utilizar el agua en condiciones de sequedad. Es en este tipo de plantas donde se produce la foto respiración. Este proceso, implica el cierre de las estomas de las hojas como medida preventiva ante la posible pérdida de agua. La suma de todo estos procesos determinarían la auto poda en esta especie, dando como resultado perdida de área foliar y por lo tanto también de productividad.

En este contexto, partiendo de los resultados obtenidos según análisis de varianza (Cuadro 27), el efecto de los tratamientos sobre altura de copa fueron significativos ($p < 0.001$), después de 9 meses de encalado con

CaCO₃. Así, las dosificaciones de T₁ (1000 Kg/ha), T₂ (2000 Kg/ha) y T₃ (3000 Kg/ha) ayudaron a mantener una buena dimensión de copa en contraste al testigo que no recibió encalado (Cuadro 29 y Figura 14). La explicación a este efecto recaería sobre el aumento de disponibilidad de Ca²⁺ y K⁺. El primero porque estimula el crecimiento de raíces que son los responsables de “buscar” agua, además de favorecer la absorción de N. En segundo lugar, el incremento de K⁺ disponible en el suelo (Cuadros 18, 40, 37), surtió un efecto benéfico para el mantenimiento de buena proporción de copa, ya que este elemento se le atribuye la responsabilidad de fomentar el uso eficiente de agua en la planta al participar activamente en la regulación hídrica y movimiento de otros nutrientes. Además, cabe indicar también que el potasio regula la apertura y cerrado de los estomas, y su deficiencia no permite que los estomas se cierren rápidamente fomentando que la planta pierda agua (DEVLIN, 1975). A todo esto, si bien no se ha logrado disminuir al 100 % la incidencia de auto poda en la especie estudiada, el efecto alcanzado fue entre 8-19 %, respecto al testigo. En base a esto se puede sostener que el encalado favorece el desarrollo y mantenimiento de altura de copa viva, en proporción superior a los obtenidos sin tratamiento.

En relación al diámetro de copa, el resultado del ANVA determinó que los tratamientos de encalado con CaCO₃ no fueron significativos ($p < 0.05$) (Cuadro 30). El resultado evidencia que las plantas de bolaina por su edad (19 meses) aún no han entrado en competencia por el espacio aéreo, confirmándose esto también con el del test de Duncan (Cuadro 31 y Figura 18). En plantaciones donde el espaciamiento uniforme de las plantas genera inicialmente la formación

de copas uniformes, estas van variando conforme el rodal gana edad. Es así, que algunas, se convertirán en dominantes, otros co dominantes, intermedios y finalmente suprimidos. Este comportamiento es observado generalmente en plantaciones mayores a 2-3 años. Una explicación a este resultado podría recaer en la densidad del rodal, es decir el número de plantas iniciales registradas en la unidad experimental que fue a 3 x 3 metros (1111 plts./ha). En otros esquemas de instalación se manejan generalmente distanciamientos menores como 2.5 x 2.5 metros donde se alcanzan alrededor de 1600 plts./ha. Esta diferencial de densidad afecta el desarrollo inicial de las plantas ya que existirá una competencia del espacio a una edad más temprana. Como resultado de esto se muestra en el rodal generalmente un elevado porcentaje de suprimidos o alta variabilidad en los diámetros y alturas de copa. Para caso del experimento el distanciamiento de los plantas de bolaina pareció adecuado porque hasta el momento de la evaluación no se observó la supresión de individuos, salvo por daños mecánicos u otro particular mas no por competencia del espacio aéreo de las copas. Modesta mención respecto a esto, se ha observado fuera de la parcela experimental que algunos individuos presentan copas bien desarrolladas, tanto en diámetro y altura, no presentan signos de auto poda y sobre todo alcanzan dimensiones sobresalientes tanto en diámetro y altura total. Sin duda otros factores fuera del alcance del presente trabajo interactúan en este hecho.

La variable respuesta número de ramas vivas sugiere que el encalado con CaCO_3 fue diferente ($p < 0.05$) solo al testigo, determinándose que los tratamientos T_1 (1000 Kg/ha), T_2 (2000 Kg/ha) y T_3 (3000 Kg/ha) produjeron

para este caso resultados similares ($p < 0.05$) según análisis ANVA (Cuadro 34). El bajo efecto de los resultado es atribuible a la auto poda de la especie. Si bien no existe conocimiento pleno de los aspectos fisiológicos de este comportamiento (auto poda) en bolaina blanca, podría señalarse que pequeñas concentraciones Al^{3+} en el suelo determinarían en mayor grado la auto poda lo que concordaría con lo expuesto por ARA (1999) quien menciona que Al^{3+} en el suelo conlleva necesariamente a obtener alta variabilidad de desarrollo. Siendo este hecho muy significativo en los primeros estadios de la plantación (1-2 años). Reconociendo las limitaciones y alcances del trabajo realizado con el encalado se quiso probar de qué manera un incremento en la disponibilidad de Ca^{2+} , con la correspondiente disminución de la acidez del suelo podría influenciar sobre el mantenimiento de mayor número posible de ramas vivas, hecho se significaría un incremento en la productividad de la plantación.

