



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TÍTULO:

**“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO
DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBÓN
VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA
ECUATORIANA”**

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniera Agrónoma

Autora: Gabriela Estefanía Loaiza Silva

Director: Ing. Miguel Ángel Villamagua

LOJA - ECUADOR

2013

APROBACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS ANTURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“EVALUACION BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO
DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBON
VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA”**


TESIS

Presentada al tribunal calificador como requisito básico para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo



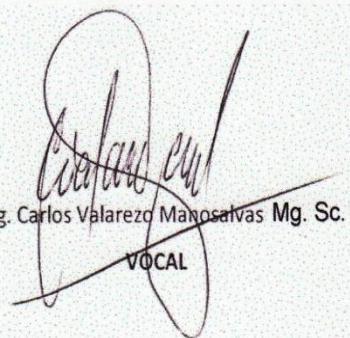
Ing. Bolívar Cueva Cueva

PRESIDENTE



Ing. Zolla Zaruma Hidalgo. Mg. Sc.

VOCAL



Ing. Carlos Valarezo Manosalvas Mg. Sc.

VOCAL

CERTIFICACIÓN

Ing. Miguel Ángel Villamagua
DIRECTOR DE TESIS

Certifica:

Que la señora Gabriela Estefanía Loaiza Silva, egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja, realizó el presente trabajo investigativo titulado **“EVALUACION BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBON VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA”**, bajo mi dirección, el mismo que ha sido debidamente revisado y hecho las correcciones pertinentes, cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido, por lo que autorizo su presentación.

Loja, julio del 2013



Ing. Miguel Ángel Villamagua

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA CONSULTA,
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, Gabriela Estefanía Loaiza Silva, declaro ser autor de la tesis titulada **"EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA"**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o la copia de tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 19 días del mes de Julio del dos mil trece, firma el autor:

Firma: 

Autor: Gabriela Estefanía Loaiza Silva

Número de cédula: 1104095912

Dirección: Barrio Las Peñas, calle Atahualpa y Caran Shiry

Correo electrónico: gabrielaloaiza89@hotmail.com

Teléfono: 072573060

Celular: 0997492524

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Agríc. Miguel Ángel Villamagua

Tribunal de Grado: Ing. Bolívar Cueva Cueva

Ing. Zoila Zaruma Hidalgo

Ing. Carlos Valarezo Manosalvas

AUTORÍA

Yo, Gabriela Estefanía Loaiza Silva declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Gabriela Estefanía Loaiza Silva

1104095912

Loja, julio del 2013

DEDICATORIA

*El premio al sacrificio abnegado del estudio,
que me ha permitido alcanzar,
con voluntad infinita, dedicación y conocimiento,
uno de los más importantes peldaños de mi existencia;
lo dedico, con toda mi alma,
a los seres más queridos de mi vida:
A mi amada hija Gabriela Fernanda,
razón eterna de mi ser y mi existencia;
a mi esposo Diego Fernando,
a mi querida madrecita, Patsi Esterfilia,
a mi entrañable papacito Ermel Rodrigo,
a mis hermanas Patsy Soledad y Daniela Karolina,
a la eterna memoria de mis abuelitas Esterfilia y Marina,
a mis abuelitos Alcívar, Draucín y América Victoria,
a mis queridas tías y tíos,
por su extraordinaria calidad humana,
para todos ellos y ellas, ejemplo de entrega, afecto y sacrificio,
quiénes han guiado mi camino con denuedo y extraordinario acierto.*

Gabriela Estefanía

AGRADECIMIENTO

Para la realización y culminación exitosa de la presente investigación hay algunos artífices, la Carrera de Ingeniería Agronómica del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, sus prestigiosos Maestros y Autoridades, Técnicos y Administrativos; el Laboratorio de Suelos y Aguas con su personal: la Ingeniera Jaqueline Castillo, los Ingenieros: Patricio Aguirre, Marconi Mora, Súlmer Ochoa y Omar Ojeda. Al Laboratorio de Química y su responsable el Dr. Vicente Saca.

Así mismo y de manera especial, han cumplido un papel muy importante como guía y apoyo, el Ing. Miguel Ángel Villamagua en calidad de Director de tesis y el Ingeniero Carlos Valarezo, prestigioso y experimentado profesional.

Entre ese importante grupo de personas que han dado su valioso aporte, están también el Dr. Antonio Peña Guzmán, la Ing. Estela González y personal de apoyo, a mis compañeros de aula, amigos y parientes.

Para todos ellos, con respeto y con cariño, les expreso mi reconocimiento y eterna gratitud.

Gabriela Estefanía

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA CONSULTA, REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.	iii
AUTORÍA	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xvii
SUMARY	xviii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS MINERALES Y SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA	3
2.1.1. Nitrógeno	4
2.1.2. Fósforo	5
2.1.3. Potasio.....	6
2.1.4. Calcio	7
2.1.5. Magnesio.....	9
2.1.6. Azufre	9
2.1.7. Zinc.....	10
2.1.8. Cobre	11
2.1.9. Hierro	11
2.1.10. Manganeseo.....	12
2.1.11. Boro.....	12
2.1.12. Molibdeno	13
2.2. FUNDAMENTO DEL MÉTODO BIOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD ..	13
2.3. FERTILIDAD ACTUAL Y POTENCIAL DE UN SUELO	15

2.4.	SOLUCIONES EXTRACTORAS PARA EVALUAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES	15
2.4.1.	Principios Generales.....	15
2.5.	SOLUCIONES EXTRACTORAS DE MAYOR UTILIZACIÓN	16
2.5.1.	Solución extractora Mehlich I	17
2.5.2.	Solución extractora Mehlich III	17
2.5.3.	Morgan modificado	17
2.5.4.	DPTA	17
2.5.5.	Solución extractora Olsen.....	17
2.5.6.	Solución extractora Olsen Modificado.....	18
2.5.7.	Solución extractora Bray I.....	18
2.6.	UTILIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN OLSEN MODIFICADA EN EL ECUADOR	18
2.7.	LA RED DE LABORATORIOS DE SUELOS EN ECUADOR (RELASE).....	19
2.8.	PARÁMETROS PARA LA INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS.....	20
2.9.	TRABAJOS RELACIONADOS.....	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1.	CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO	26
3.2.	LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA	28
3.2.1.	Ubicación Geográfica.....	29
3.2.2.	Clima y Ecología.....	29
3.3.	MATERIALES	29
3.3.1.	Muestras de suelo	29
3.3.2.	Planta indicadora.....	29
3.3.3.	Soluciones madre	30
3.3.4.	Otros materiales.....	31
3.4.	METODOLOGÍA.....	32
3.4.1.	Diseño Experimental.....	32
3.4.2.	Especificaciones del ensayo.....	32
3.4.3.	Modelo aditivo lineal.....	33
3.4.4.	Análisis de datos.....	34
3.4.5.	Variables.....	34
3.5.	EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO	35
3.5.1.	Muestreo de suelo.....	35

3.5.2.	Preparación de las muestras de suelo	35
3.5.3.	Preparación de los recipientes	35
3.5.4.	Instalación del experimento	36
3.5.5.	Siembra de la planta indicadora	37
3.5.6.	Reposición de la solución nutritiva	37
3.5.7.	Registro del crecimiento de la planta	37
3.5.8.	Toma de Datos.....	37
3.6.	DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES.	38
3.7.	ESTABLECIMIENTO DE CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y QUÍMICA	39
3.8.	DIFUSIÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.	CRECIMIENTO, ASPECTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LA PLANTA INDICADORA ..	40
4.1.1.	Altura de la planta a los 50 días.....	40
4.1.2.	Solución Nutritiva Completa.....	40
4.1.3.	Solución Nutritiva Menos Nitrógeno (-N)	41
4.1.4.	Solución Nutritiva Menos Fósforo (-P).....	42
4.1.5.	Solución Nutritiva Menos Potasio (-K).....	43
4.1.6.	Solución Nutritiva Menos Magnesio (-Mg).....	43
4.1.7.	Solución Nutritiva Menos Azufre (-S).....	44
4.1.8.	Solución Nutritiva Menos Zinc (-Zn)	44
4.1.9.	Solución Nutritiva Menos Cobre (-Cu)	44
4.1.10.	Solución Nutritiva Menos Manganeso (-Mn).....	45
4.1.11.	Solución Nutritiva Menos Boro (-B)	45
4.1.12.	Solución Nutritiva Menos Hierro (-Fe).....	45
5.	CONCLUSIONES	75
6.	RECOMENDACIONES	77
7.	BIBLIOGRAFÍA	78
8.	ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macroelemento.....	30
Cuadro 2. Cantidad de sales empleadas, expresadas en gramos para la preparación de 1 litro de solución nutritiva de micronutrientes.....	30
Cuadro 3. Factores y Niveles a emplearse para la implementación del ensayo de tesis.....	32
Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza para diseño bloques completamente al azar con arreglo bifactorial con cuatro repeticiones.....	34
Cuadro 5. Volúmenes de soluciones madre empleadas para preparar 1 litro de solución nutritiva.....	36
Cuadro 6. Altura de la planta indicadora (cm) a los 50 días de edad, en los suelos de los diferentes tratamientos, noviembre, 2012.	40
Cuadro 7. Prueba de Tukey y valores promedio de altura de la planta indicadora a los 50 días para el factor sustrato.....	47
Cuadro 8. Prueba de Tukey y valores promedio de peso seco de la planta indicadora a los 50 días para el factor soluciones nutritivas.....	48
Cuadro 9: Biomasa seca de la planta indicadora cortada a los 50 días de la siembra, en los suelos provenientes del experimento.....	49
Cuadro 10: Prueba de Tukey y valores promedio de altura de la planta indicadora a los 50 días para el factor soluciones nutritivas.....	49
Cuadro 11: Prueba de Tukey y valores promedio de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días para el factor sustrato.....	50
Cuadro 12: Valores promedio de CIC (cmol (+) kg ⁻¹), bases cambiables (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺ cmol (+) kg ⁻¹), de los doce tratamientos del experimento.....	55
Cuadro 13: Valores promedio de los elementos disponibles de los 12 tratamientos en estudio, en las capas de 00-25 cm y 25-50 cm.....	60
Cuadro 14. Valores del coeficiente de correlación (r) entre la biomasa total de la planta indicadora en las diferentes soluciones nutritivas y los contenidos de nutrientes (solución Olsen Modificada) de los doce tratamientos del experimento.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación general entre un nutriente determinado o un factor de crecimiento y la tasa de crecimiento de la planta. Fuente. Wild, 1992.	3
Figura 2: Esquema del diseño experimental, del ensayo en el sitio La Victoria.....	28
Figura 3: Síntomas de deficiencia en fósforo (P) y nitrógeno (N), presentes en la evaluación del suelo.....	46
Figura 4: Valores promedio del pH_{H_2O} , y la prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de (a) 00 a 25 cm y (b) a los 25 – 50 cm.	53
Figura 5: Valores promedio de acidez cambiante ($Al_3^{++}H^+$)cmol(+) kg^{-1} , y la prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 a 25cm y (b) 25 – 50 cm.....	54
Figura 6: Valores promedio de K cmol (+) kg^{-1} y la prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 - 25 cm.	57
Figura 7: Valores promedio del Ca^{++} cmol(+) kg^{-1} y la prueba de Tukey (5 % de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de (a) 00 - 25 cm y (b) de 25 – 50 cm.	58
Figura 8: Valores promedio del Mg^{++} cmol(+) kg^{-1} y la prueba de Tukey (5 % de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de (a) 00 - 25 cm y (b) 25 a 50 cm.	59
Figura 9: Valores promedio del N disponible (mg/kg^{-1}) y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 – 25 cm.	61
Figura 10: Valores promedio del fósforo disponible (mg/kg^{-1}) y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 – 25 cm y (b) 25 – 50 cm.	63
Figura 11: Valores promedio del potasio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de 00 - 25 cm.	64
Figura 12: Valores promedio del calcio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.	65
Figura 13: Valores promedio del magnesio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.	66

Figura 14: Valores promedio de cobre disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de 00 - 25 cm.	67
Figura 15: Valores promedio del zinc disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 25 – 50 cm.	68
Figura 16: Valores promedio del manganeso disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.	69
Figura 17: Valores promedio del hierro disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 - 25cm.	70
Figura 18: Correlación entre el nitrógeno extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.	71
Figura 19: Correlación entre el fósforo (a), potasio (b) y magnesio (c), extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.	72
Figura 20: Correlación entre el cobre (b), hierro (b) y manganeso (c), extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.	73
Figura 21: Correlación entre el zinc extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.	74

ANEXOS

Anexo 1: Descripción de los perfiles de suelo del sitio La Victoria del cantón Zamora.....	81
Anexo 2: Nombre de los laboratorios participantes en la RELASE.....	89
Anexo 3: Métodos de ensayo utilizados por la (RELASE) en el Ecuador.....	90
Anexo 4: Ubicación del experimento en el sitio La Victoria del cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe en el sur de la Amazonía Ecuatoriana.....	90
Anexo 5: Resumen del ADEVA para la altura de la planta indicadora a los 50 días.....	91
Anexo 6: Resumen del ADEVA para la biomasa de la planta indicadora a los 50 días.....	91
Anexo 7: Resultados del ADEVA para los valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ y acidez cambiante ($\text{Al}^{3++} \text{H}^+$) cmol (+) kg^{-1} , a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm.....	91
Anexo 8: ADEVA para los valores de CIC cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00-25 y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	92
Anexo 9: ADEVA para los valores de K^+ cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00 - 25 y 25 - 50cm en los tratamientos del experimento.....	92
Anexo 10: ADEVA para los valores de Ca^{++} cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00 - 25 y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.....	93
Anexo 11: ADEVA para los valores de Mg^{++} cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00 - 25 y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.....	93
Anexo 12: ADEVA para los valores de N disponible, en las capas de 00 – 25 cm y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.....	94
Anexo 13: ADEVA para los valores de fósforo disponible, en las capas de 00 – 25 cm y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.....	94
Anexo 14: ADEVA para los valores de K cmol (+) kg^{-1} disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	95
Anexo 15: ADEVA para los valores de Ca cmol (+) kg^{-1} disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	95

Anexo 16: ADEVA para los valores de Mg cmol (+) kg ⁻¹ disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	96
Anexo 17: ADEVA para los valores de Cu disponible (mg/kg ⁻¹), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	96
Anexo 18: ADEVA para los valores de zinc disponible (mg/kg ⁻¹), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	97
Anexo 19: ADEVA para los valores de Mn disponible (mg/kg ⁻¹), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	97
Anexo 20: ADEVA para los valores de hierro disponible (mg/kg ⁻¹), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.....	98
Anexo 21: ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 00 – 25 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.....	98
Anexo 22: ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 25 - 50 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.....	99
Anexo 23: Resultados de altura a los 50 días en las cuatro repeticiones de los doce tratamientos de suelo provenientes del experimento del sitio La Victoria, cantón Zamora en las diferentes soluciones nutritivas. Loja 2012.....	100
Anexo 24: Valores de peso de bioma seca obtenidos después de los 50 días en las cuatro repeticiones de los doce tratamientos de suelo, en las diferentes soluciones nutritivas. Loja, 2012.....	104
Anexo 25: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T1 (a) (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T2 (b) (pachaco + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	109
Anexo 26: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T3 (a) (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T4 (b) (pachaco + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	110
Anexo 27: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegeta) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	111

Anexo 28: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T7 (a) (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T8 (b) (melina + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	112
Anexo 29: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T9 (a) (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T10 (b) (melina + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	113
Anexo 30: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T11 (a) (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T12 (b) (melina + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) respectivamente.....	114
Anexo 31: Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo, Loja, febrero 2012.....	115

RESUMEN

Ante la necesidad de recuperar productivamente los suelos de las laderas degradadas por la ganadería en el sur de la Amazonía Ecuatoriana, en agosto del 2009 se instaló un experimento en el sitio La Victoria del cantón Zamora desarrollado sobre granodiorita, en un diseño de parcelas sub-subdivididas (2*2*3), con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la combinación de dos especies arbóreas, Melina (*Gmelina arborea*) y pachaco (*Schizolobium parahybum*), con dos niveles de fertilización (sin y con: N 200; P 150, K 200; Mg 118 y Zn 40 kg/ha, respectivamente + 5 t/ha de CaCO₃); y, tres niveles de carbón vegetal (0,0; 3,0 y 6,0 t/ha). Luego de dos años de desarrollo de la plantación, en la capa de 00 – 25 cm de los suelos de los diferentes tratamientos, se evaluó biológicamente la disponibilidad de N, P, K, Mg, S, Zn, Fe, Cu, Mn y B, para lo cual se utilizó la técnica del elemento faltante en invernadero, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*), tanto para la solución nutritiva completa (SC) como para las soluciones carentes de uno de los elementos en evaluación. La altura de la planta indicadora se evaluó hasta los 50 días, y se determinó la biomasa seca. Todas las plantas de las soluciones nutritivas carentes de uno de los elementos de los suelos de los doce tratamientos presentaron menor desarrollo en relación a la solución nutritiva completa. Los valores de altura de planta y biomasa seca fueron mayores en los suelos de los tratamientos con fertilización, que en aquellos no fertilizados. La altura de planta y la biomasa seca en los tratamientos fertilizados presentan tendencia a incrementarse con la aplicación de carbón vegetal. El P, N y B, en los suelos de todos los tratamientos del experimento de campo (incluso en aquellos que se aplicaron N y P), resultaron ser los elementos con mayor deficiencia, lo cual no es el caso para el Zn, Mn y Cu, mientras que, los valores de los demás elementos se ubicaron en un rango intermedio. El pH_{H2O} a los veinticuatro meses evolucionó de fuertemente a ligeramente ácido (4,8 a 5,2) en los tratamientos sin y con fertilización respectivamente, con una disminución evidente del Al³⁺ en los tratamientos encalados. Los valores de la CIC, bases cambiables y las formas disponibles de N, P, K, Ca, Mg, S y Zn se ubicaron en un rango de bajo a medio en todos los tratamientos. La correlación biomasa seca y los correspondientes contenidos extraídos con la solución de Olsen Modificada, que oficialmente se utiliza en los laboratorios de suelos del país regidos por la RELASE, es muy baja y en algunos casos negativa, excepto para el K (r=0,53) y Cu (r=0,52). Para evaluar la disponibilidad de los nutrientes en correspondencia con los factores: fertilización, especies arbóreas y dosis de carbón vegetal, el método biológico fue sensible, lo que no sucedió con el método de laboratorio.

Palabras Clave: *Evaluación biológica, carbón vegetal, soluciones nutritivas, trópico húmedo, granodiorita.*

SUMMARY

The need to recover productively hillside soils degraded by livestock in the southern Ecuadorian Amazon, in August of 2009 in the place La Victoria of canton Zamora was installed an experiment developed on granodiorite; it used a statistic design of subdivided parcels (2*2*3), with twelve treatments and four repetitions. The planned treatments consist of the combination of two tree species, Melina (*Gmelina arborea*) y pachaco (*Schizolobium parahybum*), with two levels of fertilization (without and with: N 200, P 150, K 200, Mg and Zn 118 40 kg/ha, respectively + 5 t/ha of CaCO₃); and, three levels of vegetable carbon (0,0; 3,0 y 6,0 t/ha). After two years of plantation development in the soil layer of 00 – 25 cm of the different treatments, biologically was evaluated the disponibility of N, P, K, Mg, S, Zn, Fe, Cu, Mn and B, for which the technique was used in greenhouse missing element, having the tomato (*Solanum lycopersicum*) like indicator plant, both the nutrient solution (SC) in such solutions lacking one element in evaluation. The plant height indicator was evaluated until fifty days, getting itself to determine the dry biomass. All plants in nutrient solutions lacking one element of the soils of the twelve treatments had lower development in relation to the complete nutrient solution. Values plant height and dry biomass were higher in soils fertilized treatments than in non-fertilized. The height and the dry biomass of plants were higher in the fertilized treatments displaying trend to increment with the application of vegetable carbon, the P, N y B, in the soils every treatments of the field experiment (even those that were applied N and P), proved more elements deficiency, which is not the case for the Zn, Mn y Cu, while the values the other elements which find in an intermediate range. The pH_{H₂O} to the twenty four months evolved from strongly to slightly acid (4,8 a 5,2), in the treatments without and with fertilization respectibly with an obvious decrease of Al³⁺ in the fertilize treatments. The values of the CEC, exchangeable bases and available forms of N, P, K, Ca, Mg, S and Zn are find in a range of low to medium in every treatments. The correlation and the corresponding dry biomass contents extracted with the modified Olsen solution, that are officially use in the soils laboratories in the country ruled by the RELASE, it's so low and in something cases is negative except for the K (r=0,53) and Cu (r=0,52). To assess the availability of nutrients in correspondence with the factors: fertilization, tree species and dose of charcoal, the biological method was sensitive, which did not happen with the laboratory method.

Keywords: *Biological Evaluation, charcoal, nutrient solutions, humid tropical granodiorite.*

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de recuperar productivamente los suelos de ladera del territorio del corredor de la red fluvial Zamora – Nangaritzza, degradados por efecto de la conversión del bosque natural a pastizales, determinó que la Universidad Nacional de Loja con el cofinanciamiento de la SENESCYT, ejecute el proyecto de investigación “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonia Ecuatoriana”, el mismo que consiste en la instalación de tres experimentos en suelos de la ladera del corredor fluvial Zamora-Nangaritzza; uno de ellos, ubicado en el sitio La Victoria del cantón Zamora en una ladera moderadamente escarpada de pie de monte, en un suelo desarrollado de granodiorita del gran Batolito de Zamora, cuyo diseño experimental está basado en un arreglo en parcelas sub-subdivididas (2*2*3), en bloques al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a la combinación de tres factores en estudio: especies arbóreas (melina y pachaco); dos niveles de cal y fertilización (sin y con); y tres niveles carbón vegetal (0; 3 y 6 t/ha).

Debido a que los análisis químicos empleados para determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo no siempre reflejan con veracidad la cantidad de elemento aprovechable para las plantas, se consideró pertinente evaluar la fertilidad actual de los suelos de los diferentes tratamientos del ensayo del sitio La Victoria, mediante un método biológico bajo condiciones de invernadero, el cual fue desarrollado por Colwell (1980), adaptado por Valarezo (1985) y probado para las condiciones de Cañicapac y Ñamarin por Guayllas (1986), en el cual se utiliza el tomate de mesa como planta indicadora.

Por los motivos expuestos, en el presente trabajo de investigación se planteó el siguiente objetivo: *“Generar información sobre la fertilidad actual de un suelo desarrollado sobre granodiorita, en el sur de la amazonía ecuatoriana, después de veinticuatro meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación experimental de pachaco y melina, mediante un método biológico frente a la evaluación química de laboratorio”*; para lograr éste objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar biológicamente la fertilidad en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora, después de dieciocho meses

de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y melina, utilizando tomate como planta indicadora.

- Determinar en el laboratorio la disponibilidad de los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Zn. Mn, Cu, Fe, mediante extracción con Olsen Modificado, en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora, después de dieciocho meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y melina.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y química de la fertilidad actual del suelo en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora.
- Difusión de resultados a estudiantes y personas interesadas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS MINERALES Y SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

Gutiérrez (1997), manifiesta que los nutrientes minerales esenciales para las plantas son aquellos: a. necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completo, b. involucrados en funciones metabólicas o estructurales en las cuales no pueden ser sustituidos, y cuya deficiencia se asocia a síntomas específicos (aunque no inconfundibles).