5.3. Del efecto del encalado con $CaCO_3$. en las propiedades físicas y químicas del suelo a 9 meses de evaluación en plantación de *Guazuma crinita* C Martius

Las propiedades físicas del suelo en cuanto al efecto del encalado con $CaCO_3$ - no produjeron cambios significativos en relación con valores del porcentaje de limo, arena y arcilla que determinaron la textura inicial del suelo en la parcela experimental (Cuadro 18 y 37). Dos factores pudieron influenciar en este resultado, la forma de aplicación que fue al boleado sin sub solar y el tiempo de evaluación. Es común en práctica de encalado esperar respuestas lentas. Mayormente la rapidez de acción está en función a la calidad del material

calcáreo. Se espera que estos reaccionen con los elementos del suelo en periodos de 0.4-2.0 años. La reactividad del calcáreo estará en función a condiciones del sitio, como tipo de textura, humedad, condiciones climáticas, modo de aplicación, cantidad utilizada y calidad del material calcáreo. Generalmente, experimentos de encalado han reportado mejoras en las propiedades físicas del suelo, produciendo como rango ideal texturas ligeras (VAZQUES *et al.*, 2009). De cierto modo se confirma lo mencionado, ya que se evidenció un ligero incremento en las proporciones de limo (Cuadro 37 y Figura 26) dados en el tratamiento T₃ (3000 Kg/ha), manteniéndose también este comportamiento, aunque en menor magnitud en el tratamiento T₁ (1000 Kg/ha), para luego disminuir en el tratamiento T₂ (2000 Kg/ha). En éste caso particular podría haber existido el influjo de factores no controlados. Por su parte, el tratamiento T₀ testigo ha mantenido casi invariable las proporciones de limo, arcilla y arena. Esto da razón a lo que se cree, en relación a los efectos mejoradores del encalado en las propiedades físicas del suelo. Los cambios estarían asociados al aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiables, a causa del incremento de pH y su incidencia en las cargas catiónicas variables. Semejante observación afirma McLean (1971) citado por MORAN (2009), quien sostiene que encalado mejora las propiedades físicas del suelo debido a que el Ca²⁺ actúa como floculante de los coloides que presentan carga negativa, reforzando la cohesión de los agregados como consecuencia del estímulo del desarrollo vegetal, aumentando la biomasa radicular y el contenido de materia orgánica.

En cuanto a las propiedades químicas según los resultados del análisis de suelo (Cuadro 38 y Figura 27), estos si presentaron mejoras significativas, tanto el incremento de cationes cambiabiles como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ y el CIC. El tratamiento T_1 (1000 Kg/ha) logró un incremento de CIC de 19.12 meq/100g a 43.20 meq/100g, T_2 (2000 Kg/ha) logró un aumento de 15.52 meq/100g a 28.16 meq/100g y T_3 (3000 Kg/ha) de 48.00 meq/100g a 62.88 meq/100g. No obstante, si bien los tratamientos aplicados han denotado efecto favorecedor sobre el aumento de cationes en el suelo y el CIC, no parece haber existido una relación clara sobre el incremento de dosis.

Otra propiedad química importante en el suelo controlado por el encalado fue la saturación de acidez, la cual está representada por los cationes Al^{+3} y H^+ . Los resultados demostraron que estos elementos fueron reducidos "inmovilizados" en proporción considerable en relación a condiciones iniciales del experimento (Cuadro 17, 18 y 37). Así, se observa que el tratamiento T_1 (1000 Kg/ha), T_2 (2000 Kg/ha) y T_3 (3000 Kg/ha) redujeron el Al^{+3} y H^+ a 0.0 meq/100g, teniendo como valores iniciales de 0.3, 0.2 y 0.4 meq/100g respectivamente. Este hecho es importante, ya que la acidez de recambio corresponde al H^+ y Al^{+3} intercambiabiles en el suelo, que son los que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas.