Wild (1992), se refiere que se ha comprobado, a partir de numerosos estudios, que el crecimiento es, normalmente, mas importante si el suministro de nutrientes a la planta aumenta a partir de un determinado nivel. Liebig fue uno de los primeros investigadores que intentó expresar la relación entre el crecimiento y el suministro de nutrientes mediante la que ahora es conocida, generalmente como “Ley del mínimo” que dice: el crecimiento de las plantas está regulado por el factor que se encuentra, presenta en menor cantidad y aumenta o disminuye de acuerdo con su incremento o reducción.

Según esta ley, el crecimiento aumenta al incrementarse el nivel del factor limitante hasta que deja de serlo. En este momento, el crecimiento es independiente del incremento de este factor hasta que alcanza un punto en que puede llegar a ser tóxico y reducir el crecimiento. La relación entre el crecimiento de la planta y el nivel del nutriente limitante presente en el suelo, puede, en consecuencia, ser representado por una curva como la indicada en la figura 1. Sin embargo, esta curva tiene una validez limitada debido a que los elementos nutritivos presentan, con frecuencia efectos interrelacionados, de manera que si varios factores se encuentran a un nivel deficiente, aunque como es lógico no en forma excesiva, el incremento de cualquiera de ellos aumenta el crecimiento (Wild, 1992).

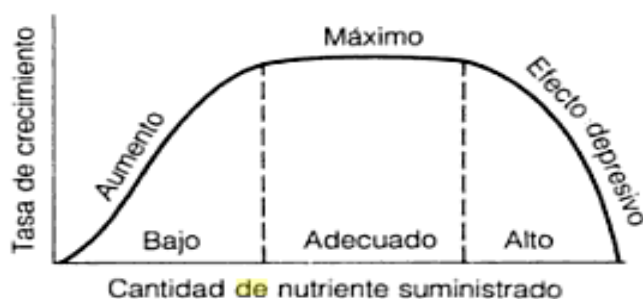


Figura 1: Relación general entre un nutriente determinado o un factor de crecimiento y la tasa de crecimiento de la planta. Fuente. Wild, 1992.

Según Sívori (1986) las plantas producen síntomas característicos en respuesta a la carencia de elementos esenciales. La mayoría de síntomas descritos aparecen en la parte aérea de la planta y son fácilmente detectables. Las raíces son supuestas y sufren daños por carencia de esos elementos, pero a menos que las plantas se cultiven en soluciones nutritivas, los síntomas no pueden ser observados sin removerlas del suelo.

2.1.1. Nitrógeno

Según Navarro y Navarro (2003), el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo forma orgánica; pero también se localiza en forma de compuestos nitrogenados minerales absorbidos, sustancias proteicas de síntesis y en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas, vitaminas, alcaloides y enzimas.

La forma de asimilación del nitrógeno en la planta puede ser nítrica (NO_3) o amoniacal (NH_4^+), dependiendo en gran forma de la edad de la planta y de la especie; del pH del suelo, de su composición e incluso de la pluviometría anual. Sin embargo, en la mayor parte de suelos cultivados las plantas absorben el N fundamentalmente en forma de nitrato.

Sivori (1986), reporta que este elemento se pierde fácilmente por lixiviación de los iones de nitrato y por la conversión realizada por los microorganismos a N_2 volátil. Padilla (2011), se refiere al nitrógeno como un elemento básico en la formación de la estructura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, glico y lipoproteínas. Por lo tanto se convierte también en un elemento necesario en la síntesis de la clorofila ya que es un componente de vitaminas y sistemas energéticos.

Padilla (2011), acota que el nitrógeno interviene en los procesos de respiración, fotosíntesis, multiplicación y diferenciación celular. Por este motivo este elemento estimula la formación y desarrollo de yemas, incrementa la producción vegetativa y aumenta el contenido de proteína.

Síntomas de Deficiencia de Nitrógeno

Navarro y Navarro (2003), manifiesta que la deficiencia de nitrógeno se aprecia por una vegetación raquítica; otro de los síntomas evidentes es también el debilitamiento de la planta, poco desarrollo, hojas pequeñas con una notable rigidez y con un color verde amarillento, peciolo más corto y nerviaciones más pronunciadas. En casos de extrema

deficiencia, las hojas adquieren una coloración anaranjada, purpúrea o violácea en los bordes, y la floración es muy escasa. La deficiencia de N se presenta primeramente en las hojas más viejas esto debido a que este macroelemento es muy móvil y se desplaza de las hojas viejas a las más jóvenes.

Sivori (1986), señala que algunas plantas, entre ellas el tomate (*Solanum Lycopersicum*) y algunas variedades de maíz (*Zea mayz L.*) muestran una coloración purpúrea en los tallos, peciolo y superficies de las de las hojas inferiores, debido a la acumulación de antocianinas.

2.1.2. Fósforo

Miller (1967), reporta una gran proporción de fósforo en la planta madura está en las semillas y en el fruto. Este elemento es abundante en las células meristemáticas y es componente de la lecitina y ácidos nucleídos. Durante la maduración de las semillas, las plantas toman grandes cantidades de fósforo. Los agricultores satisfacen esta demanda, durante el tiempo de florecimiento, aplicando fertilizantes fosfatados cerca de la base de la planta. El fósforo es necesario para ciertos procesos enzimáticos, como la producción de alcohol a partir de azúcares, y las transformaciones de azúcares en almidón y viceversa.

El fósforo emigra fácilmente de las partes viejas de la planta a los brotes en crecimiento y a las semillas en formación. Es un constituyente importante de las nucleoproteínas y participa activamente en la división celular y el crecimiento (Turner, 1954).

Padilla (2011), hace referencia al fósforo como un elemento principal en la respiración, fotosíntesis, transferencia y almacenamiento de energía, división y alargamiento celular, transferencia de características hereditarias, formación de las semillas y resistencia a bajas temperaturas. Dentro de las funciones más importantes de fósforo se destaca la transferencia y el almacenamiento de energía ya que la energía obtenida de la fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos se almacena en compuestos fosfatados para el subsecuente uso en los procesos de crecimiento y reproducción.

Este elemento también es muy importante en la cosecha, ya que participa en la formación de raíces, aumenta la fructificación, acelera la maduración de flores y frutos, incrementa el contenido de carbohidratos, aceites, grasas y proteínas (Padilla, 2011).

Síntomas de deficiencia de fósforo

Sivori (1986), reporta que las plantas deficientes en fósforo tienen forma achaparrada y en contraste con aquellas carentes de nitrógeno presentan a menudo un verde bastante oscuro. Según Taiz y Zeiger (2006), de modo parecido a la deficiencia de Nitrógeno, la deficiencia en fósforo presenta detención en su desarrollo, sus hojas son de color verde oscuro, y con frecuencia muestra tendencia a la producción de pigmentos antocianicos de color rojo o púrpura, lo cual se debe a la acumulación de azúcares.

2.1.3. Potasio

El potasio (K) es esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La deficiencia de este elemento afecta varios procesos fisiológicos y bioquímicos, reduciendo el rendimiento; este elemento es absorbido en forma de ion (K^+).

A diferencia del N, P y otros nutrientes, el potasio no forma parte de la estructura química de la planta y una gran parte aparece como constituyente del jugo celular. Sin embargo, participa en procesos como la activación de enzimas, regulación del funcionamiento de estomas, regulación de los procesos de ósmosis, fotosíntesis y transporte de los productos de la fotosíntesis. Asimismo, el potasio promueve la utilización de nitrógeno por las plantas (Thompson y Troeh, 1988) y reduce la incidencia de enfermedades al promover hojas con epidermis de paredes celulares fuertes.

Los requerimientos varían de acuerdo al tipo de suelo y a las condiciones de manejo de los cultivos. En general, las necesidades de potasio están influenciadas por: a) Tipo de suelo, b) Nutrientes aplicados y sus interacciones, c) Variedad o híbrido utilizado, d) Prácticas de labranza y e) Manejo de residuos.

Según Turner (1954) y Taiz y Zeiger (2006), manifiesta que el papel específico del K en las plantas es desconocido hasta ahora. Mientras que Miller (1967), reporta que el K parece que actúa principalmente como catalizador y es necesario en los siguientes procesos: síntesis de azúcares y almidón, transporte de hidratos de carbono, reducción de nitratos, síntesis de proteínas, división normal de la célula.

Padilla (2011), explica que el potasio no forma compuestos orgánicos dentro de la planta, sin embargo es vital para la fotosíntesis y síntesis de proteínas y a su vez está asociado con otras funciones metabólicas, interviene en la activación de más de 80 enzimas lo cual es muy importante ya que son los compuestos que catalizan las reacciones químicas y a su vez

participan en el crecimiento de las plantas. Este elemento tiene un papel muy importante en el transporte de agua y nutrientes a través del xilema.

Síntomas de deficiencia en potasio.

Taiz y Zeiger (2006), reporta que los principales síntomas externos de deficiencia de potasio es un moteado de manchas cloróticas seguido, por el desarrollo de zonas de necrosis en la punta y bordes de la hoja. Debido a la movilidad del potasio, estos síntomas suelen aparecer en las hojas más viejas. Generalmente, una planta carente en potasio es achaparrada, debido al acortamiento de los entrenudos.

Bonner y Galston (1965), manifiestan de la deficiencia de potasio produce un amarillamiento de las hojas, en forma moteado, que al extenderse, produce zonas de tejido muerto en el ápice y borde del órgano. El crecimiento disminuye y por lo regular los tallos se vuelven débiles lo que provoca que las plantas sean fácilmente derribadas por el viento.

Otros de los síntomas de deficiencia se presentan con síntomas como quemado de las puntas y márgenes de las hojas que se inician en las hojas viejas, tallos débiles, fruta pequeña y semilla arrugada, crecimiento lento, raíces poco desarrolladas.

2.1.4. Calcio

Padilla (2011), sustenta que el calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{++} y este una vez dentro de la planta, funciona en varias formas como por ejemplo estimulando el desarrollo de las raíces y de las hojas, formando compuestos que son parte de las paredes celulares, en el fortalecimiento de la estructura de la planta, ayuda a reducir el nitrato (NO_3^-) en la planta, ayuda a activar varios sistemas de enzimas, ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta.

El calcio constituye parte de cada célula de la planta y aparece como pectato de Ca en y a lo largo de las paredes celulares, también ayuda en el fortalecimiento y engrose de los tallos y hojas de la planta; mientras que las flores y semillas son bajas en Ca. Este elemento es absorbido en menor cantidad que el K y Mg aunque su concentración es 10 veces mayor en la solución del suelo (Padilla, 2011).

Padilla (2011), explica que el Ca es absorbido por los tejidos jóvenes de la raíz y que otra vía de entrada es a través del espacio libre intercelular y luego es transportado al xilema, lo cual provoca que la absorción y transporte sea un proceso pasivo, en contraste con otros elementos; debido a esto se considera que el calcio es un elemento relativamente inmóvil en la planta.

El calcio en la cosecha estimula el desarrollo radicular, aumenta la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, evita la caída de flores y frutos y ayuda en la fijación de N, otra característica principal del calcio es su capacidad de influenciar indirectamente el rendimiento al reducir la acidez del suelo mediante el carbonato de calcio. Esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso, cobre y aluminio (Padilla, 2011).

Deficiencia de calcio

Taiz y Zeiger (2006), manifiesta que las regiones meristemáticas y apicales del tallo, hojas y raíces resultan fuertemente afectadas y pueden concluir muertas. Las raíces pueden acortarse, engrosarse y adquirir una coloración parda, como ocurre en el tomate. En general se presenta clorosis junto a los bordes de las hojas jóvenes, y estas zonas acaban sufriendo una necrosis. Además es frecuente una mala formación y distorsión de las hojas jóvenes, siendo lo más frecuente observar la forma ganchuda que presenta la punta de las hojas. Los síntomas suelen aparecer en las hojas jóvenes y los ápices en activo crecimiento probablemente como consecuencia de la inmovilidad del calcio en la planta.

Bonner y Galston (1965), reportan que los síntomas de la falta de calcio se complican debido a que este metal interviene no solo en el funcionamiento interno de la planta, sino también como regulador de absorción radicular de otros iones procedentes del suelo siendo soluciones o caldos nutritivos.

Una deficiencia de calcio puede dar lugar, a la absorción de cantidades anormales elevadas y aun tóxicas de magnesio, por esta razón, cuando las plantas se desarrollan en un suelo o solución escasa en calcio y abundante en magnesio; puede ocurrir que surjan síntomas propios de la intoxicación magnésica con más intensidad que los debidos a la falta de calcio.

2.1.5. Magnesio

Según Turner (1954), el magnesio se encuentra en las plantas en cantidades mucho más pequeñas que el Calcio. Es uno de los constituyentes de la clorofila, y cuando escasea, se trastorna la producción del pigmento. El magnesio actúa como vehículo del fósforo; se encuentra en los brotes en crecimiento de planta, donde el fósforo es más abundante. El magnesio se encuentra en mayor proporción en las semillas y en las hojas que en el resto de la planta. Es necesario para la formación de los aceites vegetales.

El magnesio es absorbido por la planta en forma de catión (Mg^{++}), este elemento es un componente principal de la molécula de clorofila, es activador de numerosas enzimas que afectan la transferencia de P, a su vez que su deficiencia produce efectos en los procesos de fosforilización, con un incremento acentuado de compuestos nitrogenados (Padilla, 2011).

La clorofila contiene un 2,7 % de Mg, y cerca del 10 % del magnesio en las plantas se encuentra en los cloroplastos, a su vez, colabora con el fósforo en sus procesos de mejoramiento radicular, aumenta el contenido de aceites, grasas y proteínas y también ayuda en la fijación del N (Padilla, 2011).

Síntomas en Deficiencia de Magnesio

El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, su deficiencia en las plantas verdes se presentará en forma de clorosis de las hojas comprendidas entre las nervaduras. Comienza por las hojas basales y se propaga a las más jóvenes a medida que la deficiencia se torna más aguda. La clorosis suele ir seguida por la aparición de las hojas de pigmentos antociánicos, cuando más aguda es, aparecen manchas necróticas (Taiz y Zeiger, 2006).

2.1.6. Azufre

Según Turner (1954), el azufre es esencial para la formación de proteínas. El azufre se absorbe como ion sulfato bivalente. Miller (1967), manifiesta que el azufre es un componente del aminoácido cistina, del glutatión y de los glucósidos del aceite de mostaza, que dan el sabor a las cebollas, rabanitos, coles, etc. El azufre es indispensable para la formación de la clorofila.

Padilla (2011), en su exposición explica que el azufre es un elemento que participa activamente en la fotosíntesis, en la fijación no fotosintética del CO_2 , en la respiración, en la

síntesis de grasas y proteínas y en la fijación simbiótica de nitrógeno. El azufre participa también en el estímulo, formación y desarrollo de yemas, en el incremento de la producción vegetativa y en el aumento el contenido de proteína.

Síntomas de Deficiencia de Azufre

Según Galston (1965), la falta de S no suele darse en condiciones anormales en las que se desarrollan las plantas, ya que el ion $SO_4^{=}$, forma en que por lo general lo absorben los vegetales, suelen abundar en el suelo. Las deficiencias tienen lugar en los ejemplares cultivados en soluciones nutritivas.

Al principio el síntoma característico es el amarillamiento de las hojas jóvenes, pero deficiencias mayores provocan el debilitamiento del color verde incluso en las hojas más viejas (Navarro y Navarro, 2003).

Miller (1967), reporta que cuando las plantas tienen deficiencia de azufre, presentan un color verde pálido que comienzan por las hojas más jóvenes y se diferencia con la deficiencia de N porque en este caso la clorosis inicia por las hojas inferiores.

2.1.7. Zinc

El zinc es un componente de las enzimas, también ayuda en la formación de raíces, a su vez estimula el crecimiento y la fructificación (Padilla, 2011).

Síntomas de Deficiencia de Zinc

Los síntomas iniciales de deficiencia de zinc corresponden a una clorosis localizada entre las nervaduras de las hojas más viejas la cual se inicia en el ápice y en los bordes, seguida por un moteado necrótico blanco. Deficiencias agudas de este microelemento provocan crecimiento de hojas más pequeñas y entre nudos cortos (Navarro y Navarro, 2003).

La deficiencia de zinc produce el amarillamiento de los nogales, hojas moteadas de los cítricos, hojas pequeñas en frutas de hueso y vid, cogollo blanco en el maíz (Millar, 1979).

2.1.8. Cobre

El Cobre es un componente de las enzimas y a su vez es necesario para la formación de sustancias que promueven el crecimiento, también aumenta la resistencia al ataque de patógenos y reduce la esterilidad de flores masculinas (Padilla, 2011).

Síntomas de Deficiencia de Cobre

Los síntomas más evidentes de deficiencia de cobre son los que se encuentran en una enfermedad presente en los frutales conocida como “exantema” también presente en cereales y leguminosas. La deficiencia en cobre suele provocar una necrosis del ápice de las hojas jóvenes, que progresa a lo largo del margen de la hoja, dándole un aspecto seco (Navarro y Navarro, 2003).

La deficiencia de cobre en la planta se presenta con amarillamiento general de la planta, decaimiento de hojas y tallos y con doblez de las puntas de la hoja (Padilla, 2011).

2.1.9. Hierro

Según Miller (1979), el hierro es importante en los sistemas enzimáticos de las plantas ya que se necesitan para la síntesis de la clorofila.

Padilla (2011), se refiere al hierro como un elemento que ayuda en la fijación del nitrógeno y es precursor de la clorofila en los cloroplastos de las células.

Síntomas de Deficiencia de Hierro

Los síntomas de la deficiencia de hierro son más pronunciados en las plantas que crecen en suelos calcáreos o salinos. Las plantas deficientes en hierro tienen hojas de color amarillo claro, el cual es más evidente en las hojas jóvenes. Las áreas entre las nervaduras retienen un color más oscuro (Bonner y Galston, 1965).

2.1.10. Manganeso

Según Miller (1979), este elemento es importante en el sistema enzimático de la planta ya que son necesarios para la síntesis de la clorofila. Un exceso de manganeso causa una inactivación del hierro.

El manganeso aumenta la resistencia a algunas enfermedades y ayuda en el fraccionamiento de la molécula de agua para el proceso fotosintético (Padilla, 2011).

Síntomas de Deficiencia de Manganeso

Bonner y Galston (1965), manifiestan que según se intensifica la deficiencia de Mn las sucesivas hojas de la planta en desarrollo palidecen cada vez más y cuando mueren tienen un color pardo gris. Esta clorosis, al igual que la originada por la falta de hierro se marca especialmente entre las nervaduras de las hojas, la aparición de manchas y a la muerte de las hojas se caen rápidamente.

2.1.11. Boro

Taiz y Zeiger (2006), manifiesta que aunque los síntomas de la deficiencia en boro son espectaculares, hasta ahora no ha sido puesto en claro su papel en el metabolismo de la planta. Es necesario para la síntesis de las proteínas ya que es posible que sea necesario en el proceso de división celular (Miller, 1967).

Síntomas de Deficiencia de Boro

Bonner (1967), manifiesta que el primer síntoma visible de deficiencia en boro es la muerte del ápice del tallo; acorchamiento interno de la manzana, amarillamiento de alfalfa, pudrición del follaje del tabaco, por lo tanto reduce el crecimiento de la planta y la formación de hojas nuevas, razón por lo cual la falta de boro en el tabaco se conoció como una enfermedad apical. La deficiencia bórica en los órganos carnosos produce la desintegración y el pardeamiento de tejidos internos, síntoma que se manifiesta en el meollo rojo de la

remolacha, la coloración parda interna, formación de corcho en las manzanas, y en las zonas acuosas y pardas que surgen en las coliflores.

2.1.12. Molibdeno

Millar (1979), reporta que la reducción de los nitratos en las plantas depende del molibdeno. Una deficiencia de este microelemento, origina acumulación de nitratos de interferencia en la síntesis de las proteínas. La fijación de nitrógeno en las leguminosas depende de la presencia de molibdeno.

Síntomas de Deficiencia de Molibdeno

Los síntomas de deficiencia pueden iniciarse con un moteado clorótico de hojas inferiores, localizado principalmente entre los nervios, seguido por la necrosis marginal y el encorvamiento de las hojas. La formación de flores se ve inhibida y si estas llegan a formarse, se desprenden antes de fructificar.

2.2. FUNDAMENTO DEL MÉTODO BIOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD

Colwell (1980), citado por Valarezo (1985), manifiesta que el principio del método consiste en que las plantas testigo crecen de tal manera que el sistema radicular se desarrollan parcialmente en el suelo y a su vez otra parte en una solución nutritiva. Esto se logra cuando las plantas crecen en pequeñas macetas que contienen aproximadamente de 200 a 250 g de suelo. El fondo de la maceta es eliminado y se lo reemplaza por tela nylon. Las raíces que llegan al fondo de la maceta atraviesan el tejido de nylon y tienen acceso a la solución nutritiva que se encuentra en una maceta más grande (600nml). En la cual descansa la primera con ayuda de la misma tapa la cual ha sido perforada en el tamaño de la maceta más pequeña.

Cuando el suministro de cualquiera de los nutrientes en el suelo es baja, las plantas testigo no sufrirán ninguna deficiencia, mientras que, los nutrientes deficientes en el sustrato se encuentren presentes en la solución nutritiva que contienen la maceta más grande. Sin

embargo, cuando uno de los nutrientes está ausente tanto en el suelo como en la solución nutritiva, la planta manifestará un crecimiento sub óptimo (Valarezo, 1985).

En la prueba biológica, la planta actúa como agente extractor de sustancias nutritivas. El bajo nivel de elementos esenciales en el suelo, se traduce en deficiencia que se manifiestan cualitativamente en el ritmo de crecimiento de la planta y en peso seco de la misma al momento de la cosecha. A menudo los síntomas visibles que presentan las plantas por efecto de las deficiencias de elementos nutritivos, son lo suficientemente conspicuos para permitir apreciar las diferencias que dan lugar a los diferentes tratamientos (Valarezo, 1985). Puig (sf.), Las especies indicadoras son aquellos organismos, que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos).

A principios del siglo, la idea de usar como indicadores a las especies se generalizó, aplicándose a la vegetación terrestre. En determinadas zonas las plantas se usaron ampliamente como indicadores de las condiciones de agua y suelo (Puig, sf).

Según Valarezo (1985), la ventaja más importante de este método de evaluación es que no se requiere realizar el análisis químico del suelo o de la planta para lograr una visión clara del estado nutricional del suelo bajo estudio.

Dentro de las plantas que se utilizan como indicadoras está el tomate de mesa, debido a que es una planta que responde con relativa prontitud a las deficiencias de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Cu Mo, Zn es fácil evaluar su producción (rendimiento en peso seco). Para evaluar la capacidad productiva de un suelo, se utilizan numerosos métodos; por muchos años los análisis químicos y físicos, así como los métodos fisiológicos – químicos, han sido los más importantes para el estudio de la fertilidad. Simultáneamente aparecieron los métodos biológicos, difundiéndose ampliamente el uso de macetas con pequeños volúmenes de suelo y plantas indicadoras, bajo condiciones de invernadero, los cuales permiten ampliar los conocimientos sobre la variabilidad del suelo como factor del crecimiento de las plantas (Puig, sf).

2.3. FERTILIDAD ACTUAL Y POTENCIAL DE UN SUELO

La Fertilidad del Suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo (Sánchez, sf).

Según Schoeder (1983), citado por Burneo (2012), explica que la fertilidad actual se considera aquel nivel dado por las condiciones naturales del suelo. Mientras que la fertilidad potencial en cambio, es el máximo nivel de fertilidad alcanzable por la implementación de factores que la definen. La agricultura intensiva se aproximan generalmente a la fertilidad potencial, sin embargo, la producción forestal debe adaptarse a la fertilidad actual. Ella es generalmente desarrollada en terrenos de menor accesibilidad alejados de los mercados y además es una producción a mediano o largo plazo.

Los suelos empleados en la producción forestal son manejados en general dentro del concepto de la fertilidad actual (condiciones naturales) a diferencia del sector agrícola para el cual se busca lograr la fertilidad potencial (mejoramiento por cultivo de suelo) (Schlatter (1991), citado por Burneo (2012)).

2.4. SOLUCIONES EXTRACTORAS PARA EVALUAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES

2.4.1. Principios Generales.

Pevehill, Sparrow y Reuter (1999); se refiera a un extractor universal como un término utilizado para designar a los reactivos o procedimientos para extraer varios elementos o iones para evaluar el estado de la fertilidad del suelo o los niveles de toxicidad. Idealmente, extractores universales debe ser rápida, fácil de reproducir, bajo costo de elaboración, adaptable a suelos de diferentes regiones, y la extracción de los nutrientes debe ser de muy similar a la forma en que las raíces de las plantas toman el nutriente.

Dentro de los extractantes más comúnmente utilizados extractantes son conocidos como Morgan, Mehlich 1, Mehlich 3, y AB-DTPA, pero hay otros extractantes multinutricionales,

tales como acetato de amonio 1M neutral, TEA-DTPA, y de intercambio de iones resina. Ninguno de ellos es capaz de extraer todos los elementos determinados en los laboratorios de análisis de suelos, ni son siempre muy eficientes para todos los nutrientes (Peverill, Sparrow y Reuter, 1999).

Dentro de los extractantes más efectivos son aquellos que contienen DTPA. Entre los métodos de ensayo no convencionales del suelo, la extracción con resina de intercambio iónico es una de las alternativas más prometedoras (Peverill, Sparrow y Reuter, 1999).

Dentro de los análisis de suelos debe existir una característica fundamental como la correlación lo cual significa la asociación entre el valor numérico del análisis químico y un indicador agronómico (rendimiento, concentración en la hoja indicadora, concentración en la planta, extracción de nutriente) concentración en la planta, extracción de nutriente). Por tal motivo una solución extractora será eficiente o adecuada cuando valores altos de extracción correspondan también a niveles altos de absorción del elemento por la planta y viceversa (Sotomayor, sf).

2.5. SOLUCIONES EXTRACTORAS DE MAYOR UTILIZACIÓN

La función de las soluciones extractoras en los análisis de suelos es tratar de imitar el funcionamiento de la raíz, ya que los resultados obtenidos con estas soluciones deben estar directamente correlacionados con la respuesta de las plantas en el campo. Sin embargo como lo que ocurre entre el suelo y la solución es una reacción química, la eficiencia de la solución extractora puede variar según el tipo de suelo (Bertsch, 1987).

Según Bertsch (1987), existe un sinnúmero de soluciones extractoras que bajo ciertas circunstancias cumplen con ciertos requisitos pero sin embargo, es dificultoso encontrar un extractante universal que sirva para todos los nutrimentos y en diversas condiciones de clima y suelo. Recientemente se ha propuesto el uso de algunas nuevas soluciones con características de extractores universales, como la solución Mehlich III, la solución Morgan modificada y el DPTA.

2.5.1. Solución extractora Mehlich I

La solución extractora está compuesta por 0.05 N de ácido clorhídrico + 0,0125 N de ácido sulfúrico. Esta solución fue propuesta por Nelson y también es conocida como Carolina el Norte o Mehlich I. Extrae cantidades de fósforo no disponible en suelos con pH mayores de 6, correlaciona bien con la solución extractora e Bray I; adecuada para suelos ácidos, con valores bajos e capacidad de intercambio Catiónico, con poco o nada de fosfatos de calcio (Chonay et al., 2000).

2.5.2. Solución extractora Mehlich III

La solución extractora está compuesta de 0.2 N de ácido acético, 0,25N e nitrato de amonio, 0,015 e fluoruro de amonio, 0,013 de ácido nítrico 0,001 M de EDTA regulada a pH 2,5. Puede ser utilizada para la extracción simultánea de macronutrientes y micronutrientes, siendo una ventaja sobre las demás soluciones extractoras (Chonay et al., 2000).

2.5.3. Morgan modificado

Esta solución extractante está compuesta por 1N ácido acético de sodio (NaOAc) + 0.54N ácido acético (HOAc) + 0.00013M Ácido dietilentriaminopentacético (DPTA), con un pH regulado a 4,8 (Usón et al., 2010).

2.5.4. DPTA

Se mide 10 ml de suelo en vasos de 100 ml y se agrega 20 ml de DPTA (ácido dietilen triamino pentacético 0,005M, CaCl₂ 0.01M y TEA). Se agita por 20 min y se filtra con papel Whatman #42. En el extracto se determina, Cu, Zn y Mn por absorción atómica (Usón et al., 2010).

2.5.5. Solución extractora Olsen

Según Cajuste (1986), esta solución extractora está formada por NaHCO₃ (0.5M) de pH 8.5. Bajo estas condiciones, la solubilidad del fosfato de calcio existente en los suelos calcáreos,

alcalinos o neutros aumenta debido a la precipitación de Ca^{2+} como CaCO_3 . En suelos ácidos que contengan fosfatos ligados al Al y Fe, la concentración de fósforo en la solución incrementa conforme sube el pH. Reacciones de precipitación secundaria se reducen al mínimo debido a que la concentración de Al, Ca y Fe, se mantienen a un bajo nivel en esta solución extractora.

2.5.6. Solución extractora Olsen Modificado

Esta solución está compuesta por 0.5 N de NaHCO_3 , 0,01M EDTA con 0,5 g de superfloc 127; la cual sirve para preparar 10 litros de solución.

Es utilizado en la determinación de NH_4 , P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn, utilizando una solución extractora modificada de bicarbonato de Sodio (NaHCO_3) (Chonay et al., 2000).

2.5.7. Solución extractora Bray I

Está formada por fluoruro de amonio 1 m y ácido clorhídrico 0,5M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación del aluminio por la formación del complejo aluminio y fluoruro. Es una solución extractora no recomendable para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual disuelve el complejo de fósforo calcio. Una desventaja de esta solución es la interferencia del fluoruro en la formación el color, para evitar esta interferencia se utiliza bisulfito de sodio. (Chonay et al., 2000).

2.6. UTILIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN OLSEN MODIFICADA EN EL ECUADOR

Cada uno de los elementos o propiedades químicas del suelo, son analizados utilizando los procedimientos más adecuados y tecnología de punta en lo relacionado a equipos y materiales (Padilla, 2009).

Padilla (2009), menciona que los estudios de correlación realizados en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada, compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y un defloculador, ajustada a un pH de 8.5 con NaOH 10 N, ha

alcanzado altos grados de correlación con las respuestas de las plantas, en los diferentes elementos que son analizados en el extracto de suelo, razón por la cual este extractante está actualmente siendo usado en algunos laboratorios del país.

En el Ecuador, se utiliza la solución extractora de Olsen Modificada, después de muchos años de estudio e investigación en el país, y ha sido calificada como la más idónea para la determinación de los diferentes elementos nutritivos en los suelos, que por su material parental poseen características muy especiales.

Esta solución extractora absorbe los nutrientes en forma y cantidad similar a lo que realizan las raíces de las plantas en un medio ambiente equilibrado. Este extractante ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutriente absorbido y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos. La solución extractora es parte fundamental en el análisis de suelo y su confiabilidad, depende de la eficiencia de éste.

2.7. LA RED DE LABORATORIOS DE SUELOS EN ECUADOR (RELASE)

La Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE) inició sus actividades el 20 de octubre del 2001 con el apoyo de la Sociedad de la Ciencia del Suelo Ecuador. Participando cada dos años en los Congresos de la Ciencia del Suelo con Simposio de Laboratorios (Carrera, 2010).

En un inicio, se detectó mediante la comparación de resultados de análisis de suelos y plantas la disparidad entre los laboratorios participantes. Con esta premisa se planteó un proceso de ajuste de metodologías e intercomparación con la finalidad de obtener datos homogéneos, confiables y procesados mediante las mismas metodologías (Carrera, 2010).

En el ámbito del desarrollo normal de los cultivos, la protección ambiental, la confiabilidad en los resultados del análisis de cualquier ensayo es de crucial importancia. Esto se debe a que el cálculo de dosis y las decisiones a tomar, dependen de la exactitud de los resultados de medición (Carrera, 2010). Los objetivos de la RELASE son:

General

- Organizar la Red Ecuatoriana de Laboratorios de Suelos del Ecuador RELASE con la finalidad de Estandarización de metodologías e intercomparación de resultados de Análisis de Suelos entre los laboratorios participantes.

Específicos

- Cruzar muestras de suelos dos veces al año para verificar datos mediante análisis.
- Ajuste de Metodologías, procesos y repertorios de análisis en los laboratorios miembros de la RELASE.
- Estructurar intercomparación de análisis de suelos, plantas y aguas de los laboratorios participantes en la RELASE.

En el Anexo 2 se describe la lista de los laboratorios de suelos del Ecuador que participan en la RELASE; mientras que en el Anexo 3 se describe los métodos de ensayo que utilizan los laboratorios para los distintos análisis realizados.

2.8. PARÁMETROS PARA LA INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS.

La interpretación de los análisis de suelos tiene un problema fundamental el cual radica en la interpretación de los datos. Valores óptimos o valores críticos para nutrientes individuales que pueden variar sobre un rango considerable, dependiendo de factores tales como: tipo de suelo, región geográfica, régimen de humedad y luminosidad, edad de las plantas, balance con otros nutrientes, tipo de material de siembra, espaciamiento y competencia entre plantas, etc.

– Primer parámetro.- pH

El pH es un índice que indica el grado de acidez o alcalinidad en un extracto acuoso del suelo. Es decir, es un indicativo de las condiciones generales de fertilidad del suelo.

El pH conocido como potencial hidrógeno, indica el grado de acidez activa que tiene el suelo, es decir la concentración de los iones hidrógeno presentes en la solución del suelo. Las plantas en solución nutritiva, toleran valores que varían de 3,0 a 9,0 sin perjuicio en su desenvolvimiento, si los nutrientes en solución son mantenidos disponibles mediante artificios químicos.

Pero en el suelo, pH menores a 5,5 o arriba de 7,5 ya restringen bastante el crecimiento vegetal, debido a que estos valores indican la existencia de varias condiciones desfavorables en las plantas, tales como deficiencias de Ca y Mg, altos contenidos de aluminio, alta fijación de fósforo a pH bajo y deficiencia de microelementos o un exceso de sales a pH alto.

Es necesario hacer notar que el pH y la acidez intercambiable, pueden ser solamente determinados en una muestra de suelo, por lo tanto para decidir la aplicación de cal como enmienda del suelo, se hace necesario realizar obligadamente un análisis del suelo.

– **Segundo parámetro.- Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica, es un buen indicativo del contenido de nitrógeno en el suelo, de su actividad biológica y física a la vez que es un buen indicador de la capacidad de intercambio catiónico, es decir, de la capacidad de retener los nutrientes de carga positiva, conocidos como cationes, a saber potasio, calcio y magnesio. Cuando el contenido de materia orgánica es medio o alto, se puede pensar en una mejor retención del agua en el suelo, debido a su mejor estructuración.

La materia orgánica por su acción quelatante es una buena fuente de microelementos, lo que garantiza un mejor grado de fertilidad del suelo. La materia orgánica es un excelente amortiguador o buffer en el suelo, evitando así los cambios bruscos del pH del mismo.

Al tener el suelo un buen contenido de materia orgánica, garantiza que los fertilizantes que se añaden al mismo, no se perderán fácilmente por efectos de lixiviación o lavado, por un fuerte riego o durante la temporada lluviosa.

– **Tercer parámetro.- Nitrógeno (NH_4^+)**

Este parámetro corresponde al contenido del nitrógeno en forma amoniacal o como catión, que es la forma más estable de nitrógeno en el suelo. El ion NH_4^+ es retenido por los suelos en forma intercambiable de la misma forma que los cationes metálicos.

El ion NH_4^+ experimenta un equilibrio de fijación en las arcillas de tipo 2:1, muy similar a lo que acontece con el potasio. El ion amonio que queda fijado de esta forma experimenta solo un intercambio lento y posee manifiesta resistencia a nitrificarse.

De esto se deduce que la determinación de nitrógeno en la forma de NH_4^+ , debe hacerse en suelos que contengan un porcentaje adecuado de coloides sean estos orgánicos o inorgánicos y no en suelos con altos contenidos de arena o materiales inertes.

Es necesario indicar que las plantas absorben muy poco nitrógeno en forma amoniacal ya que su acumulación es tóxica para la misma, por eso es que el NH_4^+ es incorporado a compuestos orgánicos, en forma casi inmediata a nivel radicular. El NH_4^+ en cantidades altas en el suelo compite con los otros cationes, de manera especial con el calcio, lo cual puede provocar una deficiencia de este elemento a nivel de la planta. Es conocido que el NH_4^+ por ser un catión, descoloca a los cationes K, Ca y Mg y torna muy precario el metabolismo vegetal.

En todo caso el conocimiento del contenido de NH_4^+ en el suelo, es considerado como un buen dato referencial para dar una sugerencia de fertilización, cuando se toman en consideración otros parámetros del análisis. Una acumulación de NH_4^+ en el suelo se debe a un bajo pH, el que limita la acción del grupo de bacterias que intervienen en el proceso de nitrificación o a un exceso de agua que limita la presencia de oxígeno en el suelo el cual es necesario para la respiración de las bacterias que son de tipo aeróbico.

– **Cuarto parámetro.- Nitrógeno (NO_3^-)**

Este parámetro corresponde al nitrógeno en forma nítrica (NO_3^-), el mismo que se lo determina únicamente en suelos dedicados a cultivos intensivos o suelos de zonas secas cuando el cultivo es a campo abierto. Es bien conocido que las plantas absorben mejor el nitrógeno en forma nítrica que amoniacal, pero un exceso del NO_3^- produce un desbalance con los otros aniones, causando un decrecimiento en su asimilación.

– **Quinto parámetro.- Fósforo**

Este es un elemento que por su poca movilidad, merece un tratamiento muy especial. Una deficiencia de fósforo trae consigo un crecimiento lento y débil de las plantas con la consiguiente falta de fecundación, lo que se refleja en una baja de producción. Una baja asimilación de fósforo por parte de la planta, puede deberse a un proceso de fijación de este elemento en el suelo, debido al bajo pH, para que el fósforo permanezca disponible el pH debe estar sobre 5,5 y no en condiciones de reducción, es decir no en suelos saturados de

agua. De igual manera en presencia de contenidos altos de NH_4^+ , parte del fertilizante fosfórico puede volverse inaprovechable. Contenidos adecuados de fósforo provocan una absorción mayor de boro y zinc y una disminución de la absorción de manganeso, hierro y cobre.

En suelos deficientes en fósforo, generalmente, no se presenta una respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio, a menos que la deficiencia de fósforo sea corregida. Es por esta razón que al realizar una fertilización, no se debe dejar de aplicar fósforo conjuntamente con los otros nutrientes, para así mantener un balance y restituir continuamente el fósforo exportado por el cultivo.

Cuando se interpreta a los cationes, se debe hacer en conjunto y no en forma independiente ya que entre ellos existen antagonismos y sinergismos los cuales están de acuerdo con la relación numérica que hay entre ellos, de allí que es muy importante dar una mirada a los últimos parámetros, los que corresponden a las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K.

Es importante apreciar que por cantidad presente en el suelo, los cationes mantienen el siguiente orden: el calcio mayor que el magnesio, que el potasio y que el sodio. Pero no siempre el orden por cantidades mantienen el orden de importancia para la nutrición de la planta, de allí que en importancia el potasio es primero, seguido por el magnesio, el calcio y el sodio. En ausencia del potasio, una adición de magnesio puede tener un efecto negativo en la producción, mientras que en presencia de potasio se puede lograr incrementos significativos. Es por otra parte, bien conocido que el uso continuo de potasio y su acumulación en el suelo, causa una falta de asimilación de magnesio, demostrándose los conocidos signos de deficiencia de este elemento en las hojas bajas de las plantas.

Al hacer referencia al calcio, es también conocido que concentraciones altas de este elemento, reduce la asimilación de potasio y amonio causando una reducción en calidad y producción. La cantidad absoluta de calcio cambiante presente, con frecuencia, no es tan importante, para la nutrición de las plantas, como la cantidad presente en relación a las cantidades y tipos de otros cationes retenidos por los coloides, o el grado de saturación de calcio. Por ejemplo un suelo que tenga 3,75 meq de Ca cambiante por 100 ml de suelo, pero con una baja capacidad de intercambio catiónico, puede suministrar bien calcio a las plantas que un suelo conteniendo 8 a 10 meq de calcio por 100 ml de suelo pero con una alta capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto el grado de saturación de calcio es de

considerable importancia a este respecto, por cuanto la cantidad de este elemento retenido en forma cambiante por un coloide disminuye en proporción a la capacidad total de cambio de este coloide, y la cantidad de calcio absorbido por las plantas disminuye.

Debido a esto cuando se evalúa la casilla correspondiente a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), lo más importante no es si su valor es bajo o alto, la importancia radica en que los cationes potasio, calcio, magnesio y sodio mantengan las relaciones adecuadas entre ellos y al sumar todos esos valores se llegue a suficiencia. Por último sin ser menos importante, se tiene a los microelementos, los cuales no han tenido mayor importancia en la nutrición de las plantas, pero cuando son tomados en cuenta y manejados adecuadamente, cumplen muy bien con la ley del mínimo y proporcionan resultados interesantes en relación al rendimiento. Es indudable que de ellos hay uno, que en la nutrición de un gran número de plantas, es más importante, y se trata del boro, el mismo que está muy relacionado con el pH del suelo. A pH menor a 5 o superior a 7,5, su asimilación se ve drásticamente afectada. Un boro bajo en el suelo y con un pH de 5, como el de la palma, da como resultado un contenido deficiente de boro a nivel foliar, causando un debilitamiento de los tejidos con el consecuente rompimiento de ramas y de hojas.

2.9. TRABAJOS RELACIONADOS

- En la Universidad Nacional de Loja, Fac. de Ciencias Agrícolas investigación realizadas por Guayllas (1988), donde evaluó el estado nutricional de los suelos de Canicapac y Ñamarín, Cantón Saraguro mediante un método biológico; empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum*) y trigo (*Triticum vulgare*), Los resultados señalaron que en las comunidades en dichas comunidades el N y P fueron los elementos deficientes. En la primera Comunidad, los mejores promedios de altura de planta de tomate se consiguió con los tratamientos de Zn y solución completa, alcanzando 33,3 y 32,6 cm en su orden, en Cañicapac los mejores datos se obtuvieron con: -Zn: 32 cm, -Solución completa: 31,3 cm, -Mg: 30 cm, -K: 28,4 cm y -S: 27,8 cm de altura. El promedio más alto de materia seca correspondió a los tratamientos solución completa y menos Zinc en Ñamarín; menos Zinc, Solución completa y menos potasio en Cañicapac. Indicándose también que los valores más bajos de materia seca se obtuvo en los tratamientos P y N

- Burneo (2012), en la Universidad Nacional de Loja, realizó su trabajo de tesis en un ensayo localizado en la parroquia Pantguinza, provincia de Zamora Chinchipe; este ensayo consistió en un diseño experimental de parcelas sub-sub divididas con doce tratamientos y cuatro repeticiones, dos especies arbóreas (pachaco y melina), dos niveles de fertilización (sin y con) y tres niveles de biocarbón (0; 3 y 6 t/ha); donde evaluó la fertilidad biológica de un suelo desarrollado sobre andesita, el trabajo de campo en el invernadero se realizó mediante la técnica del elemento faltante, utilizando como planta indicadora el tomate *Solanum lycopersicum*, con cuatro repeticiones, y soluciones nutritivas (solución completa y soluciones carentes de algún elemento en evaluación). Se registró que todas las plantas que se desarrollaron en las soluciones nutritivas carentes de un elemento tuvieron menor desarrollo que las plantas de la solución nutritiva completa. El método biológico fue sensible para evaluar la disponibilidad de los nutrientes en correspondencia con los factores: fertilización, especies arbóreas y dosis de biocarbón, lo que no ocurrió con el análisis de laboratorio.
- Opazo, et al (1999), citado por Burneo (2012), en la Universidad de Chile, con el fin de realizar una prospección rápida de la disponibilidad de nutrientes en praderas del secano costero de la zona central de Chile se implementó una metodología para realizar ensayos en macetas utilizando como especie indicadora el trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.), en condiciones de invernadero. En la etapa inicial del ensayo se consideraron dos suelos, Curanipe y Machihue, a la profundidad de 0 – 20 cm. Se determinaron en la muestras algunas propiedades físicas, químicas y disponibilidad de nutrientes para relacionarlas con los resultados del ensayo biológico; el cual corroboró la baja disponibilidad de fósforo pero no así las de S, B y Mo.
- Flor (1963), Como tesis para la obtención de grado de Magister Agricultura se realizó la investigación con la finalidad de estimar la capacidad nutritiva de cuatro tipos de suelo (suelo y subsuelo) perteneciente a la finca Experimental “La Lola” de Costa Rica para lo cual se llevó a cabo un ensayo biológico bajo condiciones de invernadero donde se empleó semillas de arroz y tomate de mesa como plantas indicadoras, macetas de 1 kg y soluciones nutritivas de macroelementos y microelementos. Finalmente estos suelos manifestaron deficiencias de nitrógeno y potasio (cantidades relativas), la disponibilidad de fósforo es inferior en el suelo que en el subsuelo, en estos últimos se encuentran en cantidad asimilable suficiente para un buen crecimiento de las plantas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Las muestras empleadas para la evaluación biológica son provenientes del ensayo de la zona de estudio que corresponde a la red fluvial Zamora - Nangaritza, en el sur de la Amazonía Ecuatoriana, que fisiográficamente corresponde a un valle alargado y estrecho, con flancos de las cordilleras Real y de El Cóndor a ambos lados. El ensayo localizado en el sitio La Victoria del cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe, en un terreno perteneciente a la Unidad "BS-62 Zamora" del Ejército Ecuatoriano concedido mediante comodato por seis años a la Universidad Nacional de Loja, y que se encuentra a cinco km de la ciudad de Zamora vía a Yanzatza (Anexo 4), cuyas coordenadas UTM son la siguientes:

Latitud: 730 195 m N
Longitud: 9 552 202 m O
Altitud: 950 msnm

El paisaje corresponde a un pie de monte, el tipo de relieve es una vertiente y la forma del terreno es una ladera moderadamente escarpada, con 15 % de pendiente promedio. Geológicamente se asienta en el gran Batolito de Zamora compuesto de leuco granodioritas y granodioritas hornbléndicas.