La reacción pH del suelo fue otra mejora lograda con el aumento de disponibilidad de Ca. Se conoce que el % de saturación de acidez está directamente relacionado con Al^{+3} intercambiable, y que este se precipita entre valores de pH 5.5 y 6.0. Cuando el pH es menor de 5.5 el Al^{+3} se solubiliza, y por

lo tanto, resulta más abundante (FERRANDO, 2013). Citando los resultados del análisis de suelo al final del experimento (Cuadro 37), vemos que los tratamientos si moderaron el pH del suelo, pasando de: En T₁ (1000 Kg/ha) de muy fuertemente ácido a ligeramente ácido, en T₂ (2000 Kg/ha) de fuertemente ácido a ligeramente ácido, y en T₃ (3000 Kg/ha) de moderadamente ácido a ligeramente ácido. El testigo no viró cambio en la condición de acidez permaneciendo en fuertemente ácido tanto en la evaluación inicial y final del experimento (Cuadro 18, 37 y 39).

El incremento de la disponibilidad de Ca²⁺ también mejoró la disponibilidad de macro nutrientes en el suelo. Se observa que, N y el K⁺ fueron los elementos que más mejoras mostraron en su disponibilidad. El tratamiento T₂ (2000 Kg/ha) y T₃ (3000 Kg/ha) juzgaron mayor efecto al incrementar de 0.05 y 0.08 % a 0.10 y 0.12 % respectivamente los contenidos de nitrógeno disponible en el suelo. Esto indica que el N paso de condición limitante bajo a medio y K⁺ en T₁ paso de bajo ha adecuado 125 ppm a 187 ppm, T₂ paso de bajo a adecuado 115 ppm a 210 ppm, y con un efecto menos significativo T₃ paso de 146 ppm a 197 ppm (Cuadro 40). En cambio, el P fue poco afectado por el CaCO₃. Este resultado confirma la poca movilidad del P en contraste al N y K⁺, (CUVERO y VIEIRA, 1999; FERRANDO, 2013). Esto determinó condición limitante bajo del P hasta el final del experimento (Cuadro 40 y Figura 29).

Lo expuesto refleja la importancia del encalado en los primeros años de instalación de esta especie por lo que podría conformarse como un protocolo ineludible a seguir en futuros proyectos de deforestación en la zona.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que por efecto del encalado con 2000 Kg/ha de CaCO_3 ... determinó mayor incremento en altura y diámetro de planta de *Guazuma crinita* C. Martius.
2. Se evidencia que aplicando carbonato de calcio (CaCO_3 .) en el suelo a razón de 2000 Kg/ha determina una mayor altura de copa al mejorar las condiciones de regulación hídrica en plantas de *Guazuma crinita* C. Martius.
3. Una alta disponibilidad de carbonato de calcio (CaCO_3 .) en el suelo, no determinó efecto significativo sobre el diámetro de copa de *Guazuma crinita* C. Martius a una edad de plantación de 19 meses.
4. Se determinó que aplicando carbonato de calcio (CaCO_3 .) en el suelo a razón de 2000 Kg/ha logra mantener mayor número de ramas vivas en contraste a plantas de *Guazuma crinita* C. Martius que no recibieron dosis de encalado.
5. Se encontró que aplicando carbonato de calcio (CaCO_3 .) en el suelo a razón de 2000 Kg/ha produce mejoras físicas y químicas en las propiedades de suelo con plantación de *Guazuma crinita* C. Martius.

VII. RECOMENDACIONES

1. Replicar el trabajo para otras especies forestales que sean sensibles a la acidez y en diferentes condiciones de suelo.
2. Realizar estudios que consideren el análisis foliar para determinar con mayor precisión el efecto de la disponibilidad de Ca^{2+} sobre la altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas en bolaina blanca.
3. Realizar trabajos teniendo en consideración la saturación de acidez para determinar la cantidad adecuada de calcáreo a aplicar en diferentes condiciones de suelo.
4. Realizar experimentos similares en el que se consideren tipo de cobertura del suelo ya que esto pueden influenciar en el ciclaje de los nutrientes del suelo.

VIII. ABSTRACT

The research was carried out from march to november 2013,. geographically, the area was at 09° 16' 32" south latitude and 67°11' 08" west longitude, at an average altitude of 250 msnm. The purpose of the study was to determine the effect of the availability of in the soil in plantation sin to development *G. crinita*. To do this a total of 154.96 ha of plantation ages 1-5 years. A stand of 1 year old was selected in a plot of 4.08 ha the same 3x3 had a density ratio of 1111 trs/ha. Was used design of randomized complete block (RCBD) with 4 replications (blocks), where three treatments (doses) of CaCO₃ - T1 (1000 Kg/ha) was evaluated T2 (2000 Kg/ha), T3 (3000 Kg/ha) and a control (without Calcio). The results indicated that a high availability of carbonate of calcium in the soil for effect of the whitewashed one with 2000 Kg/ha of CaCO₃ - determines major increase in height and diameter of plant of. Likewise, there was demonstrated that by means of the application of CaCO₃- because of 2000 Kg/ha it determines a major height of glass on having improved the conditions of water regulation in plants, also was observed that a high availability of carbonate of calcium in the soil does not determine significant effect on the diameter of glass but if it manages to keep major number of alive branches alone in comparison with the witness. Finally the application of CaCO₃ - because of 2000 Kg/ha it produces physical and chemical improvements in the properties of soil