A partir de la información que reporta el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), para el periodo de registro de 1970 a 1993 (23 años) de la estación meteorológica de Zamora, situada a 970 msnm, se derivan las siguientes características del clima para el piso bajo de la zona (850 a 1 000 msnm): temperatura media mensual 22°C; mínima 20,8°C y máxima 22,6°C, la precipitación media anual es de 1 945 mm, con un rango de 1 865 a 2 314 mm; y, la humedad relativa media mensual es de 88% (Valarezo, et al., 2011)

En el sitio "La Victoria", los cuatro perfiles estudiados no son idénticos pero presentan capas con características similares; son suelos muy profundos, formados a partir de roca granodiorítica del gran Batolito de Zamora. Se asume que los horizontes O de aproximadamente 1,20 m de profundidad están conformados por una delgada capa orgánica de 3-4 cm de espesor, el horizonte Ap tiene de 14 -16 cm de espesor, con color gris muy oscuro a negro, franco al tacto; el horizonte AE (o EA) posee de 12 a 20 cm de espesor, gris muy oscuro, franco arenoso a arenoso franco al tacto; una transición BE de 12 -24 cm de espesor;

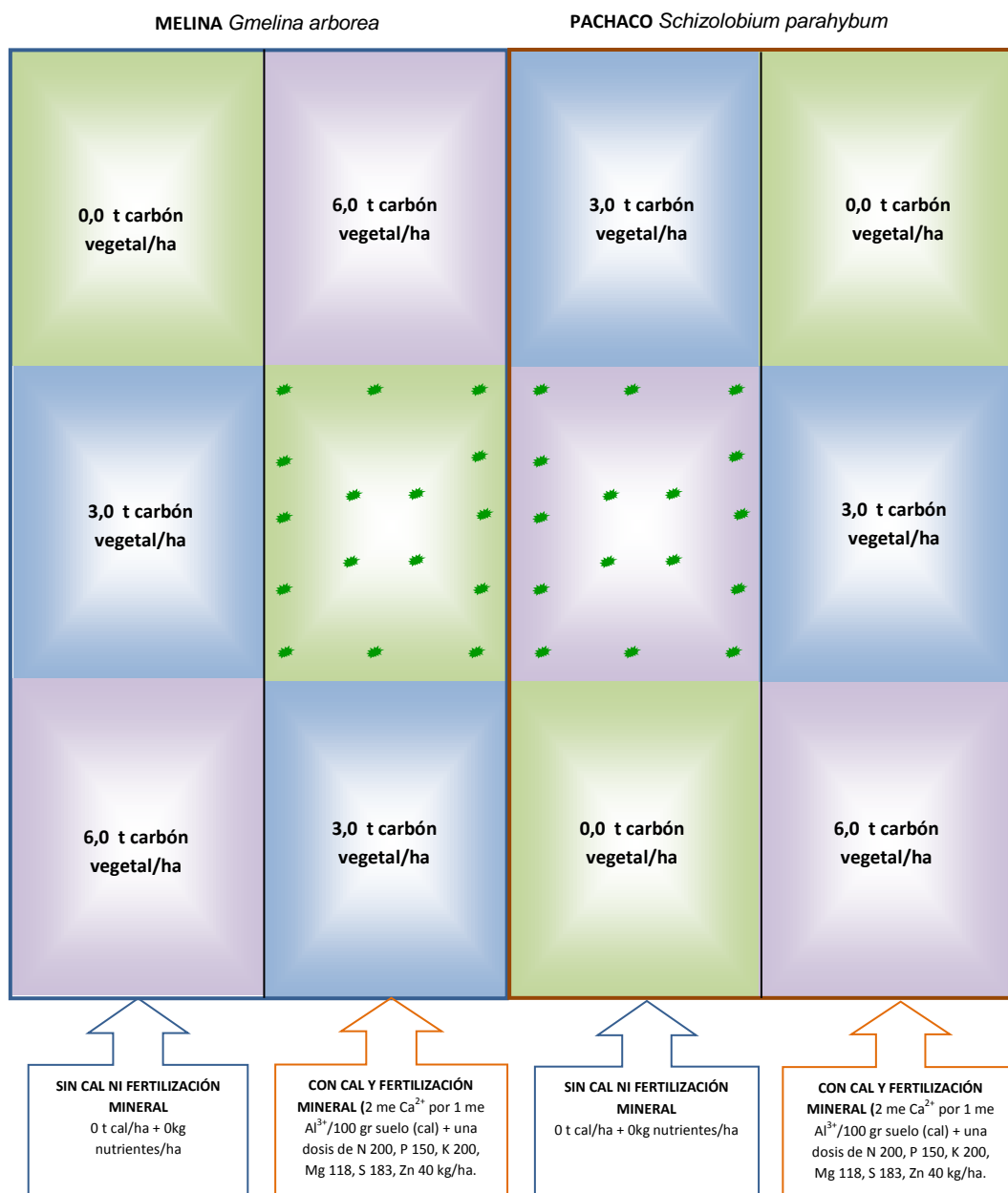
uno o dos horizontes Bt de color pardo amarillento, arcillo arenoso al tacto, con recubrimientos de arcilla (cutantes) muy delgados y discontinuos; una transición CB de 22 cm de espesor, color amarillo castaño, arcilloso al tacto; y un horizonte C, de color blanco, arcillo limoso al tacto, con granos de cuarzo menores y mayores a 2 mm. Por lo que estos suelos han sido clasificados como Typic Kandihumults (Valarezo, et al. 2010).

El pH_{H_2O} es de 4,9 en el horizonte Ap, disminuyendo hasta 4,7 en horizontes inferiores, por tanto estos valores son calificados como muy fuertemente ácidos. En todos los horizontes minerales el pH_{KCL} es menor al pH_{H_2O} en un rango de 0,7 a 0,8 unidades, situación que evidencia que el suelo tiene carga eléctrica negativa neta en todo el perfil. Los valores de H^+ oscilan entre 1,35 y 2,16 $cmol(+)Kg^{-1}$, con mayor valor para el horizonte mineral superior y variando irregularmente con la profundidad y con los menores valores en los dos últimos horizontes. Igualmente el contenido de Al^{3+} aumenta gradualmente con la profundidad, con el valor más alto 1,32 $cmol(+)Kg^{-1}$ en el horizonte Ap; y, el más bajo 0,39 $cmol(+)Kg^{-1}$ en el horizonte C, lo que indica que a medida que se desciende hasta el material parental del suelo, disminuye el contenido de Al^{3+} . Similar secuencia se evidencia en los valores de acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), también disminuyen con la profundidad, correspondiendo el valor más alto (3,48 $cmol(+)Kg^{-1}$) al horizonte Ap y el menor valor (1,74 $cmol(+)Kg^{-1}$) al horizonte C (Valarezo, et al. 2010).

El contenido de materia orgánica (MO), oscila entre 0,17 % para el horizonte C y 3,76 % para el horizonte Ap. Los valores de MO en los tres horizontes minerales superiores se encuentran en el rango calificado como medio; en tanto que, en el horizonte inferior el valor corresponde al rango muy bajo. La descripción del perfil de suelo, del sitio La Victoria del cantón Zamora se los describe con mayor detalle en el Anexo 1 (Valarezo, et al. 2010).

El diseño experimental del ensayo consistió en un arreglo en parcelas subdivididas (2x2x3), en bloques al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a la combinación de tres factores en estudio: dos especies arbóreas (melina y pachaco); dos niveles de la combinación de cal y fertilización (sin y con); y tres niveles carbón vegetal (0,0, 3,0 y 6,0 t/ha); cada sub-sub parcela contiene 16 plantas de una de las especies maderables, plantadas a 3 x 3 m. De esta forma, los tratamientos corresponden a la combinación de los tres factores en estudio: dos especies arbóreas (Melina y Pachaco); dos niveles de fertilización: Con y sin fertilización; y tres niveles de biocarbón: 0,0 3,0 y 6,0 t/ha (Figura 2).

Figura 2: Esquema del diseño experimental, del ensayo en el sitio La Victoria.



3.2. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA

La presente investigación se realizó en la Quinta Experimental “La Argelia”, sector Los Molinos perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, ubicada a 5 km sur de la ciudad de Loja, sector perteneciente a la ciudadela Reinaldo Espinoza de la parroquia San Sebastián, cantón Loja.

3.2.1. Ubicación Geográfica.

El ensayo se realizó en los laboratorios e invernadero del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, ubicado en las siguientes coordenadas UTM:

Longitud : 9 554 274 O
Latitud : 700 144 S
Altitud : 2 125 msnm.

3.2.2. Clima y Ecología

Según Holdridge, “La Argelia” corresponde a una zona de vida bosque seco montano bajo (bs – MB). Los datos promedio de los años 1994 – 2009, presentan la siguiente condición ecológica:

Precipitación : 964 mm
Humedad Relativa : 74 %
Temperatura : 16,1°C

3.3. MATERIALES

3.3.1. Muestras de suelo

El muestreo se ejecutó en la capa de 00 – 25 cm, y fue realizado en cada uno de los tratamientos del experimento perteneciente al proyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonia Ecuatoriana” instalado en el sitio La Victoria, cantón Zamora en un suelo desarrollado sobre Granodiorita.

3.3.2. Planta indicadora

Para el experimento de campo, se empleó como planta indicadora el tomate *Solanum lycopersicum*, debido a que su tamaño pequeño con muy poca cantidad de reservas nutritivas para el desarrollo de la misma y a la vez el tiempo de germinación es mucho más precoz que otras semillas.

3.3.3. Soluciones madre

La solución madre o también llamada solución stock, estuvo en una concentración iónica de 1000 meq/l. En el Cuadro 1, se detalla el tipo de sales y sus respectivas cantidades expresadas en gramos, las cuales fueron empleadas para la preparación de las respectivas soluciones madres en una concentración 1N para los macroelementos.

Cuadro 1. Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macroelementos.

Sales utilizadas	Peso molecular g	Cantidad para 1L de sol 1 N g
Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	236	118
KNO ₃	101	101
KH ₂ PO ₄	136	136
NaH ₂ PO ₄	120	120
K ₂ SO ₄	174	87
MgSO ₄ · 7H ₂ O	246	123
MgCl ₂ ·6H ₂ O	202	101
CaCl ₂ ·6H ₂ O	218	109
NaCl	58	58

La solución madre de micronutrientes y la cantidad de sales empleadas para la preparación de un litro de esta solución se presenta a continuación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de sales empleadas, expresadas en gramos para la preparación de 1 litro de solución nutritiva de micronutrientes.

Micronutrientes	Sales	Cantidad g/L	ppm solución nutritiva	ml/L
Fe	Fe-EDTA	32,75		1
Mn	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1,81	0,5	1
B	H ₃ BO ₃	2,86	0,5	1
Zn	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0,22	0,05	1
Cu	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0,16	0,04	1
Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0,04	0,02	1

La concentración de la solución nutritiva de los micronutrientes se la obtiene diluyendo 1ml de solución madre en 1L de agua destilada. Mientras que la concentración de las soluciones

nutritivas de macronutrientes se encuentran en un valor promedio de 12,5mg/l. Las soluciones evaluadas en el ensayo son las enlistadas a continuación:

- Solución nutritiva completa (SC)
- Solución nutritiva (-N)
- Solución nutritiva (-P)
- Solución nutritiva (-K)
- Solución nutritiva (-Mg)
- Solución nutritiva (-S)
- Solución nutritiva (-Zn)
- Solución nutritiva (-Cu)
- Solución nutritiva (- Mn)
- Solución nutritiva (- B)
- Solución nutritiva (- Fe)

3.3.4. Otros materiales

- 528 vasos plásticos de 7 onzas (250 ml)
- Liga de goma delgada.
- 528 tarrinas plásticas de 700 ml de capacidad.
- Tela nylon.
- Pipetas de 5 y 10 ml.
- Balanza precisión 0,1 g.
- Probetas 500 y 1 000 ml.
- Estufa
- Fundas de papel y de plástico
- Barreno
- Galones de plástico de 20L de capacidad.
- Regla de 30 cm.
- Flexómetro
- Marcadores y etiquetas de identificación.
- Libreta de campo.
- GPS

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Diseño Experimental

El ensayo se realizó en un el diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial (11*12) y cuatro repeticiones, siendo en conclusión 132 unidades experimentales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Factores y Niveles a emplearse para la implementación del ensayo de tesis.

FACTOR	NIVELES	DETALLE DEL NIVEL	NOMENCLATURA
A. <i>Soluciones nutritivas</i>	1	Solución nutritiva completa	SC
	2	Solución nutritiva menos nitrógeno	-N
	3	Solución nutritiva menos fosforo	-P
	4	Solución nutritiva menos potasio	-K
	5	Solución nutritiva menos Magnesio	-Mg
	6	Solución nutritiva menos Azufre	-S
	7	Solución nutritiva menos Zinc	-Zn
	8	Solución nutritiva menos Cobre	-Cu
	9	Solución nutritiva menos Manganeseo	-Mn
	10	Solución nutritiva menos Boro	-B
	11	Solución nutritiva menos Hierro	-Fe
B. <i>Tratamientos de suelo</i>	1	Pachaco sin fertilización + 0,0 t/ha carbón vegetal	T1
	2	Pachaco con fertilización + 0,0 t/ha carbón vegetal	T2
	3	Pachaco sin fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal	T3
	4	Pachaco con fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal	T4
	5	Pachaco sin fertilización + 6,0 t/ha carbón vegetal	T5
	6	Pachaco con fertilización + 6,0 t/ha carbón vegetal	T6
	7	Melina sin fertilización + 0,0 t/ha carbón vegetal	T7
	8	Melina con fertilización + 0,0 t/ha carbón vegetal	T8
	9	Melina sin fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal	T9
	10	Melina con fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal	T10
	11	Melina sin fertilización + 6,0 t/ha carbón vegetal	T11
	12	Melina con fertilización + 6,0 t/ha carbón vegetal	T12

3.4.2. Especificaciones del ensayo

- Área total del ensayo: 40 m²
- Área útil del ensayo: 20 m²

- Área total de la unidad experimental: 1,6 m²
- Área útil de la unidad experimental: 1 m²
- Número de unidades experimentales: 132
- Número de réplicas: 4
- Número total de unidades experimentales: 528
- Número de plantas por tratamiento: 44
- Número de plantas totales: 528

3.4.3. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \delta_{ij} + \beta_k + \eta_{jk} (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

i = Bloques

j = Niveles del factor A (soluciones nutritivas)

k = Niveles del factor B (sustratos)

μ = Media general

ρ_i = Efecto debido a réplicas o bloques

$\alpha_j = \mu_j - \mu$, efecto debido a j-ésimo nivel de A

δ_{ij} = Efecto de error experimental para parcela grande, factor A

$\beta_k = \mu_k - \mu$, efecto debido a k-ésimo nivel de B

η_{jk} = Efecto del error experimental para franja grande, factor B

$(\alpha\beta)_{jk} = \mu_{jk} - \mu_j - \mu_k + \mu$, efecto de la interacción que resulta de la combinación del j-ésimo nivel de B

ε_{ijk} = Efecto de error experimental para el componente de interacción A

3.4.4. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó según el esquema de análisis de varianza que se detalla en el cuadro 4. El procesamiento, análisis estadístico, prueba de Tukey y gráficas estadísticas se realizó aplicando el programa estadístico *InfoStat, versión 2008* (Di Rienzo et al., 2008).

Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza para diseño bloques completamente al azar con arreglo bifactorial con cuatro repeticiones.

Fuentes de variación	GL	
Replicas	r-1	3
Factor A (Soluciones nutritivas)	a-1	10
Error experimental 1	(r-1)(a-1)	30
Factor B (Tratamientos de suelo)	b-1	11
Error experimental 2	(r-1)(b-1)	33
Interacción AB (soluciones por tratamiento de suelo)	(a-1)(b-1)	110
Error experimental 3	(r-1)(a-1)(b-1)	330
Total	rab - 1	527

Dónde:

a= niveles del factor A (soluciones nutritivas)

b = niveles del factor B (sustratos)

r = Número de réplicas (soluciones nutritivas)

3.4.5. Variables

Las variables a considerarse dentro de la evaluación de la tesis se detallan a continuación:

- Altura de planta (cm).
- Peso seco de biomasa de la planta (g).
- Determinación biológica de la fertilidad del suelo
- Determinación de la fertilidad química del suelo mediante los análisis de laboratorio
- Establecer la correspondencia entre los resultados del método biológico y químico

3.5. EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

3.5.1. Muestreo de suelo

Para tomar las muestras de suelo del experimento del cantón Zamora, se procedió a realizar el reconocimiento del lugar y a la correcta ubicación e identificación del ensayo el cual está diseñado en parcelas subdivididas (2*2*3), en bloques al azar. Por tal razón cada bloque está conformado por dos parcelas, cada una con una especie arbórea determinada, las que a su vez se subdividen en dos sub-parcelas que tienen como característica principal la fertilización mineral + cal y estas se subdividen en dos llamadas sub-sub parcelas correspondientes a tres niveles de aplicación de carbón vegetal (0; 3; y 6 t/ha).

A los 24 meses después de la plantación fueron tomadas las sub-muestras de suelo en las capas de 00 – 25 y de 25 – 50 cm, estas se colectaron en el área correspondiente de las cuatro plantas seleccionadas en cada unidad experimental. Luego se mezclaron estas sub-muestras dándonos la muestra con un peso de 1 kg.

3.5.2. Preparación de las muestras de suelo

La preparación de las muestras consiste principalmente en el secado, limpieza y trituración de agregados de suelo muy grandes. El secado de las muestras se realizó en un ambiente bajo cubierta, donde se realizó la limpieza de impurezas, posterior a esto triturar los agregados mediante un rodillo de madera. Una vez preparado el suelo, se pesó 44 muestras, con un peso de 200 g por cada uno de los doce tratamientos, las cuales se ubicaron en vasos plásticos de 250 ml de capacidad.

3.5.3. Preparación de los recipientes

Los vasos plásticos de 250 ml utilizados como macetas, se perforó el fondo y se ubicó un tejido nylon en la base, sujeta por una liga de goma y a su vez asegurada con cinta. Mientras que las tapas de las tarrinas (macetas), se les realizó un corte circular en el centro, donde quepa el vaso portador de la muestra con la finalidad, de que el vaso quede sumergido aproximadamente 1 cm desde la base, en la solución nutritiva colocada dentro de la tarrina.

3.5.4. Instalación del experimento

Una vez que se contó con todos los materiales para la instalación del ensayo (soluciones madres, tarrinas, vasos, agua destilada y semillas de tomate), se procedió a distribuir el ambiente de acuerdo al diseño experimental. En un mesón de madera se distribuyeron las tarrinas según el sustrato al que corresponden, soluciones nutritivas y sus respectivas réplicas; a continuación de esto se agregó 600 ml de agua destilada a cada una de las tarrinas las que a su vez se las preparó con cada una de las soluciones nutritivas a probarse en el ensayo.

Cada solución nutritiva fue preparada en recipientes de 20 l de capacidad, para lo cual se empleó la tabla en que se detalla las cantidades en ml que se ubicarán de cada solución madre para preparar 1 l de solución nutritiva (Cuadro 5). En tanto cada vaso plástico tendrá en su interior una muestra (200 g) de cada uno de los doce tratamientos de suelo proveniente del experimento del cantón Zamora. Una vez listo se introdujo en cada tarrina el vaso con su respectivo tratamiento de suelo según la identificación ubicada en el ensayo.

Cuadro 5. Volúmenes de soluciones madre empleadas para preparar 1 litro de solución nutritiva.

Solución Stock	Mililitros de la solución Stock que se debe adicionar en 1 litro de agua destilada										
	Completa	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6
KNO ₃	2		2		2	2	2	2	2	2	2
KH ₂ PO ₄	2	2			2	2	2	2	2	2	2
NaH ₂ PO ₄				2							
K ₂ SO ₄		2	2		1						
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1.5	1.5	1.5	1.5			1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
MgCl ₂ · 6H ₂ O						1.5					
CaCl ₂ · 6H ₂ O		6									
NaCl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NaFe - EDTA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
H ₃ BO ₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
CuSO ₄ · 5H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.5.5. Siembra de la planta indicadora

Previamente se dejó el vaso con muestra sumergido a 1 cm de la base dentro de la solución nutritiva por 24 horas, para que por efectos de capilaridad la muestra se mantenga húmeda, a continuación se sembró dentro de cada vaso con muestra tres semillas de la planta indicadora, para días después una vez estas hayan germinado poder realizar la selección de la planta más fuerte y así continuar con el desarrollo.

3.5.6. Reposición de la solución nutritiva.

La cantidad de solución nutritiva fue repuesta según el nivel que esta contenía en la tarrina, aunque regularmente se debió reponer 250 ml cada tres días en las semanas iniciales y posteriormente ser repuesta 500 ml de forma diaria, debido a los niveles de evapotranspiración, esto provocado por el mayor desarrollo de las plantas, aunque también considerando las características climáticas a las que se encontraba sometido el ensayo.

3.5.7. Registro del crecimiento de la planta

En el transcurso del experimento se realizó las siguientes observaciones:

- Cada 5 días se midió la altura de las plantas, por cada tratamiento hasta completar 50 días después de la germinación de la planta indicadora.
- Observaciones sobre el desarrollo general de la planta.
- Registro de síntomas de deficiencia.
- 60 días después de iniciado el experimento, se cortaron las plantas, se las colocó en la estufa a una temperatura de 120 °C por tres días.
- Se pesó las plantas después de 3 días de haber sido sometidas a la estufa para determinar el contenido de materia seca.

3.5.8. Toma de Datos

- **Altura de planta**, fueron tomadas cada cinco días, empleando un flexómetro, y una tabla para descripción y anotación ordenada de los datos tomados con fecha especificada hasta

que la planta alcanzó los 50 días.

- **Peso Seco de la Biomasa**, para tomar el peso de la biomasa se procedió a realizar el corte de la planta a después de los 50 días, de esta forma se separó la parte aérea (tallo, ramas y hojas) de la raíz. Seguido a esto se las sometió a la estufa a 105°C durante tres días, para proceder a tomar el peso de cada una de las 528 plantas, mediante el uso de una balanza de precisión.
- **Determinación biológica de la fertilidad del suelo.**- se realizó mediante el método de observación directa, y la técnica del elemento faltante; a su vez se identificó las diferentes sintomatologías que presenta cada uno de los tratamientos de suelo provenientes del experimento realizado en el sitio "La Victoria" del cantón Zamora.
- **Determinación de la fertilidad química del suelo mediante los análisis de laboratorio.**- para la determinación de la fertilidad mediante métodos químicos se realizó la evaluación de pH, elementos disponibles, capacidad de intercambio catiónico, acidez cambiante y bases cambiantes.
- **Establecer la correspondencia entre los resultados del método biológico y químico**, mediante la obtención de los resultados del laboratorio y las observaciones que se obtuvieron del ensayo en el campo se realizó el debido análisis y correspondencia existente entre ambos métodos.

3.6. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES.

El análisis de la disponibilidad de los elementos se realizó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja para la determinación de los mismos, se efectuó mediante la solución extractora de Olsen modificado, con pH de 8,5. Las lecturas tanto de nitrógeno como de fósforo disponible en el espectrofotómetro UV – visible y los demás elementos en espectrofotometría de absorción atómica.

Las bases cambiantes fueron determinadas mediante extracción con acetato de amonio 1N, con pH de 7, para ser leídos en espectrofotómetro de absorción atómica. La CIC se obtuvo mediante el método del Formal aldehído con pH de 7. Para la determinación de acidez y aluminio cambiantes se utilizó el método de titulación con NaOH 0,01 N, en muestras extraídas con cloruro de potasio 1N.