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, J., ARIAS, D., VILLEGAS, A. 1996. IV Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal. Memoria Guácimo CR Guácimo Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Forestal Cartago Costa Rica. 61-65 pp.
- ALVAREZ, F., RIOS, S. 2007. Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de *Guazuma crinita* C. Martius en el departamento de Ucayali. IIAP, Programa de Ordenamiento Ambiental – POA Evaluación Económica Opciones Productivas en la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú. 42 p.
- ARA, M. 1999. Vigor de establecimiento de bolaina (*Guazuma crinita*) en relación a la fertilidad del suelo en Pucallpa. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú Vol. 10, N° 1 UNMSM [En línea] (<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/vet/v10.Doc>. 23 Marz. 2009).
- AYRE, O., ROMAN, R. 1982. Métodos analíticos para suelos y tejido vegetal utilizados en el trópico húmedo. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA). Serie Didáctica, Manual técnico 0.6/3.2 N° 4-92. Lima, Perú. 66-67 pp.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal, 1ra ed. Ed. Limusa, Mexico D.F. 518 p.
- BLACK, C. 1975. Relaciones suelo-planta, tomo II. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 310–318 pp.
- CREDO, C. 2005. Conferencia “Promoción y Transferencia de Conocimientos sobre Reforestación Artificial y por Regeneración Natural. Cámara

- Nacional Forestal (CNF). Organización Internacional de Maderas Tropicales (ITTO). Tingo María, Perú.
- CORNELIUS, J. 2004. Experiencias del ICRAF en la Amazonía Peruana. Centro Mundial para la Agroforestería. ICRAF [En línea] (<http://www.icraf/pdf/bosque/v48n1/art17.pdf/>, Doc. 23 Marz. 2009).
- CRONQUIST, A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. Nelson, London. p. 174–184.
- CUBERO, D., VIEIRA, M. 1999. Abonos orgánicos y fertilizantes químicos, compatibilidad con la agricultura. XI Congreso Nacional Agronómico, III Congreso Nacional de Suelos 1999. San José, Costa Rica. 61- 68 pp.
- DE LA CRUZ, D. 1999. La agroforestería en el ámbito del Comité de Reforestación del Huallaga Central - Tingo María. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Reunión Técnica: Experiencias Silviculturales y Agroforestales. Puerto Maldonado, Perú 26 p.
- DEVLIN, R. 1975. Fisiología vegetal, 1ra. 3e. Ed. Barcelona. España. 86-92 pp.
- DODERA, R., PERDOMO, C. 1992. Principales procesos de pérdida de nitrógeno. Cátedra de Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Montevideo Uruguay. 72 p.
- EGOAVIL, R., CHAVEZ, R. 1991. Silvicultura de la bolaina blanca. Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal, COTESU– Intercooperation. Pucallpa. 70 p.
- ERSTON, V. 1967. Fisiología vegetal. 1ra ed. Ed. Hispano americana. México D.F. México. 211–223 pp.
- FERRANDO, M. 2013. Fertilidad de suelos. Cátedra de Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Montevideo Uruguay. 22 p.
- GEJARDO, P. 2005. Efectos del raleo y clase de copa sobre el área foliar, la distribución del crecimiento y la eficiencia del crecimiento en árboles

- individuales de coigüe. Tesis de Magíster en Ciencias Forestales. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. UNC [En línea] (<http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v48n1/art17.pdf/>, Doc. 23 Marz. 2009).
- HOULTON, B. 2007. Las plantas tropicales y su uso de Nitrógeno. 1era. Ed. Ed. Carnegie. Departamento de Ecología Global del Instituto Carnegie. México D.F. México. 225-228 pp.
- ICRAF 2005 Plantaciones forestales de pequeña escala: el caso de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en la Amazonía Peruana. ICRAF [En línea] (<http://www.icraf-peru.org/users/lewiste/>, Doc. 11 Abr. 2009).
- INIA 2006. Experiencias en reforestación con especies pioneras en la cuenca del río Aguaytía y Pucallpa. Instituto Nacional de Innovación Agraria. INIA [En línea] (<http://www.inia.gob.pe/>, Doc. 23 Marz. 2009).
- JONES, J. 1983. Una guía para el cultivo hidropónico y cultivos de crecimiento en suelos. Portland, OR. Timber Press E.U.A. 124-126 pp.
- LANDIS, T. 1989. Manual de viveros para especies forestales de contenedor: Fertilización y riego. Vol. 4. Departamento de agricultura del servicio forestal. Washington, DC. EUA. 148-152 pp.
- LOPEZ, I. 1980. Respuesta al encalado en suelos ultisoles y oxisoles de Venezuela. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. FONAIAP. Maracay, Venezuela. [En línea] (http://sian.inia.gob.ve/arti/lopez_i.htm Doc. 23 Marz. 2013).
- LUPI, A. 2001. Efecto de diferentes fuentes de N amoniacal sobre la acidificación del suelo. Reporte de International Fertilizer Development Center (IFDC). Cali, Colombia. [En línea]. (<http://www.fertilizando.com/articulos/>, Doc. 2 feb. 2009).
- MANAYALLE, L. 1995. Efecto de micorrizas V.A y humus de lombriz en *Eucalyptus tereticomis* (eucalipto) y *Guazuma crinita* (bolaina blanca).

- Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 75 p.
- MARSCHNER, H. 1986. Niveles de nutrición mineral de las plantas. 1era ed. Ed. Prensa académica. New York .Estados Unidos. 411-416 pp.
- MEZA, A., CORNELIUS, J. 2006. La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonía: Una Bibliografía Anotada. World Agroforestry Centre. ICRAF. [En línea] (<http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDF>, Doc. 05 Marz. 2009).
- MOLINA, E. 2011. Análisis de suelos: Metodos de interpretación para determinación de suficiencia o insuficiencia de nutrientes del suelo. ACOPALF. Rev. N° 012. Bogota, Colombia. 12 pg.
- MORAN, D. 2009. Efecto del encalado y la fertilización con lodos de depuradora urbana sobre la evolución edáfica, productiva y biodiversidad de un sistema silvo pastoral desarrollado bajo *Populus canadensis* en el noroeste de España. Tesis doctoral, Ph.D. Agro ecología. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Santiago de Compostela, España. 22-24 pp.
- MUÑOZ, F., ESPINOSA, M., CANCINO, J., RUBILAR, M. 2008. Efecto de poda y raleo en el área foliar de *Eucalyptus nitens*. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, España. Rev. virtual SCIELO [En línea] (<http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v29n1/art05.pdf/>, Doc. 23 feb. 2009).
- PALOMINO, J., BARRA, M. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza. PRONATURALEZA [En línea]. (<http://www.pronaturaleza.org/doc/v2954nativa4/>, Doc. 23 Marz. 2009).

- RECAVARREN, O. 2009. Efecto de abono orgánico en crecimiento inicial de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en fase de vivero. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 66 p.
- REYNEL, C., PENNINGTON, R., PENNINGTON, T., FLORES, C., Daza, A. 2003. Árboles útiles de la amazonia peruana, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. [En línea]: (www.icraf-peru.org/users/doc/arbphp474/). Doc.18 de marzo del 2013).
- SALAZAR, M., CABALCETA, G., ALVARADO, A., SEGURA, M. 2003. Efecto de la adición de cal a plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata* L) en andisoles de la cuenca alta del Río Virilla, Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. [En línea]: (http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242011000100008&script=sci_arttext/). Doc.18 de setiembre del 2013).
- SÁNCHEZ, G. 1995. Fertilización química y orgánica al establecimiento de bolaina (*Guazuma crinita* Martius.) en pasturas degradadas. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú. 42–48 pp.
- THIERS, O., GERDING, V., SCHLATTER, J. 2007. Extracción de nitrógeno y calcio mediante raleo en un rodal de *Eucalyptus nitens* de 5 años de edad. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales Valdivia, Chile. 12 p.
- TORRES, M. 2009. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea y captura de CO₂ en bolaina blanca (*Guazuma crinita* Marth) en el sector Santa Rosa de Shapajilla-Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 65–70 pp.
- VAZQUEZ, M., TERMINIELLO, A., DOHUOR A., GARCIA, M. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la pradera Pampeana.

- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata (1900). CC31. Buenos Aires, Argentina. [En línea]: (<http://www.scielo.org.ar/scielo.php? />. Doc.18 de setiembre del 2013).
- VILLACHICA, H., JULCA, A., ALVÁN, G. 1993. Informe Final del Proyecto Sistemas Agroforestales para el Piedemonte Amazónico. Instituto Nacional de Investigación Agraria, Programa Nacional de Investigación en Cultivos Tropicales. Lima, Perú. 14 p.
- VIDAURRE, A. 1992. Tecnologías para el manejo de los bosques tropicales. INIAA, Boletín Técnico nº 4. Pucallpa, Perú. 42 p.
- WIGHTMAN, K., CORNELIUS, J., UGARTE, L. 2006. Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. ICRAF. Technical Manual no.4. World Agroforestry Centre – Amazon Regional Programme. ICRAF [En línea] (<http://www.icraf.pe/>, Doc. 06 de jul. 2009).
- ZAVALA, W. 2002. Guía de prácticas de edafología. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 11 p.

ANEXO

Anexo 1. Datos dasométricos

Cuadro 41. Datos de diámetro, altura total de *Guazuma crinita* C. Martius dentro por tratamiento en evaluación inicial y final.

Promedios variable altura total de plantas (m) marz-nov 2013.									
Tratamientos	COD.	BLOQ I		BLOQ II		BLOQ III		BLOQ IV	
		Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final
Testigo	T0	3.19	5.01	3.10	4.20	3.05	4.42	3.16	4.37
CaCO ₃ . 1000 Kg/ha	T1	3.05	5.36	2.90	4.89	3.55	5.36	2.85	5.05
CaCO ₃ . 2000 Kg/ha	T2	3.16	6.12	2.15	5.27	3.20	6.15	3.15	5.24
CaCO ₃ . 3000 Kg/ha	T3	3.10	6.40	3.05	5.81	3.18	5.86	3.20	5.82

Promedios variable diámetro de planta (cm) marz-nov 2013.									
Tratamientos	COD.	BLOQ I		BLOQ II		BLOQ III		BLOQ IV	
		Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final
Testigo	T0	4.56	7.85	4.19	7.33	4.16	7.07	4.73	6.28
CaCO ₃ . 1000 Kg/ha	T1	4.23	7.92	4.25	8.27	4.39	7.64	4.85	6.78
CaCO ₃ . 2000 Kg/ha	T2	4.45	8.16	4.07	8.21	4.58	8.01	4.61	8.14
CaCO ₃ . 3000 Kg/ha	T3	4.28	8.24	4.62	8.42	4.66	8.49	4.65	8.57

Cuadro 42. Datos de altura de copa, diámetro de copa y número de ramas vivas en *Guazuma crinita* C. Martius por tratamiento.

Promedios variable altura de copa (m) marz-nov 2013.									
Tratamientos	COD.	BLOQ I		BLOQ II		BLOQ III		BLOQ IV	
		Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final
Testigo	T0	1.45	1.45	1.31	1.36	1.36	1.29	1.23	1.44
CaCO ₃ . 1000 Kg/ha	T1	1.39	1.56	1.29	1.42	1.28	1.56	1.31	1.50
CaCO ₃ . 2000 Kg/ha	T2	1.42	1.69	1.25	1.63	1.26	1.65	1.37	1.69
CaCO ₃ . 3000 Kg/ha	T3	1.48	1.77	1.32	1.69	1.12	1.72	1.24	1.75

Promedios variable diámetro de copa (m) marz-nov 2013.									
Tratamientos	COD.	BLOQ I		BLOQ II		BLOQ III		BLOQ IV	
		Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final	Ev. Inic.	Ev. Final
Testigo	T0	1.91	2.31	1.83	2.14	1.78	2.11	1.83	2.25
CaCO ₃ . 1000 Kg/ha	T1	1.82	2.58	1.79	2.46	1.82	2.44	1.76	2.52
CaCO ₃ . 2000 Kg/ha	T2	1.96	2.46	1.84	2.66	1.86	2.59	1.84	2.71
CaCO ₃ . 3000 Kg/ha	T3	1.83	2.89	1.89	2.78	1.88	2.82	1.85	2.85

ANEXO 2. Panel fotográfico.

Figura 30. Apertura de calicata para muestreo de suelo en el área experimental fundo Frontón.



Figura 31. Estado inicial de la unidad experimental antes de instalación del experimento a 1 año de edad.



Figura 32. Estado de unidad experimental bajo efecto de T2 (2000 tn/ha) de CaCO_3 a 1 año y 9 meses de edad.

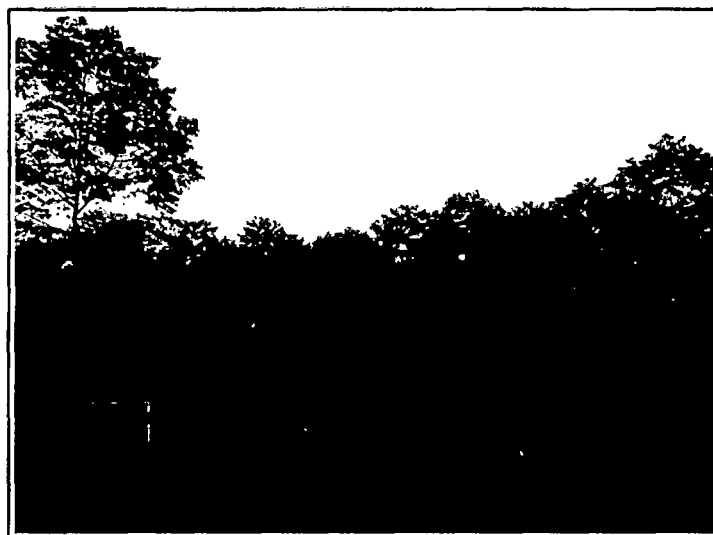


Figura 33. Estado de copa de parcela experimental bajo efecto de encalado CaCO_3 a 1 año y 5 meses de edad.