3.7. ESTABLECIMIENTO DE CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y QUÍMICA

Se procedió a establecer la correspondencia entre los resultados de análisis de las muestras de suelo frente a la producción de biomasa seca de la planta indicadora, para lo cual se realizó el análisis de correlación, utilizando el programa estadístico Infostat.

3.8. DIFUSIÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó en presencia del Director de tesis, docentes del Área Agropecuaria, técnicos, egresados, estudiantes de Ingeniería Agrícola, el día 14 de febrero del 2012. En la socialización se entregó un tríptico divulgativo (Anexo 31), en el que se hizo constar los resultados y conclusiones preliminares de la investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CRECIMIENTO, ASPECTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LA PLANTA INDICADORA

4.1.1. Altura de la planta a los 50 días

El Cuadro 6, contiene los valores promedio las cuatro réplicas correspondientes a la altura de la planta indicadora a los 50 días luego de la germinación. Los resultados obtenidos oscilan entre 3,5 cm que corresponde a la solución nutritiva menos nitrógeno del T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y 42,8 cm para la solución nutritiva completa del T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente.

Cuadro 6: Altura promedio de la planta indicadora (cm) a los 50 días de edad, en los suelos de los diferentes tratamientos, noviembre, 2012.

SOLUCIÓN	TRATAMIENTO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SC	30,5	38,6	31,5	36,0	35,0	42,8	41,8	36,8	35,5	36,5	39,3	39,8
-N	4,1	8,0	6,1	6,4	3,5	5,4	4,5	4,8	4,6	5,0	8,5	6,3
-P	7,4	4,6	6,3	4,9	3,9	5,3	5,1	4,3	4,8	6,4	4,4	6,4
-K	5,0	27,8	4,9	15,1	4,4	29,8	13,3	22,0	24,3	14,6	18,5	15,9
-Mg	6,3	11,8	17,6	24,0	3,9	28,3	26,3	27,0	26,3	28,3	23,3	29,8
S	7,3	13,3	14,0	23,5	5,5	14,8	24,8	31,5	17,3	11,9	30,8	16,9
-Zn	13,1	29,1	12,6	23,3	6,1	26,5	33,5	36,8	29,9	29,0	29,3	24,1
-Cu	8,5	31,3	12,1	26,4	9,8	29,3	32,3	34,8	23,0	21,0	4,6	34,0
-Mn	16,4	28,3	4,6	22,3	7,4	30,9	33,0	31,0	27,9	18,1	33,0	34,5
-B	4,6	12,3	4,6	8,8	4,3	28,0	7,5	13,0	4,9	7,3	3,8	9,9
-Fe	8,8	28,0	7,3	29,3	14,1	21,3	28,5	30,5	15,9	22,0	10,5	28,8

4.1.2. Solución Nutritiva Completa

En la solución nutritiva completa los valores promedio de altura de la planta oscilan entre 30,5 y 42,8 cm, para T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y el T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente; con incremento del 40,3 %.

Cabe indicar que la solución nutritiva estuvo compuesta por todos los macro y micronutrientes que necesita una planta para un correcto desarrollo debido a esto las

plantas alcanzaron una altura y robustez adecuada y que corresponde a una planta saludable la cual solo es encontrada mientras se tiene macro y micronutrientes en cantidades equilibradas en el suelo. También se debe destacar que los tratamientos pares son los que presentaron mayor altura promedio (38,42 cm) y se deduce que esto corresponde a que estos tratamientos son los que recibieron cal y fertilización, y además dentro de estos tratamientos las mayores alturas promedio (39,23 cm) corresponden a los tratamientos en los que se han aplicado 6 t/ha de carbón vegetal.

4.1.3. Solución Nutritiva Menos Nitrógeno (-N)

En la solución nutritiva menos nitrógeno los promedio de altura de planta oscilan entre 3,5 a 8,5 cm para el T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente; lo cual equivale a un incremento porcentual de 142,8 %.

La solución nutritiva menos nitrógeno respecto a la solución completa presenta valores más altos 8,5 y 39,3 cm respectivamente, lo cual conlleva a deducir que el nitrógeno es una parte esencial dentro del crecimiento y evolución de la planta, por lo tanto todas las plantas de la solución -N presentan un desarrollo inferior frente a las plantas de la solución completa. Cabe mencionar que los tratamientos donde se aplicó fertilización las alturas son mayores; aunque, los tratamientos que no recibieron fertilización pero se les aplicó 6 t/ha de carbón vegetal presentaron alturas medias frente a tratamientos donde no recibieron ningún tipo fertilización ni carbón vegetal.

A más del reducido crecimiento de las plantas, se evidenciaron síntomas como la extrema delgadez de los tallos y ramas, además de los entrenudos cortos. Entre otros síntomas se encontró la presencia de un color verde amarillento, en las muy pocas hojas lo que se relaciona con lo mencionado por Navarro y Navarro (2003) quien manifiesta que la deficiencia de este macro elemento se aprecia por una vegetación raquítica, poco desarrollo de la planta, hojas pequeñas con una notable rigidez y con un color verde amarillento, peciolo más corto y nerviaciones más pronunciadas.

El limitado crecimiento de la planta indicadora en la solución menos nitrógeno en los tratamientos pares (5,98 cm) y en los tratamientos impares (5,2 cm) del experimento de Zamora; donde inicialmente los tratamientos pares recibieron 200 kg/ha de nitrógeno, sugiere que una parte del elemento ha sido retenido en forma aprovechable (ion amonio NH_4^+) por el carbón vegetal, otra parte habría sido tomado por las especies arbóreas indicadoras; y una última parte se podría haber lixiviado o volatilizado debido a la alta pluviosidad del sector, ya que el nitrógeno es un elemento de movilidad alta y por lo tanto de fácil lixiviación (Navarro y Navarro, 2003).

4.1.4. Solución Nutritiva Menos Fósforo (-P)

En la solución nutritiva menos fósforo los valores promedio de altura de planta varían entre 3,9 y 7,4 cm para los suelos de los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal), respectivamente; con un incremento porcentual de 89,7 %.

Los valores más altos de las plantas de la solución nutritiva menos fósforo respecto a la solución completa son de 7,4 y 30,5 cm respectivamente, por lo que todas las plantas de la solución -P presentaron un desarrollo inferior frente a aquellas de la solución completa. En este caso igualmente los valores más altos se presentan en los tratamientos fertilizados (5,32 cm) y a su vez son mayores en los tratamientos correspondientes al pachaco (5,4 cm).

Las plantas con menor desarrollo en esta solución nutritiva, presentaron forma achaparrada y presentando detención en su desarrollo, hojas de color verde oscuro, y pigmentos antocianicos de color rojo o púrpura (Sivori, 1980 y Devlin, 1976). El limitado crecimiento de la planta indicadora en la solución -P en los tratamientos pares (5,3 cm), los cuales recibieron inicialmente 150kg/ha, supone indicar que parte del elemento ha sido retenida en forma aprovechable (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) por el carbón vegetal, otra parte habría sido tomado por las especies indicadoras y una última parte pudo haber sido fijada o cristalizada, si se considera que una baja asimilación de fósforo por parte de la planta, puede deberse a un proceso de fijación del nutriente en el suelo como consecuencia del pH bajo, ya que para que el fósforo permanezca disponible el pH debe mantenerse en un rango superior al 5,5 (Sivori, 1980).

4.1.5. Solución Nutritiva Menos Potasio (-K)

En la solución nutritiva menos potasio los valores promedio de altura de planta fluctuaron entre 4,4 y 29,8 cm esto para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) respectivamente. Al igual que en los casos del nitrógeno y fósforo todos los tratamientos pares tienen alturas mayores (20,9 cm) a los tratamientos impares o no fertilizados (11,7 cm); así también, los valores son más altos en los tratamientos con melina (18,1 cm). Finalmente, los tratamientos que recibieron 6 t/ha de carbón vegetal tienen un mayor desarrollo respecto a las otras. Sin embargo, los valores son inferiores a aquellos registrados en la solución completa.

Las plantas con menor altura presentaron síntomas más evidentes de la deficiencia de potasio, los cuales se los reconoció, por un moteado de manchas cloróticas seguido, por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y bordes de la hoja y debido a la movilidad del potasio Devlin (1976). Por tal razón se puede concluir que el potasio incorporado al suelo en una cantidad de 200 kg/ha, ha sido retenido de forma iónica mediante el carbón vegetal y otra parte absorbido por las especies arbóreas, de lo cual se establece que el pachaco es más exigente en potasio que la melina.

4.1.6. Solución Nutritiva Menos Magnesio (-Mg)

En la solución nutritiva menos magnesio los valores oscilaron entre 3,9 y 29,8 cm para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y el T12 (melina + con fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal). Generalmente todos los tratamientos fertilizados (tratamientos pares) tienen alturas mucho mayores que los impares (no fertilizados). También dentro de los valores más altos se encuentran en los suelos de los tratamientos de melina y en su mayoría los que poseen 6 t/ha de carbón; a su vez, estos valores están calificados como bajos con referencia los valores de la solución completa.

Dentro de los síntomas visuales se evidenció por la carencia de magnesio se evidenció un notable decrecimiento de las plántulas con respecto a la solución completa. Se puede concluir que una parte del elemento ha sido aprovechado por las especies indicadoras y otra ha sido retenido por el carbón en forma iónica, así mismo, la especie que más necesita de este elemento es la melina debido a que esta especie es más exigente en su nutrición.

4.1.7. Solución Nutritiva Menos Azufre (-S)

En la solución nutritiva menos azufre los valores se ubicaron entre 5,5 y 31,5 cm para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y el T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal). Todos los tratamientos pares (con fertilización) tienen alturas mucho más altas (18,7 cm) que los impares o no fertilizados (16,6 cm). Al igual, los valores más altos se encuentran en los tratamientos cultivados con melina (22,2 cm) en su mayoría los que poseen carbón.

En los tratamientos pares y 3 t/ha de carbón cultivados con pachaco presentaron alturas mayores, mientras que en la melina presenta su mayor altura en un tratamiento con fertilización y 0 t/ha de carbón. Los valores obtenidos en la solución nutritiva menos azufre están en un rango aceptable ya que son datos que se acercan a los datos obtenidos dentro de la solución completa.

4.1.8. Solución Nutritiva Menos Zinc (-Zn)

En la solución nutritiva menos zinc los valores de altura de planta oscilan entre 6,1 y 36,8 cm para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y el T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal). Todos los tratamientos fertilizados (pares) tienen alturas promedio mucho más altas (28,1 cm) que los impares o no fertilizados (20,8 cm), al igual que dentro de los valores más altos se encuentran en los cultivados con melina (30,4 cm) en su mayoría los que poseen carbón.

Los valores más altos dentro de los tratamientos se presentan en números pares y en los tratamientos correspondientes a la melina y en mayor porcentaje los que contienen fertilización y carbón vegetal en sus diferentes cantidades aplicadas. Los datos de esta solución se encuentran próximos a los datos de la solución completa lo cual es un claro indicador de que el suelo tiene un grado aceptable de este nutriente lo que permite un buen desarrollo de la planta

4.1.9. Solución Nutritiva Menos Cobre (-Cu)

En la solución nutritiva menos cobre los valores de altura de planta oscilaron entre 4,6 y 34,8 cm para los tratamientos T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y T8 (melina

+ con fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal), respectivamente. Todos los tratamientos fertilizados (pares) tienen alturas mucho más altas (29,5 cm) que los impares (no fertilizados), al igual que, los valores más altos se encuentran en aquellos de los cultivados con melina (25 cm) en su mayoría los que poseen carbón, aunque sin marcar diferencias importantes en las toneladas aplicadas de carbón vegetal.

4.1.10. Solución Nutritiva Menos Manganeso (-Mn)

En la solución nutritiva menos manganeso los valores de altura de planta oscilaron entre 4,6 y 34,5 cm para los tratamientos T3 que corresponde al pachaco + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal y el T12 a melina + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal, respectivamente. Todos los tratamientos fertilizados (pares) tienen alturas mucho más altas (27,5 cm), que los impares (no fertilizados). Al igual que, los valores más altos se encuentran en los tratamientos con melina (29,6 cm), y en su mayoría los que poseen carbón.

4.1.11. Solución Nutritiva Menos Boro (-B)

En la solución nutritiva menos boro los valores de altura de planta oscilan entre 3,8 y 28,0 cm para los tratamientos T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal) y el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal). Todos los tratamientos fertilizados (tratamientos pares) tienen alturas mucho más altas (13,2 cm), que los impares o no fertilizados, al igual que dentro de los valores más altos se encuentran en los cultivados con pachaco (10,4 cm), los cuales en su mayoría los que poseen carbón.

En el caso del boro las mayores alturas en promedio se registran en el tratamiento aplicado en pachaco sin encontrar mayores diferencias entre las toneladas de carbón vegetal aplicado a los diferentes tratamientos.

4.1.12. Solución Nutritiva Menos Hierro (-Fe)

En la solución nutritiva menos hierro los valores de altura de planta oscilan entre 7,3 y 30,5 cm para los tratamientos T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha carbón Vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal), respectivamente. Generalmente los tratamientos

fertilizados (pares) tienen alturas mucho más altas (26,7 cm), que los impares (no fertilizados); además los valores más altos se encuentran en los cultivados con melina y en su mayoría los que poseen carbón. Cabe mencionar que este elemento no presentó síntomas de deficiencia y sus alturas fueron considerablemente altas, aunque con mayor notoriedad en los tratamientos que recibieron fertilización.

Como consecuencia de la evaluación biológica se puede afirmar que los principales nutrientes deficientes son el nitrógeno, fósforo y boro, lo que ha provocado que su altura y por lo tanto su peso de materia seca sea mucho menor que en otros nutrientes, lo cual se puede evidenciar en la Figura 3.



Figura 3: Síntomas de deficiencia en fósforo (P) y nitrógeno (N), presentes en la evaluación del suelo.

El ADEVA correspondiente a la altura de la planta indicadora a los 50 días de crecimiento, en los suelos de los diferentes tratamientos del experimento del sitio La Victoria en el cantón Zamora, presenta diferencia altamente significativa para los factores solución y tratamientos de suelo. Cabe señalar que el coeficiente de variación es de 30,7% (Anexo 5).

Cuadro 7: Prueba de Tukey y valores promedio de altura de la planta (cm) indicadora a los 50 días para el factor sustrato.

Tratamiento de suelo	Cuadrados medios	Orden de mérito de medias
T8	24,75	A
T6	23,82	AB
T7	22,76	ABC
T12	22,38	ABCD
T2	21,17	ABCDE
T4	19,98	BCDE
T9	19,48	CDE
T11	18,70	DE
T10	18,18	E
T3	11,06	F
T1	10,17	F
T5	8,89	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En el Cuadro 7, la altura promedio de planta para el T8, T6 T7 y T12 y T2 son estadísticamente iguales, presentando los valores más altos; mientras que el T10, T3, T1 y T5, son estadísticamente iguales y presentan los valores más bajos.

La altura promedio de planta para el T8 es de 24,8 cm el cual tiene el valor más alto, mientras que el T5 tiene un valor de 8,9 cm respectivamente. Esta diferencia de altura también es atribuida al efecto combinado de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn) y del carbonato de calcio para neutralizar el aluminio soluble y también a las soluciones nutritivas empleadas.

Cuadro 8: Prueba de Tukey y valores promedio de altura de planta (cm) de la planta indicadora a los 50 días para el factor soluciones nutritivas.

Soluciones Nutritivas	Cuadrados medios	Orden de mérito de medias
SC	7,15	A
Zn	3,75	B
Mn	3,64	B
Cu	3,33	B
Mg	3,10	B
Fe	2,71	BC
S	1,72	CD
K	1,48	DE
B	0,53	EF
N	0,09	F
P	0,08	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El peso promedio de altura de planta para la solución nutritiva completa (SC) fue de 36,99 cm, mientras que las menores alturas se presentan en -B, -N y -P es de 9,1; 5,6 y 5,3 cm respectivamente. Presentando un incremento de altura de 31,7 g/planta equivalente al 599,24 %. Las soluciones Zn, Mn, Cu y Mg son estadísticamente iguales. Esta diferencia de altura se atribuye al efecto combinado de los nutrientes de los sustratos aplicados (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn) y del carbonato de calcio para neutralizar el aluminio soluble, así como también las soluciones nutritivas empleadas (Cuadro 8).

4.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA SECA DE LA PLANTA INDICADORA

El Cuadro 9, presenta los valores de biomasa seca de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*); cortadas a los 50 días los cuales fluctúan entre 0,01 a 10,6 g, para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal; solución nutritiva menos nitrógeno); y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal; solución nutritiva completa).

Cuadro 9: Biomasa seca (gr) de la planta indicadora cortada a los 50 días de la siembra, en los suelos provenientes del experimento de La Victoria - Zamora.

SOLUCIÓN	TRATAMIENTO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SC	3,69	7,38	5,02	5,83	5,95	10,55	8,83	8,68	7,92	6,78	7,93	7,21
-N	0,02	0,24	0,14	0,09	0,01	0,06	0,02	0,05	0,05	0,07	0,19	0,06
-P	0,21	0,03	0,12	0,05	0,02	0,06	0,04	0,03	0,06	0,16	0,03	0,16
-K	0,07	3,45	0,11	1,67	0,06	3,53	0,82	1,61	2,48	0,71	1,77	1,47
-Mg	0,11	0,93	0,98	4,15	0,03	3,62	5,40	3,23	3,26	6,89	3,16	5,38
-S	0,17	1,67	0,95	2,02	0,06	1,73	2,19	4,01	1,22	0,58	4,70	1,34
-Zn	0,59	4,88	1,30	3,90	0,20	3,28	6,24	6,38	4,91	4,55	4,41	4,29
-Cu	0,34	4,26	0,82	3,71	0,33	5,07	5,97	7,55	4,09	2,42	0,04	5,35
-Mn	1,11	5,10	0,06	2,87	0,56	4,38	4,53	5,10	4,50	2,54	8,08	4,84
-B	0,06	0,77	0,03	0,27	0,02	3,64	0,33	0,62	0,06	0,21	0,02	0,36
-Fe	0,40	4,16	0,34	5,57	1,38	2,58	6,89	3,75	1,27	2,13	0,39	3,61

Según el ADEVA correspondiente al peso de la biomasa de la planta indicadora a los 50 días en los suelos del experimento, presentan diferencia altamente significativa para los factores solución y tratamientos de suelo. El CV = 0,7 %, es aceptable (Anexo 6).

Cuadro 10: Prueba de Tukey y valores promedio (gr) de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días para el factor soluciones nutritivas.

Soluciones Nutritivas	Cuadrados medios	Orden de mérito de medias
SC	36,99	A
Zn	24,44	B
Mn	23,94	BC
Cu	22,24	BC
Mg	21,04	BCD
Fe	20,40	CD
S	17,60	DE
K	16,28	E
B	9,06	F
N	5,60	FG
P	5,29	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En el Cuadro 10, correspondiente a la prueba de Tukey al 5% de significancia y valores promedio (gr) de biomasa seca con respecto al factor soluciones nutritivas, donde la solución completa presenta el mayor valor correspondiendo a 7,2 g, mientras que la solución sin P muestra el menor valor 0,1 g/planta, presentando un incremento de peso en 7,1 g/planta equivalente 883%. Las soluciones sin Zn, Mn, Cu y Mg, son estadísticamente iguales, y también presentando los valores más bajos en las soluciones sin K, B, N, y P, respectivamente.

Cuadro 11: Prueba de Tukey y valores promedio de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días para el factor sustrato.

Tratamiento de suelo	Promedio (gr)	Orden de mérito de medias
T7	3,91	A
T8	3,73	AB
T12	3,24	ABC
T6	3,20	ABC
T2	2,99	ABC
T11	2,80	ABC
T4	2,74	BC
T9	2,71	BC
T10	2,46	C
T3	0,90	D
T5	0,78	D
T1	0,61	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En el Cuadro 11, en el que se detalla la prueba de Tukey al 5% de significancia y los valores promedio para el factor sustrato, donde el T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) presenta el mayor valor medio que corresponde 3,9 g, mientras que el T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) tiene un valor medio 0,6 g ubicándose como el más bajo, presentando un incremento de peso en 3,3 g/planta equivalente 540,9 %. Los T12, T6, T2 y T11, son estadísticamente iguales, mientras que los tratamientos 3, 5 y 1 también son estadísticamente iguales y presentan los valores más bajos en el experimento.

En la solución nutritiva completa y en los tratamientos fertilizados; se obtuvo mayores valores promedio de biomasa seca, lo cual coincide con la investigación realizada por Guayllas (1988),

este resultado se afirma, ya que los valores promedio de materia seca tuvieron un valor promedio alto para la solución nutritiva completa.

- **Solución Nutritiva menos Nitrógeno (-N)**

En esta solución nutritiva el valor más bajo de biomasa seca 0,01 g, se registró en el T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal); y el valor más alto (gr) correspondió para el T2 (melina pachaco + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal); donde hubo un incremento en el crecimiento en los tratamientos que recibieron fertilización; ratificando los resultados de Guayllas (1988), donde también se registraron valores menores para el caso de la solución nutritiva menos nitrógeno.

- **Solución Nutritiva menos Fósforo (-P)**

En esta solución nutritiva se observó valores promedio que fluctuaron de 0,02 a 0,21g; en los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), recalando que el menor valor pertenece al tratamiento no fertilizado. Todas plantas presentan un menor peso de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción oscila entre 17,6/1 y 283,3/1. Según los resultados reportados por Guayllas (1988); expone que la solución nutritiva menos fósforo fue la que tuvo el valor más bajo de materia seca en los suelos estudiados en la investigación anteriormente mencionada.

- **Solución Nutritiva menos Boro (-B)**

El -B fue uno de los micronutrientes que limitó el desarrollo de la biomasa de la planta indicadora, los valores promedio de 0,02 y 3,6 g; para los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal); T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal). En los tratamientos fertilizados y con mayor dosis de carbón vegetal, existió un incremento en el contenido de materia seca, las plantas presentaron un menor peso de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción oscila entre 297,5/1 y 2,9/1.

4.2. RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DEL SUELO

A continuación se presentan los resultados de la incidencia de la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes, sobre la evolución de las condiciones químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, en los diferentes tratamientos del experimento, después de dos años de la aplicación de cal y nutrientes.

4.2.1. Potencial Hidrógeno (pH) y Acidez Cambiable ($Al^{3+} + H^+$) $cmol (+) kg^{-1}$

Los valores promedio de pH_{H_2O} para la capa de 00 – 25 cm oscilan entre 4,8 y 5,4 para los tratamientos T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T12 (melina + con fertilización + 6 t/h Carbón Vegetal), a los 24 meses. En la capa de 25 – 50 cm, los valores promedio de pH varían entre 4,7 y 4,9 para los tratamientos T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T4 (pachaco + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal), a los 24 meses.

La diferencia altamente significativa del factor fertilización para los valores de pH, indica que el encalado en la cantidad aplicada ha tenido un incremento para la capa de 00 – 25 cm y en menor grado para la capa de 25 – 50 cm; a los 24 meses alcanzando el valor de pH 5,3; correspondiente al rango de ácido que en todo caso los valores de los tratamientos con fertilización no superan el 5,5, por encima del cual el aluminio se vuelve insoluble y ya no es perjudicial para los cultivos. En cambio, en el caso de los tratamientos que no recibieron cal, los valores de pH se mantuvieron en el rango de muy ácido por lo cual están propensos a la disolución del aluminio. Es necesario señalar que la aplicación de carbón vegetal (3,0 y 6,0 t/ha), hasta los 24 meses evidencia un ligero incremento en el pH del suelo, tanto en los tratamientos sin y con fertilización, aunque sin significación estadística.

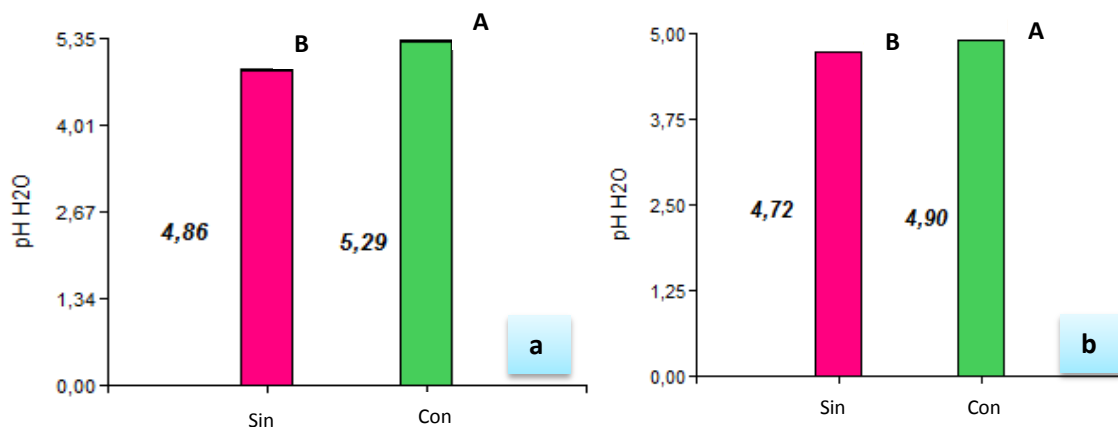


Figura 4: Valores promedio del pH_{H2O}, y la prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de (a) 00 a 25 cm y (b) a los 25 – 50 cm.

En la capa de 25 – 50 cm, a los 24 meses el pH_{H2O} es de 4,7 a 4,9 en los tratamientos con y sin fertilización respectivamente, de ellos se deduce que limitadamente el efecto de la aplicación de la cal ha llegado hasta los 50 cm de profundidad. La diferencia altamente significativa para el factor fertilización (5 t/ha cal) para los valores de pH_{H2O}, señala que el encalado ha sido efectivo a los 24 meses en las capas de 00 – 25 cm y en menor grado para las capas de 25 – 50 cm, mientras que en los tratamientos que no recibieron cal, los valores de pH_{H2O}, se mantuvieron en el rango de muy fuertemente ácido.

En lo referente a la acidez cambiante para la capa de 00 -25 cm, en los tratamientos que recibieron la fertilización (nutrientes + cal) se evidencia la correspondencia inversamente proporcional que obtuvieron ya que cuando aumentó el pH la acidez cambiante disminuyó, lo que corrobora el efecto neutralizante del carbonato de calcio, con la concomitante precipitación del Al³⁺ a la forma de hidróxido (Figuras 4 y 5).

Los valores promedio de la acidez cambiante (Al³⁺ + H⁺) para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 1,04 y 3,4 cmol (+)kg⁻¹ en los tratamientos T10 (melina + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal), y T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), a los 24 meses después de la plantación. En la capa de 25 – 50 cm, la acidez cambiante varía entre 2,3 y 3,6 cmol (+) kg⁻¹, para los tratamientos T10 (melina + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), a los 24 meses. La diferencia altamente significativa para los valores de acidez cambiante (Al³⁺ + H⁺), para el factor fertilización en las capas 00 – 25 y 25 – 50 cm de profundidad confirma una disminución importante del Al soluble. El coeficiente de

variación de la acidez cambiante oscila de 20,6 y 12,2 % para las capas de 00 – 25 y 25 – 50 cm respectivamente (Anexo 7).

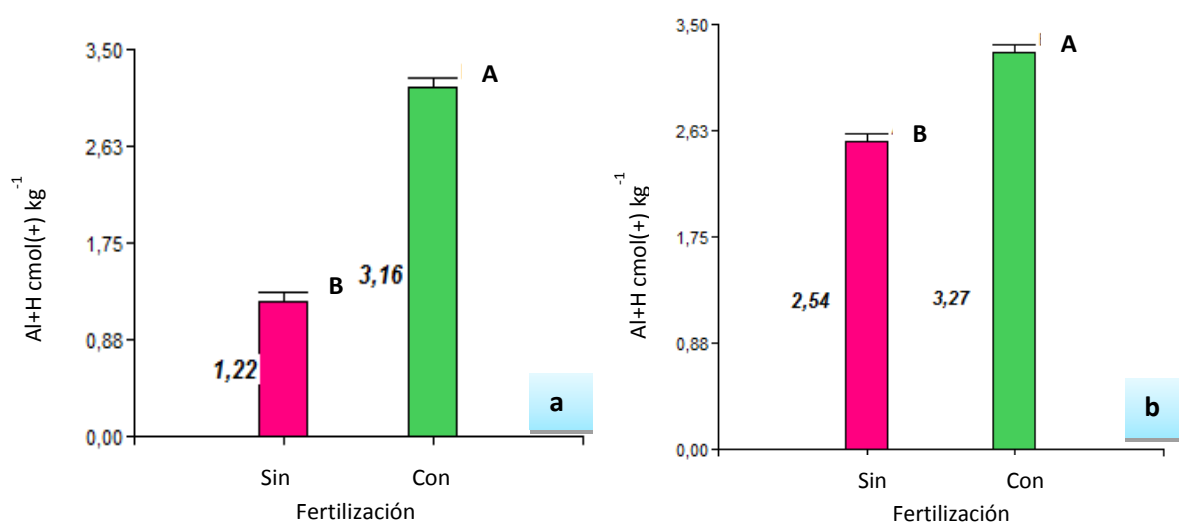


Figura 5: Valores promedio de acidez cambiante ($Al_3^{++}H^+$) cmol(+) kg⁻¹, y prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 a 25cm y (b) 25 – 50 cm.

En la capa de 00 – 25 cm, a los 24 meses después de la plantación la acidez cambiante disminuyó de 3,16 a 1,22 cmol (+) Kg⁻¹ en los tratamientos con y sin fertilización, respectivamente. En la capa de 25 – 50 cm a los 24 meses después de la plantación la acidez cambiante disminuyó de 3,3 a 2,5 cmol (+) Kg⁻¹ en los tratamientos sin y con fertilización, lo que indica que el efecto de la aplicación de la cal en cierto grado llegó a los 50 cm de profundidad (Figura 5).

En la capa de 00 – 25 y de 25 – 50 cm, la acidez cambiante ($Al^{3+} + H^+$), disminuyó para los tratamientos con fertilización lo que evidenció el efecto neutralizante del carbonato y la precipitación del Al^{3+} a la forma de hidróxido; mientras que para los tratamientos sin fertilización, se mantuviera en el rango de 3,2 a 3,3 cmol (+) Kg⁻¹.

4.2.2. Capacidad de intercambio Catiónico (CIC) y Bases cambiables

En el Cuadro 12, se encuentran los valores promedio de CIC (cmol⁺ kg⁻¹), bases cambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ cmol(+)kg⁻¹), de los doce tratamientos del experimento de La Victoria - Zamora.

Cuadro 12: Valores promedio de CIC (cmol (+) kg⁻¹), bases cambiables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ cmol (+) kg⁻¹), en los suelos de los doce tratamientos del experimento.

Tratamiento	cmol. _e /kg suelo							
	CIC		K		Ca		Mg	
	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm
T1	17,18	15,26	0,15	0,09	1,37	1,09	0,48	0,34
T2	19,14	15,97	0,18	0,15	3,72	2,24	0,90	0,67
T3	18,08	15,84	0,15	0,10	1,32	1,04	0,43	0,31
T4	19,11	16,34	0,16	0,10	3,75	1,61	0,76	0,46
T5	17,45	15,82	0,20	0,11	1,46	1,12	0,54	0,34
T6	19,41	15,88	0,22	0,13	3,17	1,99	0,91	0,55
T7	20,83	16,53	0,16	0,12	1,52	1,15	0,71	0,37
T8	19,43	17,80	0,20	0,11	3,26	1,78	1,51	0,43
T9	18,13	15,48	0,14	0,11	1,40	1,06	0,48	0,31
T10	18,34	16,33	0,17	0,15	3,64	1,90	0,75	0,50
T11	18,55	15,54	0,14	0,11	1,58	1,56	0,46	0,43
T12	17,12	15,58	0,16	0,10	3,08	1,63	0,74	0,42

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Los valores promedio de capacidad de intercambio en la capa de 00-25 cm; de profundidad en el sitio La Victoria, cantón Zamora, fluctúan en el rango de 17,1 y 20,8 cmol (+) kg⁻¹ para el T12 (melina + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente. En la capa de 25-50 cm los valores se encuentra en el rango de 15,26 y 17,80 cmol (+) kg⁻¹ en el T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente.

Según los resultados obtenidos en el ADEVA para la capacidad de intercambio catiónico (CIC = bases cambiables + acidez cambiante) a las dos profundidades (00 – 25 y 25 – 50 cm), se evidencia que existe diferencia significativa para la interacción fertilización * especie arbórea en la capa de 00 – 25 cm. El coeficiente de variación de 7,04 % en la capa de 00 – 25 cm y de 9,04 % en la capa de 25 – 50 cm (Anexo 8).

En la capa de 00 – 25 cm, los valores de CIC en los tratamientos sin fertilización se ubican en un rango bajo, mientras que en los tratamientos con fertilización los valores se ubican en un

rango medio. Y los valores en la capa de 25 – 50 cm tienen la misma tendencia en un rango de bajo a medio en los tratamientos sin y con fertilización respectivamente. Por tal motivo se puede deducir que debido al incremento del pH se han acrecentado las cargas eléctricas negativas que dependen del pH.

- **Potasio Cambiable (K^+)**

Los valores promedio de K^+ en la capa de 00-25 cm se ubican en el rango de 0,1 cmol (+) kg^{-1} para el T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal); y 0,2 para el T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal); mientras que, en la capa de 25-50 cm, los valores se encuentran en el rango de 0,1 para el T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y 0,2 para el T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T10 (melina + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal).

El ADEVA para el potasio cambiante (K^+) a la profundidad de 00 – 25 cm, que se reportan en el Anexo 9, evidencian que existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización donde el valor del coeficiente de variación es de 16,01 %

Los valores promedio de K^+ a los 24 meses después de la plantación en la capa de 00 – 25 cm se encuentran en el rango de bajo en los tratamientos sin y con fertilización; el ligero incremento de potasio en los tratamientos con fertilización en la capa de 00 – 25 cm presenta un valor promedio de 0,2; manteniéndose en un rango a pesar de la aplicación de este elemento en los tratamientos con fertilización en una cantidad de 200 kg/ha de K (Figura 6). Es necesario indicar que en la capa de 25 - 50 cm también se nota un ligero incremento pero de igual forma los valores promedio de K, se mantienen en un rango bajo aunque es mucho menor que en la capa superior, lo que indica que también una pequeña fracción del K inicialmente aplicado en la capa de 00 – 25 cm se ha movilizó a la capa de 25 – 50 cm.

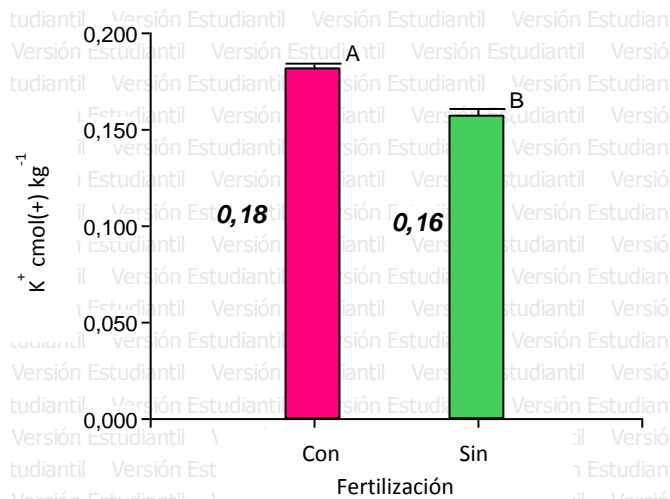


Figura 6: Valores promedio de K cmol (+) kg⁻¹ y la prueba de Tukey (5% de significancia) en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 - 25 cm.

- **Calcio Cambiable (Ca^{**})**

Los valores de Ca⁺⁺ en la capa de 00-25 cm, se encuentran en el rango de 1,3 y 3,8 cmol (+) kg⁻¹, para el T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha carbón vegetal) y T4 (pachaco + con fertilización + 3 t/ha carbón vegetal), respectivamente; mientras que, en la capa de 25-50 cm, los valores promedio fluctúan entre 1,6 y 2,2 cmol (+)/kg suelo, para el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Según los resultados del ADEVA para el calcio cambiabile, que se reportan en el Anexo 10, se evidencia que existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización incluyendo la aplicación de la cal, tanto para las capas de 00 – 25 y de 25 – 50 cm. Cabe mencionar que los coeficientes de variación están en 19,3% y 18,7% para la capa de 00 – 25 y 25 – 50 cm respectivamente.

En la capa de 00 – 25 cm, los valores promedio de Ca⁺⁺ se encuentran en el rango bajo para los tratamientos sin y con fertilización. Cabe señalar que se observa un leve incremento de Ca⁺⁺ en los tratamientos con fertilización lo cual sugiere que la aplicación inicial de cal, fertilización y carbón vegetal en sus diferentes dosis han producido una mínima variación en las bases cambiabiles y a su vez también se han movilizad a la capa de 25 – 50 cm (Figura 7). Las tendencias indicadas anteriormente se confirman en las diferencias altamente significativas detectadas en el análisis de la varianza para el factor fertilización.

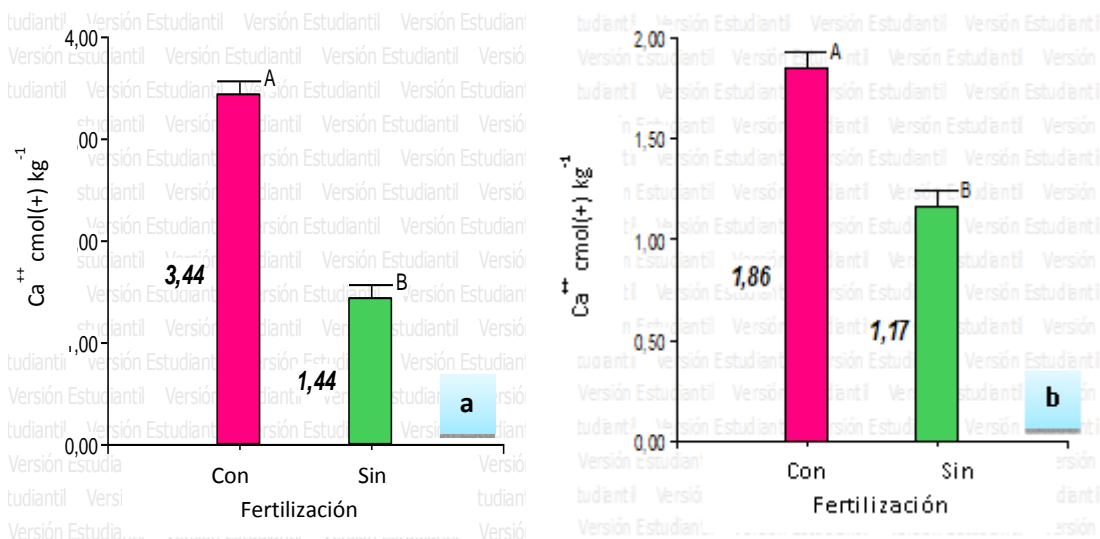


Figura 7: Valores promedio del Ca⁺⁺ cmol(+)kg⁻¹ y la prueba de Tukey (5 % de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de (a) 00 - 25 cm y (b) de 25 - 50 cm.

- **Magnesio Cambiable (Mg^{**})**

El contenido de Mg⁺⁺ en la capa de 00 - 25 cm se encuentran en el rango de 0,4 y 1,5 cmol(+)kg¹ suelo para el T3 (pachaco, sin fertilización + 3,0 t/ha de carbón vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente; mientras que, en la capa de 25-50 cm, los valores promedio se encuentran en el rango de 0,3 para el T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y de 0,7 cmol (+) kg⁻¹, para el T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal).

Los resultados del ADEVA (Anexo 11) para el magnesio cambiable (Mg⁺⁺) a profundidad de 00–25 cm, indican que no existe diferencia significativa para el factor fertilización. En la profundidad de 25–50 cm, se observa que existe diferencia significativa para el factor fertilización. Los valores de coeficientes de variación son relativamente altos (69,3 – 17,3 %).

En el caso del Mg⁺⁺, es pertinente mencionar que en la capa de 25 a 50 cm se nota un incremento, en menor grado, de los valores promedio de Mg⁺⁺, lo que sugiere que una parte del Mg⁺⁺ inicialmente aplicado en la capa de 00 – 25 cm se ha movilizado a la capa de 25 – 50 cm. Las tendencias indicadas confirman una diferencia significativa detectada en el análisis de la varianza para el factor fertilización en la capa de 25 a 50 cm (Figura 8). El incremento de Mg⁺⁺ en los tratamientos sin y con fertilización, en las dos capas de 00 – 25 y de 25 – 50 cm, se debe a la aplicación de este elemento en una cantidad de 118 kg/ha; además se observa un mayor contenido de Mg⁺⁺ en la capa de 00 – 25 cm.

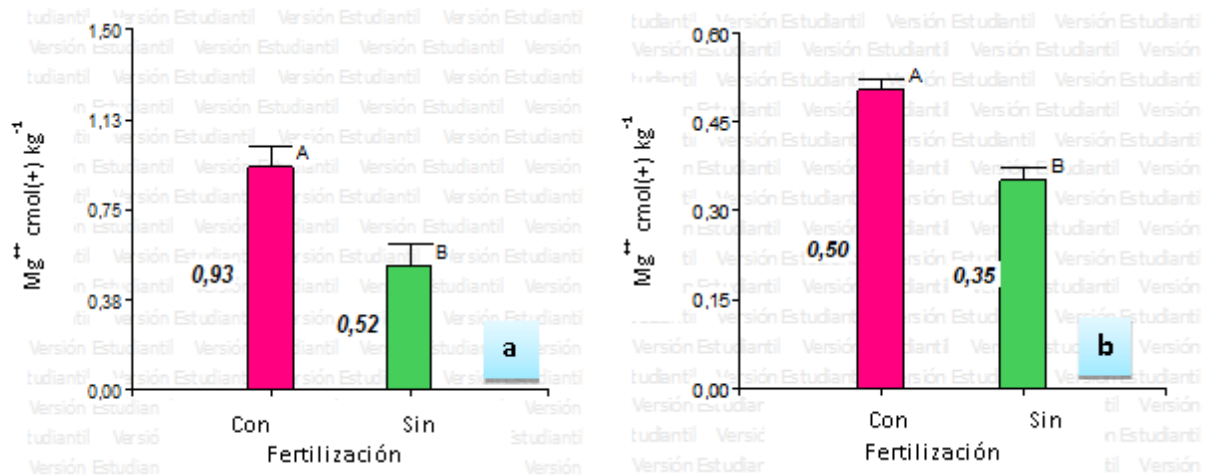


Figura 8: Valores promedio del Mg⁺⁺ cmol(+)/kg⁻¹ y la prueba de Tukey (5 % de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de (a) 00 - 25 cm y (b) 25 a 50 cm.

4.2.3. Disponibilidad de nutrientes

En el Cuadro 13, se presentan los resultados promedio de la incidencia de la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes, sobre la evolución de la disponibilidad de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, en los diferentes tratamientos del experimento.

Cuadro 13: Valores promedio de los elementos disponibles de los 12 tratamientos en estudio, en las capas de 00-25 cm y 25-50 cm.

Trat.	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Fe		Mn		Zn	
	mg/ kg ⁻¹		mg/ kg ⁻¹		mg/ kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		mg/ kg ⁻¹		mg/ kg ⁻¹		mg/ kg ⁻¹	
	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50	00-25	25-50
T1	8,57	6,06	5,37	0,95	2,31	1,07	1,23	0,83	0,65	0,50	2,47	1,48	408,55	390,54	2,99	2,42	0,53	0,35
T2	9,40	5,10	22,61	6,67	2,93	1,77	6,68	3,24	1,03	0,61	2,38	1,64	602,32	474,13	4,95	2,15	0,90	0,45
T3	7,94	6,54	5,28	0,58	2,25	1,04	1,40	0,95	0,61	0,55	2,29	1,32	399,56	440,92	2,89	2,14	0,44	0,34
T4	9,98	5,42	18,62	2,48	2,56	1,15	8,17	1,50	0,87	0,51	2,75	1,87	474,33	398,42	4,08	2,21	0,72	0,41
T5	7,88	5,83	12,36	2,02	2,66	1,34	1,44	0,84	0,90	0,49	2,60	1,43	394,20	446,77	3,23	2,43	0,70	0,35
T6	9,05	5,42	17,56	3,30	3,07	1,73	8,64	3,38	1,10	0,65	2,99	2,14	488,65	398,84	5,13	2,42	0,70	0,40
T7	8,54	5,17	8,86	0,62	2,24	1,48	1,11	0,93	0,59	0,48	2,58	1,67	449,69	434,25	3,30	2,53	1,03	0,39
T8	8,37	4,68	29,93	4,51	2,98	1,30	5,92	1,49	0,98	0,62	3,06	1,97	551,73	441,75	4,60	2,43	1,23	0,49
T9	8,34	5,20	2,75	0,07	1,87	1,44	1,27	1,12	0,55	0,58	2,90	1,70	451,07	426,32	2,93	2,68	0,38	0,34
T10	9,04	4,93	26,88	5,67	2,51	1,91	8,10	4,25	0,69	0,62	2,81	1,65	533,92	421,71	3,97	2,39	0,76	0,42
T11	6,37	4,44	5,36	0,09	2,07	1,17	2,20	0,99	0,57	0,55	2,01	1,39	452,97	361,87	2,84	2,11	0,46	0,37
T12	8,15	4,97	24,39	2,22	2,40	1,35	7,95	3,89	0,87	0,70	2,37	1,33	489,37	407,86	3,81	2,35	0,63	0,39

- **Nitrógeno Disponible (N)**

Los valores promedio de nitrógeno disponible en la capa de 00-25 cm de profundidad y a los dos años desde la plantación en el experimento del sitio La Victoria, cantón Zamora, fluctúan en el rango de 6,37 y 9,98 mg/kg⁻¹ para los tratamientos T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T4 (pachaco + con fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente. En la capa de 25-50 cm los valores se encuentra en el rango de 4,44 y 6,54 mg/kg⁻¹ en el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente.

Los resultados del ADEVA para el N disponible que se reportan en el Anexo 12, evidencian diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 00-25cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 12,62 a 11,78 %. La diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 00 – 25 cm, se atribuiría a la limitada precisión del método de determinación de la disponibilidad de este elemento (Figura 9).

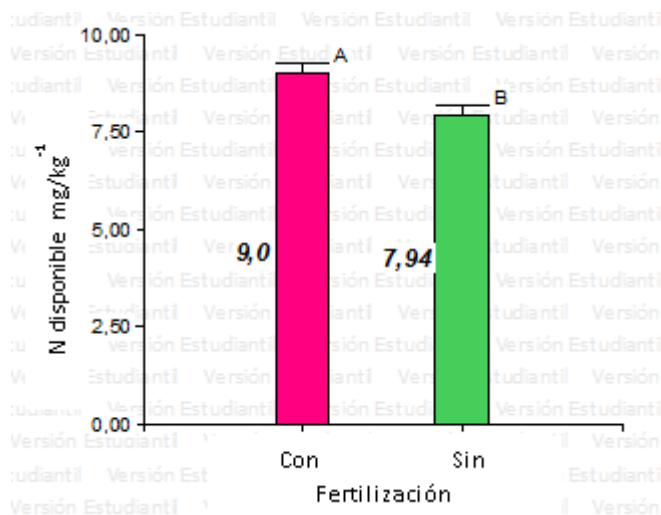


Figura 9: Valores promedio del N disponible (mg/kg⁻¹) y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 – 25 cm.

El contenido de N disponible en las capas de 00 - 25 y 25 - 50 cm, a lo largo de los primeros 24 meses del experimento, para los tratamientos sin y con fertilización, se mantiene en un rango bajo (<30 mg/kg⁻¹), aunque son mucho menores en la capa de 25 – 50 cm.

El contenido de nitrógeno bajo, tanto en los tratamientos sin y con se podría explicar, a la toma del elemento por las especies arbóreas y su almacenamiento en la mayor cantidad de

biomasa seca en los tratamientos con fertilización, frente a aquellos no fertilizados. Otra de las razones es por la limitada precisión del método de análisis que se emplea en el laboratorio para determinar la disponibilidad del elemento.

- **Fósforo Disponible (P)**

Los valores promedio de fósforo disponible en la capa de 00-25 cm de profundidad del experimento, fluctúan en el rango de 2,75 y 29,93 mg/kg⁻¹ para el T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente. En la capa de 25-50 cm los valores se encuentran en el rango de 0,07 y 6,67 mg/kg⁻¹ en los T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal).

Los resultados del ADEVA para el fósforo disponible a los 24 meses de muestreo y las dos profundidades 00 – 25 y 25 – 50 cm, que se reportan en el Anexo 13, evidencian diferencia altamente significativa para el factor fertilización; solamente en la capa de 00-25 cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 72,7 %.

El P disponible en la capa de 25 - 50 cm, a lo largo de los 24 meses desde el inicio de la plantación, en los tratamientos sin fertilización se encuentra en el rango bajo (<10 mg/kg⁻¹), en cambio, en los tratamientos que recibieron fertilización se encuentra en el rango medio lo cual se explica por la aplicación de 150 kg/ha de P. Lo indicado lo corrobora también el análisis de la varianza donde existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización para dicha capa. En la Figura 10 el de fósforo disponible en los tratamientos con fertilización, estaría asociada a la neutralización del Al³⁺ por efecto del encalado. Adicionalmente, los valores confirman que el P se ha lixiviado a la capa de 25 - 50cm, que fue en la que se incorporaron los nutrientes y la cal aplicados.

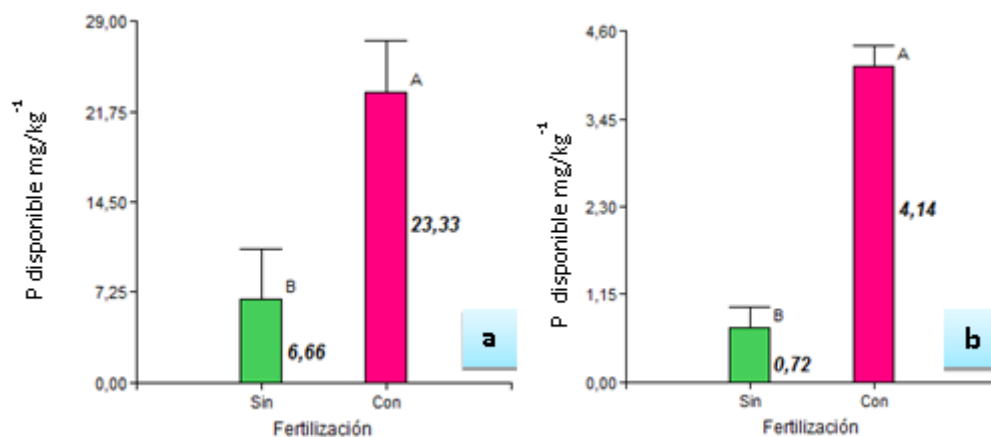


Figura 10: Valores promedio del fósforo disponible (mg/kg^{-1}) y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 – 25 cm y (b) 25 – 50 cm.

- **Potasio Disponible (K)**

Los valores promedio de potasio disponible para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 1,9 y 3,1 cmol (+) kg^{-1} en el T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha Carbón Vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50cm, el potasio disponible varía entre 1,04 y 1,9 cmol (+) kg^{-1} , para los tratamientos T3 (pachaco, sin fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal) y T10 (melina, con fertilización + 3,0 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Los resultados del ADEVA para el potasio disponible a dos profundidades (00 – 25 y 25 – 50 cm), evidencian diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 00 – 25 cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 21,3 % (Anexo 14).

La diferencia significativa del potasio disponible para el factor fertilización en la capa de 00 -25 cm es explicable en consideración del aporte que se realizó del mismo (200 kg/ha) al momento de la plantación. Tanto en los tratamientos con y sin fertilización, los contenidos de K disponible (cmol (+) kg^{-1}) y en las dos capas se ubican en el rango medio (Figura 11), sugeriría que una parte del elemento aplicado en la capa de 00 – 25 cm se ha movilizad, en particular en los tratamientos que no recibieron carbón vegetal.

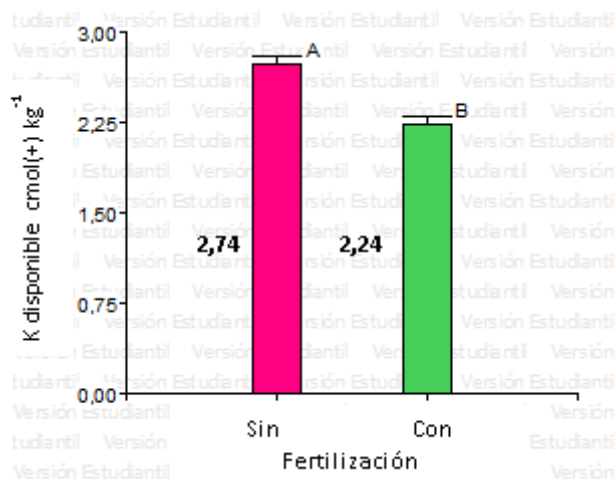


Figura 11: Valores promedio del potasio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de 00 - 25 cm.

- **Calcio Disponible (Ca)**

Los valores promedio del calcio disponible para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 1,1 y 8,64 cmol (+) kg⁻¹ en el T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha Carbón Vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50 cm, el calcio disponible varía entre 0,8 y 3,9 cmol (+) kg⁻¹, para el T1 (pachaco + sin fertilización + 0 t/ha carbón Vegetal) y T12 (melina + con fertilización + 6 t/ha carbón Vegetal), respectivamente.

Según el ADEVA para el calcio disponible a las dos capas (00 – 25 y 25 – 50 cm), que se reportan en el Anexo 15, se evidencia que existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización en la capa de 00 - 25 cm y se encuentra diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 25 - 50 cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 35 a 70%.

El incremento del contenido de Ca disponible en la capa de 00 – 25 cm, a lo largo de los 24 meses en los tratamientos con fertilización, poseen rangos altos obviamente se explicaría por la aplicación de la cal agrícola (3 t/ha), igualmente se indica en el resultado del ADEVA en la que existe diferencia altamente significativa para esta capa. Para los tratamientos sin fertilización, se observa también un incremento, alto probablemente por efecto del carbón vegetal, aunque éste no es estadísticamente significativo. Por su parte, el incremento de los contenidos de Ca disponible en la capa de 25 – 50 cm en los tratamientos con fertilización,

sugiere que ha ocurrido una movilización de éste elemento desde la capa superior, en particular en los tratamientos que no recibieron carbón vegetal (Figura 12).

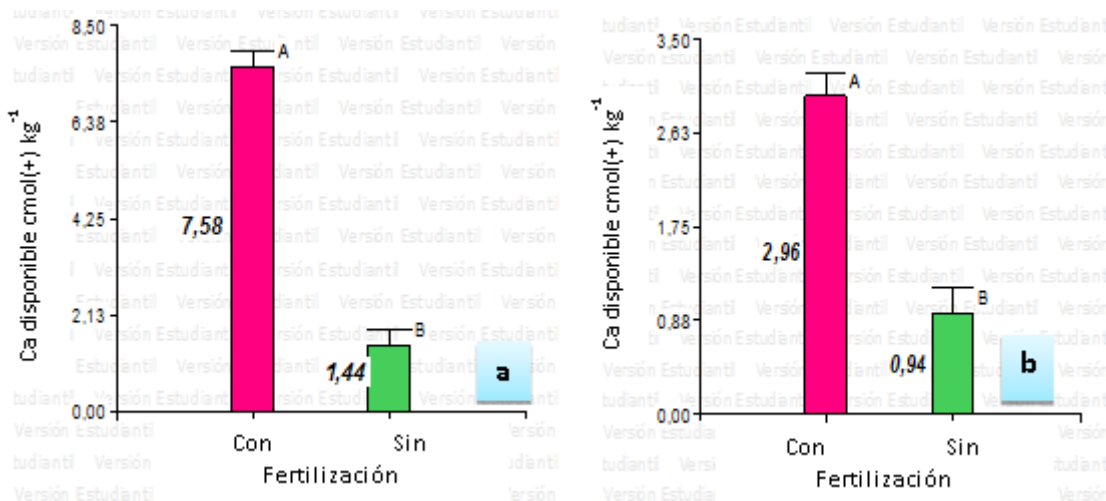


Figura 12: Valores promedio del calcio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.

- **Magnesio Disponible (Mg)**

Los valores promedio del magnesio disponible para la capa de 00 - 25 cm, fluctúan entre 0,6 y 1,1 cmol (+) kg⁻¹ en el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha carbón vegetal), respectivamente. En la capa de 25 - 50 cm, el magnesio disponible varía entre 0,5 y 0,7 cmol (+) kg⁻¹, para el T7 (melina + sin fertilización + 0 t/ha carbón vegetal) y T12 (melina + con fertilización + 6 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Según el ADEVA para el magnesio disponible que se presenta en las capas de 00 – 25 y 25 – 50 cm de profundidad, se observa que existe diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 00 - 25 cm. Cabe mencionar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 26 a 12% (Anexo 16).

El contenido de Mg disponible a lo largo de los 24 meses del experimento en las capas de 00 – 25 a 25 - 50 cm permanecen en el rango bajo a medio, tanto en los tratamientos sin y con fertilización, lo se explicaría por la adición de este elemento y por el movimiento que ha existido de la capa superior a la inferior. En el caso de los tratamientos que no recibieron la fertilización, el incremento también se atribuiría a un aporte del carbón vegetal aplicado (Figura 13).

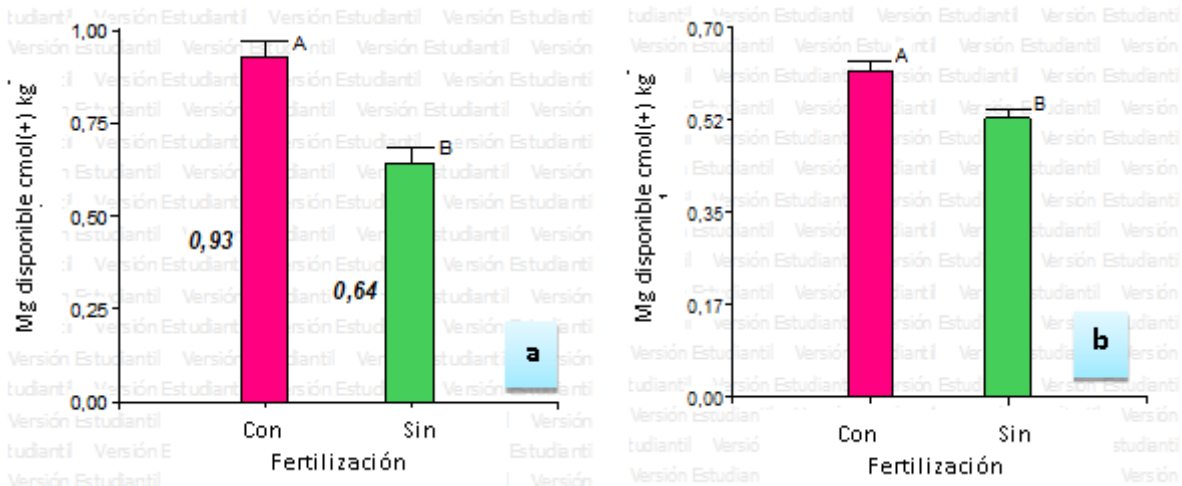


Figura 13: Valores promedio del magnesio disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.

- **Cobre Disponible (Cu)**

Los valores promedio del cobre disponible para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 2,0 y 3,1 mg/kg⁻¹ en el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha Carbón Vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50 cm, el cobre disponible varía entre 1,3 y 2,1 mg/kg⁻¹, para los tratamientos T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha carbón vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Según el ADEVA para el Cu disponible (mg/kg⁻¹) a las dos profundidades (00 – 25 y 25 – 50 cm), (Anexo 17), se observa que existe diferencia significativa para la capa de 00 – 25 cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 12 a 27%.

Debido a que no se incluyó al Cu en el paquete de fertilización, es explicable la diferencia estadística significativa en el factor fertilización para la capa de 00 – 25cm. En todo caso, es pertinente recalcar que los contenidos de Cu disponible en las dos capas a lo largo de los primeros 24 meses del experimento se mantiene que los valores fluctúan en el rango de medio (1,0 a 4,0) mg/kg⁻¹ para todos los tratamientos (Figura 14).

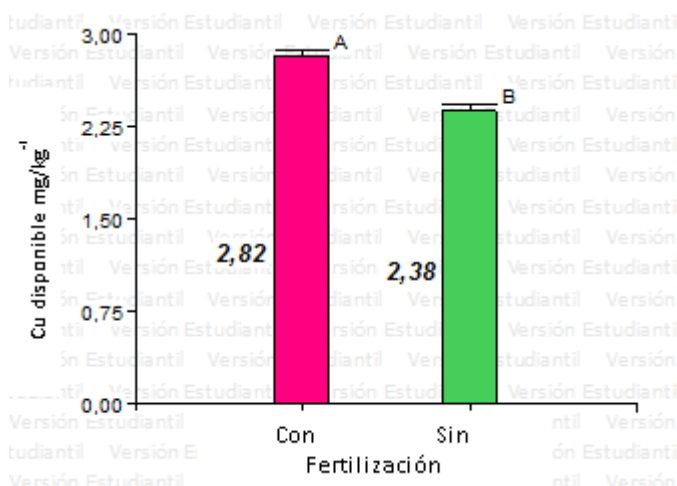


Figura 14: Valores promedio de cobre disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización; en la capa de 00 - 25 cm.

- **Zinc Disponible (Zn)**

Los valores promedio del zinc disponible para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 0,4 y 1,2 mg/kg⁻¹ en el T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha carbón vegetal) y T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50 cm, el zinc disponible varía entre 0,3 para los tratamientos T3 (pachaco + sin fertilización + 3 t/ha Carbón vegetal) y T9 (melina, sin fertilización + 0 t/ha carbón vegetal) y 0,49 mg/kg⁻¹ en el T8 (melina + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal).

Según el ADEVA para el Zn disponible (mg/kg⁻¹), en las capas de 00 – 25 y 25 – 50cm (Anexo 18), se observa que no existe diferencia significativa para ningún factor; en la capa de 00 – 25 cm. En la capa de 25 – 50 cm se observa que existe diferencia significativa para el factor fertilización. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 54,6 a 14,1 %, respectivamente.

El contenido de Zn disponible en la capa de 00 – 25 cm, hasta los 24 meses del experimento en los tratamientos con fertilización permanecen en el rango de bajo (< 2,0 mg/kg⁻¹), sin embargo los valores son un poco mayores en los tratamientos que recibieron fertilización lo cual se atribuye a la aplicación de este elemento (40 kg/ha). Puesto que existe un incremento en los contenidos de Zn disponible en la capa de 25 – 50 cm a los 24 meses después de la plantación en los tratamientos con fertilización, se deduce que ha ocurrido una movilización de éste

elemento desde la capa superior hacia la inferior, en particular en los tratamientos que no recibieron carbón vegetal (Figura 15).

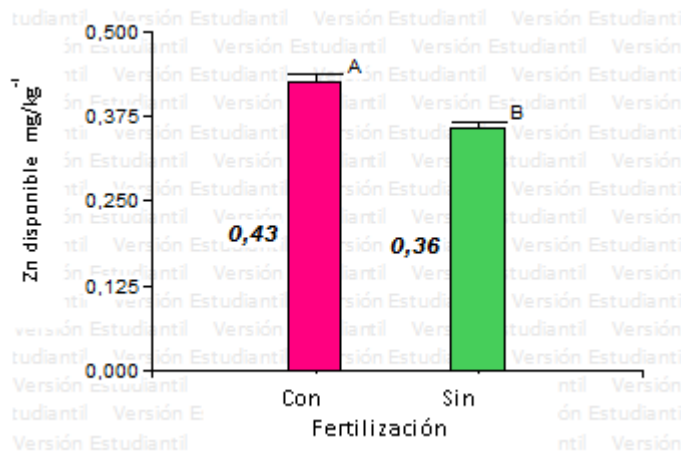


Figura 15: Valores promedio del zinc disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 25 – 50 cm.

- **Manganeso Disponible (Mn)**

Los valores promedio del manganeso disponible para la capa de 00 – 25cm, fluctúan entre 2,8 y 5,1 mg/kg⁻¹ en el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/ha carbón vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50cm, el manganeso disponible varía entre 2,1 y 2,7 mg/kg⁻¹, para los tratamientos T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T9 (melina + sin fertilización + 3 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Según los resultados del ADEVA para el Mn disponible (mg/kg⁻¹) en las capas de 00 – 25 y 25 – 50 cm de profundidad, que se reportan en el Anexo 19, se observa que existe diferencia significativa para el factor fertilización a la profundidad de 00 – 25 cm. Cabe mencionar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 25,9 a 13,8 %.

El contenido de manganeso disponible en las capas de 00 – 25 y 25 – 50 cm, para los tratamientos sin y con fertilización generalmente, se mantiene en el rango bajo (<5mg/kg⁻¹), sin embargo cabe mencionar que durante los 24 de meses de implantación del experimento este microelemento ha ido reduciéndose en su contenido disponible (Figura 16).

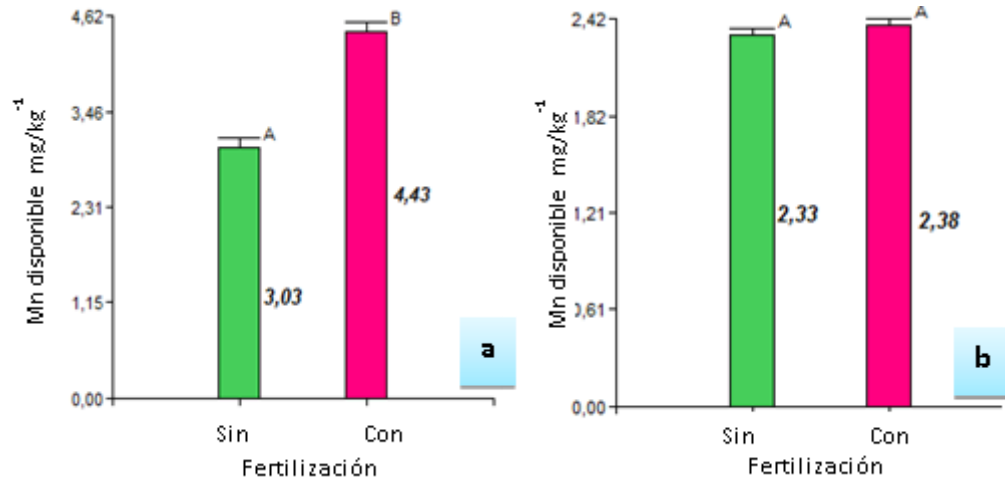


Figura 16: Valores promedio del manganeso disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa (a) 00 – 25 y (b) 25 – 50 cm.

- **Hierro Disponible (Fe)**

Los valores promedio del hierro disponible para la capa de 00 – 25 cm, fluctúan entre 394,2 y 602,3 mg/kg⁻¹ en el T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal), respectivamente. En la capa de 25 – 50 cm, el hierro disponible varía entre 361,9 y 474,1 mg/kg⁻¹, para el T11 (melina + sin fertilización + 6 t/ha carbón vegetal) y T2 (pachaco + con fertilización + 0 t/ha carbón vegetal), respectivamente.

Según el ADEVA para el Fe disponible (mg/kg⁻¹) a dos profundidades (00 – 25 y 25 – 50 cm), que se reportan en el Anexo 20, se observa que existe diferencia significativa para el factor fertilización en la capa de 00 – 25 cm. Cabe señalar que los valores de los coeficientes de variación oscilan en el rango de 13,0 a 16,6%.

El contenido de Fe disponible en las capas de 00 – 25 y 25 – 50 cm, a lo largo de los primeros 24 meses del experimento, para los tratamientos sin y con fertilización, se mantiene en el rango de alto (>40 mg/kg⁻¹), lo cual se explica por los elevados contenidos de este elementos en los suelos del trópico húmedo (Figura17).

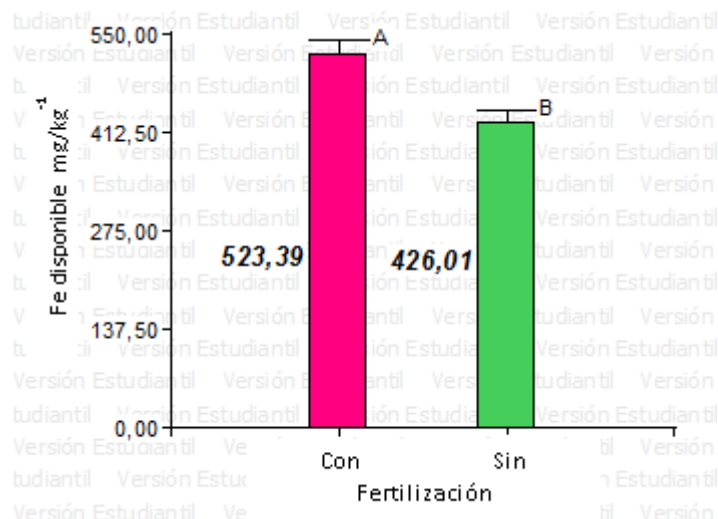


Figura 17: Valores promedio del hierro disponible y la prueba de Tukey (5% de significancia), en los tratamientos con y sin fertilización, en la capa de 00 - 25cm.

4.3. CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y QUÍMICA DE LOS NUTRIENTES EN EL SUELO

En el Cuadro 14, se presentan los valores del coeficiente de correlación (r) entre los contenidos de biomasa seca de la planta indicadora obtenidas en los suelos de los doce tratamientos del experimento, para las diferentes soluciones carentes de uno de los elementos extraídos con la solución extractora de Olsen Modificada y analizado en el laboratorio siguiendo los procedimientos rutinarios establecidos por la RELASE. También se incluye la significancia de r en correspondencia con la probabilidad.

Los valores de r oscilan entre $-0,04$ y $0,53$; para los elementos $-N$ y $-K$ respectivamente. Cabe mencionar que los elementos que presentan correlación positiva son el fósforo, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc; en tanto que, los elementos que presentan correlación negativa son el nitrógeno y el magnesio. El análisis de varianza indica que existe diferencia significativa para el potasio ($-K$) y el cobre ($-Cu$) con valores de $0,0771$ y $0,0819$, respectivamente.

Estos datos indican que la solución de Olsen Modificada no alcanza a extraer los nutrientes en la misma proporción que la planta indicadora, excepto para el potasio y el calcio. Al respecto debe considerarse lo que menciona Guerrero (1979) en el sentido de que el

coeficiente de correlación (r) será más eficiente y confiable cuanto más cercano esté su valor a la unidad (valor positivo).

Por lo tanto esta situación conlleva a advertir que la solución extractora empleada debe ser revisada para el caso de los análisis de laboratorio de los elementos disponible en los suelos amazónicos

Cuadro 14. Valores del coeficiente de correlación (r) entre la biomasa total de la planta indicadora en las diferentes soluciones nutritivas y los contenidos de nutrientes (solución Olsen Modificada) de los doce tratamientos del experimento.

BIOMASA SECA SOLUCION NUTRITIVA	NUTRIENTE DISPONIBLE	r TOTAL	P (>0,05)
- N	Nitrógeno	-0,11	0,7434
- P	Fósforo	0,26	0,4100
- K	Potasio	0,53	0,0771
- Mg	Magnesio	-0,04	0,8909
- Fe	Hierro	0,38	0,2231
- Cu	Cobre	0,52	0,0819
- Mn	Manganeso	0,31	0,3218
- Zn	Zinc	0,42	0,1688

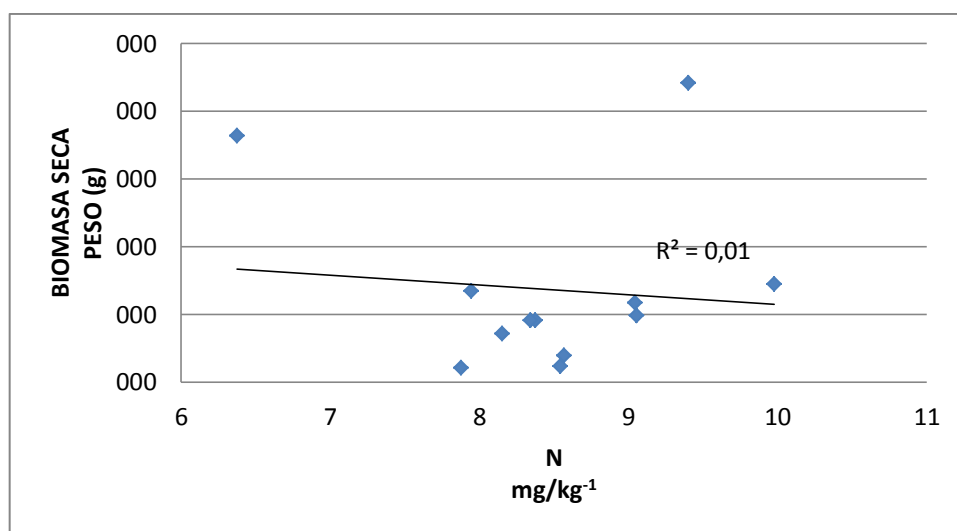


Figura 18: Correlación entre el nitrógeno extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.

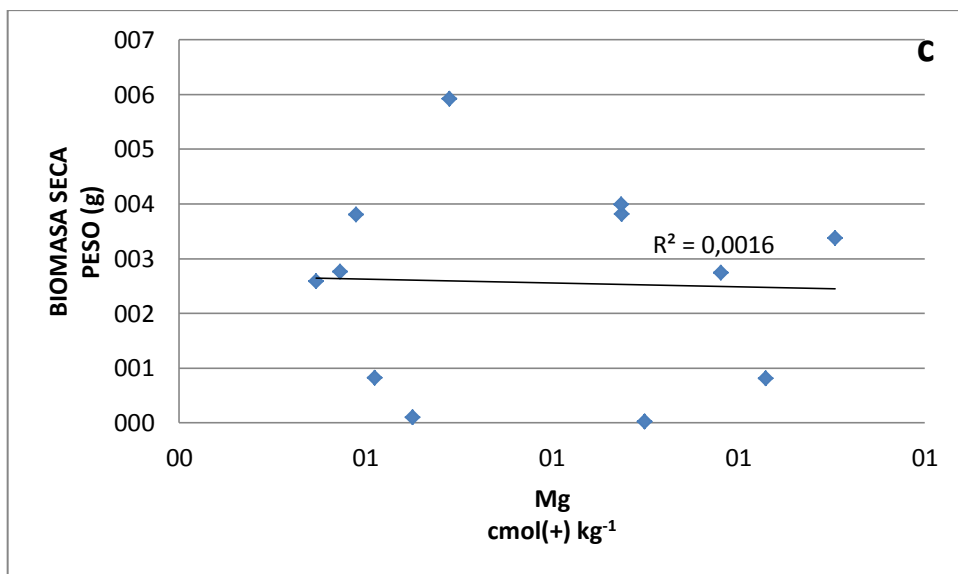
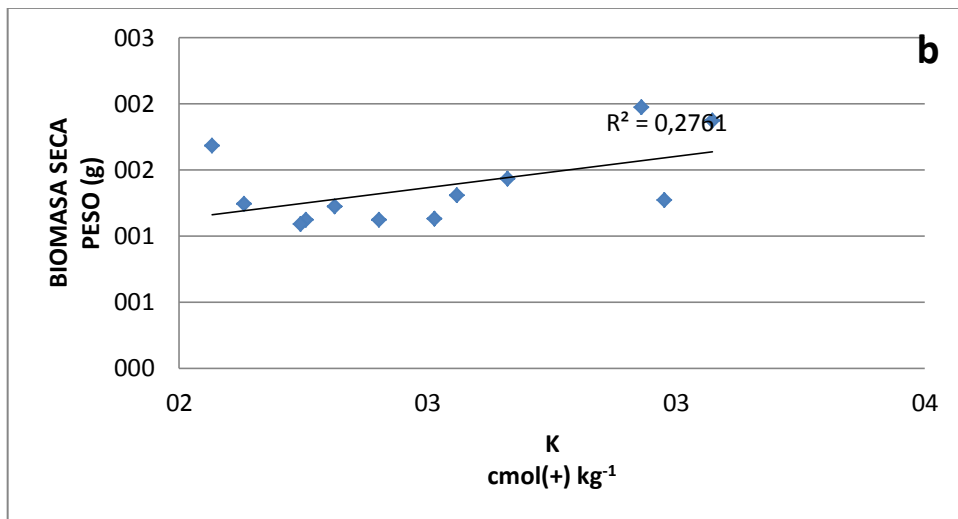
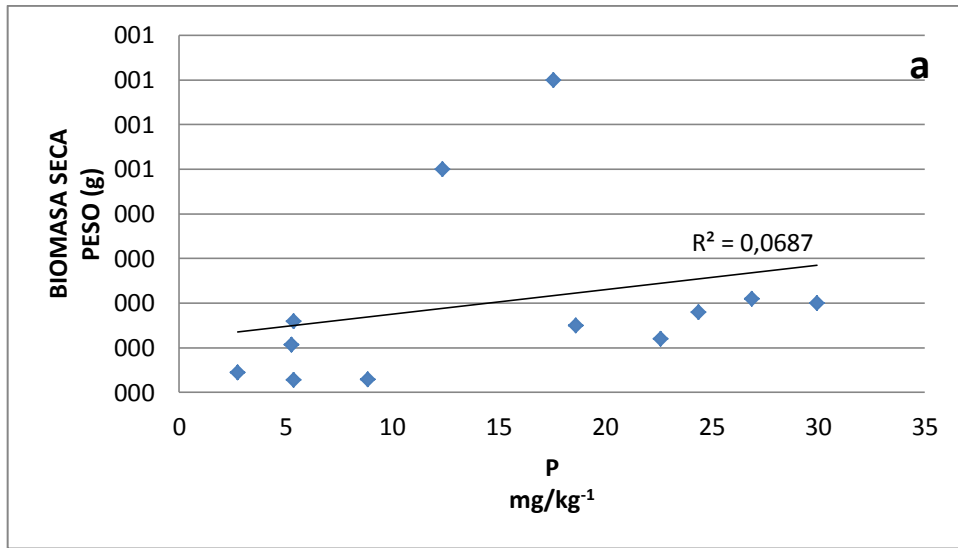


Figura 19: Correlación entre el fósforo (a), potasio (b) y magnesio (c), extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.

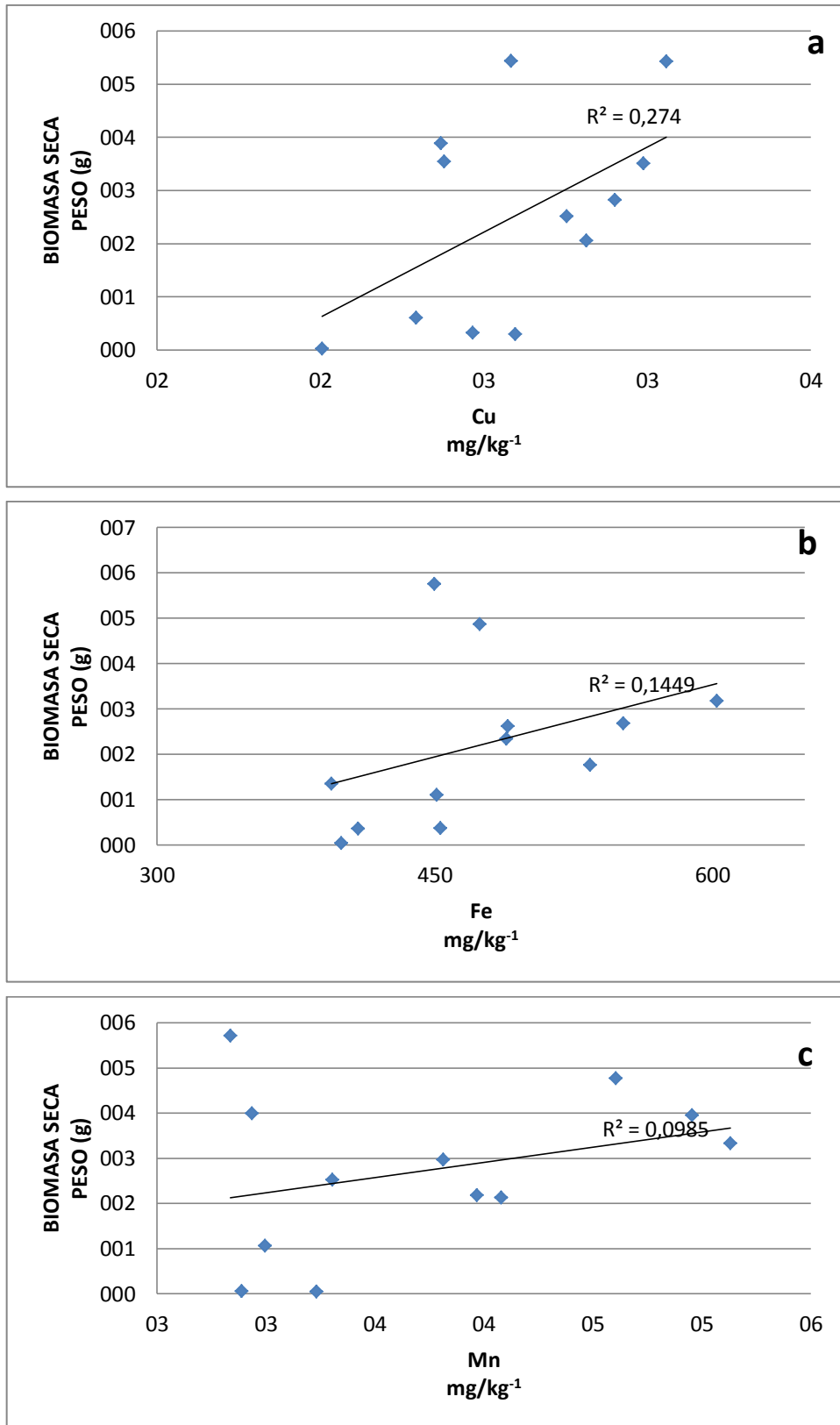


Figura 20: Correlación entre el cobre (b), hierro (b) y manganeso (c), extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.

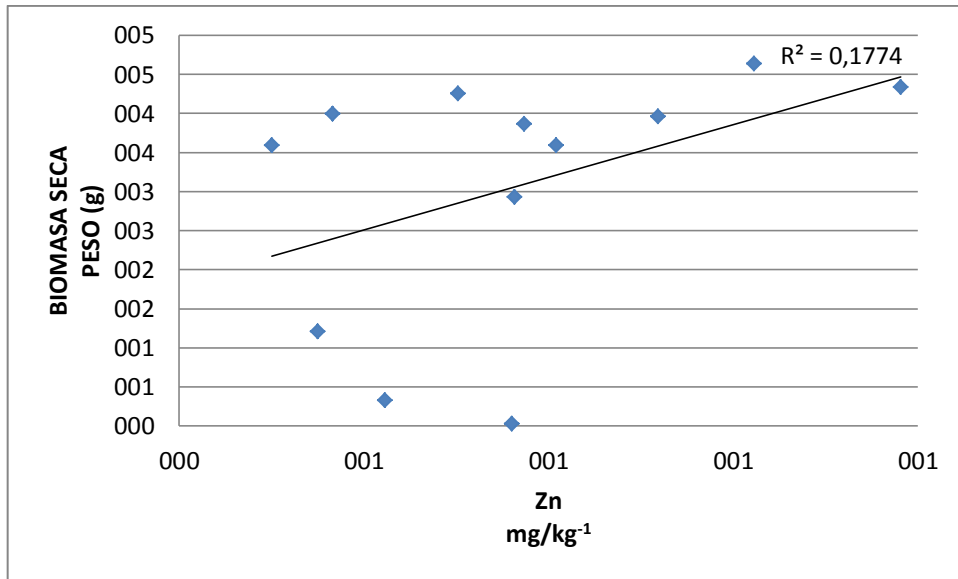


Figura 21: Correlación entre el zinc extraído con Olsen Modificado y el peso de la biomasa seca en los suelos de los tratamientos del experimento.

5. CONCLUSIONES

- Las plantas de la solución nutritiva completa dentro de los doce tratamientos del experimento de Zamora que fueron evaluados, alcanzaron mayor desarrollo (37 cm) en comparación a las plantas de las soluciones donde ellos está ausente.
- Tanto la altura de la planta y el peso de biomasa seca fueron mayores en los tratamientos que recibieron fertilización (21,7 cm). Además se registraron valores mayores en los tratamientos que corresponden a la melina (21,0 cm) antes que el pachaco.
- En los tratamientos que han recibido la aplicación de carbón vegetal los valores de altura de planta tienden a incrementarse y por lo tanto también se incrementan los valores del peso de biomasa seca.
- El B, N y P, reflejaron ser los elementos mayormente deficientes en los suelos del experimento del sitio La Victoria, incluso en aquellos que se aplicó cal y nutrientes. El Zn, Mn y Cu se encuentran en niveles altos; mientras que los otros elementos (Mg, Fe, S y K) se ubican en un rango de medio a bajo.
- EL $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a los 24 meses en la capa de 00 – 25 cm en los tratamientos con fertilización y cal, es de 5,3 en la cual se considera que se neutralizó el aluminio soluble; mientras en los tratamientos sin fertilización, el pH (4,9) se mantuvo en el rango fuertemente ácido.
- La acidez cambiante ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) en la capa de 00 – 25 y de 25 – 50 cm, disminuyó para los tratamientos con fertilización (1,22); mientras que, para los tratamientos sin fertilización, se mantuvo alrededor de 3,2 cmol (+) Kg^{-1} .
- Se registraron valores mayores en CIC (capa de 00 – 25cm) 8,8 y en la capa de 25 a 50 cm 16,3), bases cambiables y elementos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, S y Zn) en los tratamientos con fertilización.
- En todos los tratamientos del experimento (que no se incluyeron en el paquete de fertilización) los contenidos de Cu, Mg y Fe disponibles se ubican en un rango alto.

- La correlación entre la biomasa seca y los contenidos de los nutrientes extraídos mediante la solución extractora de Olsen Modificado es muy baja y en algunos casos negativa, con excepción del Cu y K ($r= 0,52$ y $0,53$ respectivamente).
- El método de evaluación biológica fue sensible para valorar la disponibilidad de los nutrientes en correspondencia con los factores: fertilización, especie arbórea y dosis de carbón.

6. RECOMENDACIONES

- Valorar la capacidad extractora de la solución de Olsen modificado tomando en cuentas las características de los suelos en evaluación, ya que según los resultados evidenciados en esta tesis los niveles de extracción presentados en los análisis de laboratorio no corresponden en su totalidad con los resultados obtenidos en la evaluación biológica.
- Continuar con estudios de la evaluación biológica de la fertilidad actual de los suelos mediante la técnica del elemento faltante para los suelos de otras regiones del país, ya que es una técnica que ayuda a determinar con certeza cuál es el elemento del que realmente carece el suelo.
- Realizar la evaluación biológica en ambientes controlados, donde se pueda garantizar las condiciones óptimas de clima, que mejoren los resultados de las experimentaciones.
- Establecer la correspondencia de los resultados de la evaluación biológica frente los valores de los contenidos de los nutrientes disponibles extraídos con la solución Olsen Modificada, en la perspectiva de establecer su validez, confiabilidad y aplicabilidad para las diferentes regiones, en particular para los suelos del trópico húmedo del país.
- Reutilizar los materiales plásticos para implementar nuevos experimentos de esta naturaleza, contribuyendo a la descontaminación ambiental.

7. BIBLIOGRAFÍA

- **BURNEO CASTILLO, L. P. 2012.** Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la amazonía ecuatoriana. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Loja, carrera de Ingeniería Agronómica. Ecuador. Pp. 20, 25.
- **CARRERA, G., AUCATOMA, B., VICUÑA, E. 2010.** Ejercicio de intercomparación organizado por la red de laboratorios de análisis de suelos del Ecuador (RELASE). PP. 1 - 41. Disponible en: www.secsuelo.org (Fecha de consulta 24 – 06 - 2012).
- **CHONAY PANTZAY, J., HERRERA, E., SABAJA, A., CARIAS, A., SANTOS, I. 2000.** Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: Llanura costera del Pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de agronomía. Disponible en: glifos.concyt.gob.gt (Fecha de consulta 16 – 06 – 2012).
- **COLWELL, W.E. 1980.** A biological Method determining the relatives minerals contents of soils. Soil SCI 56. pp. 71 – 94. (Fecha de consulta 08 – 04 - 2012).
- **DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W., 2008.** *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- **FLOR IRIGOYEN, J.A. 1963.** Prueba de la fertilidad de cuatro tipos de suelo de la finca experimental “La Lola”. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica, Turrialba. Tesis de magister agriculturae. Disponible en: orton.catie.ac.cr (Fecha de consulta 15 – 04 – 2013)
- **GUAYLLAS, J. 1988.** Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, mediante un método biológico. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Loja, Escuela de Ingeniería Agronómica. Ecuador. Pp. 98 (Fecha de Consulta 06 – 05 – 2012).

- **GUTIERREZ, M. 1997.** Nutrición mineral de las plantas: Avances y Aplicaciones. Agronomía Costarricense. Disponible en: www.mag.go.cr (Fecha de consulta 10 – 05 – 2012)
- **MILLER, E.V. 1967.** Fisiología Vegetal. México, Unión Grafica. pp. 118, 122, 135-138, 142-143.
- **NAVARRO BLAYA, S., NAVARRO GARCÍA, G. 2003.** Química Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid (Esp). Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de consulta 15 – 05 – 2012)
- **OPAZO, J., FERNANDEZ, L., CARRASCO, M. 1999.** Ensayos biológicos en macetas con trébol subterráneo en suelos del secano costero, vi región de Chile. ii. exploración de disponibilidad de fósforo, azufre, boro, molibdeno y su relación con la nodulación. Agricultura Técnica v.60 n.4. Disponible en: www.scielo.cl (Fecha de consulta 15 – 04 – 2013)
- **PADILLA, W. 2011.** Los nutrientes en el suelo y en la planta. Documento Digital (Fecha de consulta 15 – 03 – 2013).
- **PEVERILL, I. K., SPARROW, L. A., REUTER, D. J. 1999.** Soil Analysis: an interpretation manual. Editorial CSIRO, Australia. Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de consulta 03 – 03 – 2012)
- **PUIG, A. sf.** Bioindicadores (Indicadores Biológicos). Disponible en: www.cricyt.edu.ar (Fecha de consulta 2 – 07 – 2012).
- **SANCHEZ, J. sf.** Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas: Conceptos Básicos. Disponible en: www.agronegociosperu.org (Fecha de consulta 06 – 07 - 2012).
- **SIVORI, E.N., MONTALDI, E.R., y CASO, O.H. 1986.** Fisiología vegetal. Editorial Hemisferios Sur, Argentina. pp. 147. Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de consulta 06 – 03 – 2012).
- **SOTOMAYOR, D. sf.** Fertilidad de suelos avanzada. Disponible en: academic.uprm.edu (Fecha de consulta 12 – 04 – 2012)

- **TAIZ, L., ZEIGER, E. 2006.** Fisiología Vegetal. Ed. Universidad de Jaume, España. pp. 304-308, 314.
- **THOMPSON, L. M., THROEH, F. R. 1988.** El suelo y su fertilidad. 4ta ed. Barcelona, Reverté. pp. 286-287. Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de Consulta 27 – 05 – 2012).
- **USON MURILLO, A., BOIXADERA LLOBET, J., BOSCH SERRA, A., ENRIQUE MARTÍN, A. 2010.** Tecnología de suelos: Estudio de casos. Zaragoza (Esp.), Ed. Universidad de Lleida. Pp 100. Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de consulta 08 – 07 – 2012).
- **VALAREZO, C. 1985.** Proyecto de evaluación de la fertilidad de los suelos de Saraguro. Universidad Nacional de Loja, Centro Andino de Tecnología Rural (CATER).
- **VALAREZO, C. MAZA, H. CHAMBA, C. VALAREZO, L. MERINO, B. VILLAMAGUA, M. MORA, M. 2010.** Criterios en la instalación de los experimentos y caracterización de los sitios del proyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la amazonía ecuatoriana”. CEDAMAZ 1. Universidad Nacional de Loja. Pp. 65 – 80.
- **WILD, A. 1992.** Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-Prensa, Madrid (Esp). pp. 1045. Disponible en: books.google.com.ec (Fecha de consulta 03 – 03 – 2012).

8. ANEXOS

Anexo 1: Descripción de los perfiles de suelo del sitio La Victoria del Cantón Zamora.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CENTRO DE ESTUDIOS Y DESARROLLO DE LA AMAZONÍA (CEDAMAZ)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO CON ENMIENDAS DE CARBÓN VEGETAL EN PLANTACIONES DE ÁRBOLES MADERABLES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA

FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS EN LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Código: ZP1. **Fecha:** 24/03/09 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua
Sitio: La Victoria, Zamora **Altitud (m s.n.m.):** 949 **Coordenadas** 9 552541 O, 0730469 S.
Pendiente: 15 