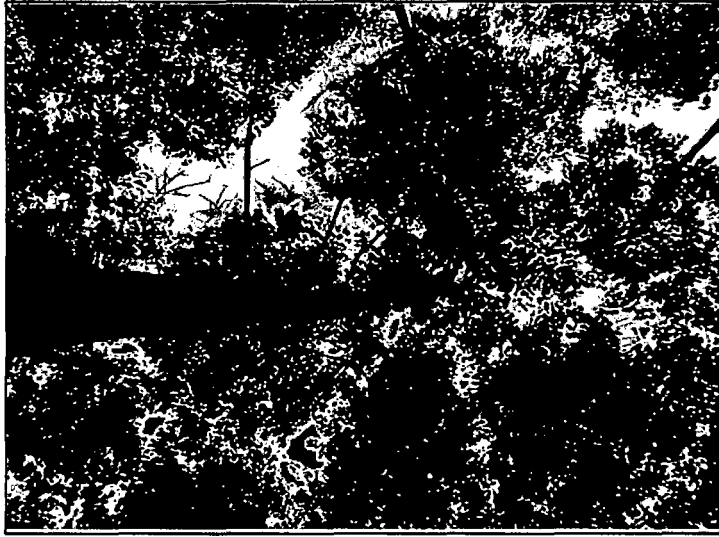


Figura 34. Estado de copa unidad de experimental bajo efecto de T2 (2000 tn/ha) de CaCO_3 a 1 año y 5 meses de edad.

ANEXO 3. Descripción de perfil de suelo U.E fundo Frontón

Cuadro 43. Descripción de características edafológicas de la parcela experimental en el fundo Frontón del 29.01.13.

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A1	0 – 30	(7.5YR3/4) marrón oscuro, suelo franca arcilla con presencia de arena fina de buena porosidad
A2	30 – 45	(7.5YR4/4) marrón, raíces finas suelo suelto
A3-B1	45 – 85	(7.5 YR3/3) marrón oscuro suelo de textura franca arenosa
B2	85 – 140	(7.5 YR3/4) marrón oscuro, suelto de buen drenaje

CRITERIOS BASICOS PARA LA CARACTERIZACION Y EVALUACION VISUAL DEL SUELO			
TEXTURA DEL SUELO		PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LAS RAICES	
Calificador visual (CV)	Clase Textural	Calificador visual	Profundidad Efectiva (m)
2.0 (bueno)	franco limoso	2.0 (bueno)	> 0.8X
1.5 (mod. Bueno)	franco arcilloso X	1.5 (mod. Bueno)	0.6 - 0.8
1.0 (moderado)	franco arenosos	1.0 (moderado)	0.4 - 0.6
0.5 (mod. Pobre)	franca, arcilla, arena	0.5 (mod. Pobre)	0.2 - 0.4
0 (pobre)	arena	0 (pobre)	< 0.2
ESTRUCTURA Y CONSISTENCIA DEL SUELO			
buena condición CV = 2X		PRESENCIA DE UN PIE DE ARADO	
condición moderada CV = 1		no hay pie de aradoX	
condición pobre CV = 0		moderadamente desarrollado	
POROSIDAD DEL SUELO			
buena condición CV = 2X		ENCHARCAMIENTO SUPERFICIAL	
condición moderada CV = 1		calificador visual	Nro. de días
condición pobre CV = 0		2 bueno	< 1X
COLOR DEL SUELO			
buena condición CV = 2X		1 moderado	02-03
condición moderada CV = 1		0 pobre	> 5
condición pobre CV = 0		COSTRA SUPERFICIAL Y COBERTURA SUPER.	
MOTEADO DEL SUELO			
buena condición CV = 2X		condición buena CV = 2X	
condición moderada CV = 1		condición moderada CV = 1	
condición pobre CV = 0		condición pobre CV = 0	
EROSION DEL SUELO			
buena condición CV = 2X		condición buena CV = 2X	
condición moderada CV = 1		condición moderada CV = 1	
condición pobre CV = 0		condición pobre CV = 0	



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CONSORCIO AGROFORESTAL S.A.C

Departamento : HUÁNUCO
 Distrito : CODO DEL POZUZO
 Referencia : H.R 28637-071C-13

Fact.: 327

Provincia : PUERTO INCA
 Predio : FUNDO FRONTON
 Fecha : 20-02-13

Lab	Número de Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O %	N %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
10722	M1 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	5.50	0.42	5.7	0.11	3.6	112	54	30	16	Fr.A.	21.92	15.85	2.01	0.16	0.20	0.30	18.52	18.22	83
10723	M2 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	5.27	0.57	2.6	0.05	4.5	104	38	52	10	Fr.L	16.64	11.95	1.21	0.16	0.20	0.30	13.82	13.52	81
10725	M4 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	4.27	0.55	1.9	0.03	3.2	95	29	40	31	Fr.Ar.	21.44	9.20	2.17	0.18	0.09	0.20	11.84	11.64	54
10724	M3 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	4.50	0.12	0.2	0.01	4.6	28	74	29	2	A.Fr.	7.68	2.22	0.35	0.04	0.06	3.20	5.87	2.87	35

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

Lab	Número de Muestra Campo	B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
10723	M2 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	0.3	0.7	17.6	1.1	0.2
10724	M3 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	0.3	1.2	13.2	0.5	0.5
10725	M4 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja, c1	0.2	0.7	10.5	0.6	0.4

Ing. Braulio La Torre Martinez
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUA Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : CONSORCIO AGROFORESTAL SAC

Departamento : HUÁNUCO
 Distrito : CODO DE POZUZO
 Referencia : H.R 28638-072C-13

Fact.: 328

Provincia : PUERTO INCA
 Predio : FUNDO FRONTON
 Fecha : 20-02-13

Lab	Número de Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
10725	M5 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja,b1	5.12	0.54	2.1	0.04	4.5	104	26	58	16	Fr.	16.64	11.95	1.21	0.16	0.20	0.30	13.82	13.52	81
10726	M6 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja,b2	4.96	1.02	3.8	0.07	7.9	125	56	32	12	Fr.A.	19.12	11.28	2.51	0.38	0.20	0.30	14.67	14.37	74
10727	M7 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja,b3	5.10	0.26	2.6	0.05	5.1	115	54	34	12	Fr.A.	15.52	7.90	2.62	0.45	0.11	0.20	11.28	11.08	71
10728	M8 : Gonzalo Herrera, Terraza Med,b4	5.62	0.54	4.3	0.08	5.5	146	26	44	30	Fr.Ar.	48.00	39.12	2.81	0.64	0.18	0.40	43.15	42.75	89

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

Lab	Número de Muestra Campo	B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
10726	M6 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja,b2	0.4	0.7	14.1	1.5	0.3
10727	M7 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja,b3	0.2	0.2	11.3	1.0	0.7
10728	M8 : Gonzalo Herrera, Terraza Med,b4	0.1	0.3	22.3	1.2	1.2

Ing. Braulio La Torre Martinez
 Jefe del Laboratorio



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CONSORCIO AGROFORESTAL SAC

Departamento : HUÁNUCO
 Distrito : CODO DE POZUZO
 Referencia : H.R 28987-925C-13


Fact.: 1122

Provincia : PUERTO INCA
 Predio : FRONTON
 Fecha : 12-12-13

Lab	Número de Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% de Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
11217	M1 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja.b1	5.26	0.32	2.3	0.04	5.1	172	46	44	10	Fr.	18.72	13.92	4.10	0.39	0.11	0.20	18.72	18.52	99
11218	M2 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja.b2	6.37	1.02	4.2	0.08	9.7	187	54	38	8	Fr.A.	43.20	33.42	5.20	0.89	0.10	0.00	39.61	39.61	92
11219	M3 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja.b3	6.17	0.77	5.1	0.10	7.5	210	56	32	32	Fr.A.	28.16	21.79	5.48	0.66	0.23	0.00	28.16	28.16	100
11220	M4 : Gonzalo Herrera, Terraza Med.b4	6.10	0.63	6.2	0.12	6.5	197	24	44	32	Fr.Ar.	62.88	51.49	5.49	1.01	0.20	0.00	58.19	58.19	93

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

Lab	Número de Muestra Campo	B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
11218	M2 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja.b2	0.3	0.7	16.5	1.8	0.5
11219	M3 : Gonzalo Herrera, Terraza Baja.b3	0.3	0.6	14.5	0.9	0.7
11220	M4 : Gonzalo Herrera, Terraza Med.b4	0.2	0.8	22.3	1.7	0.8


 Ing. Bradilo La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio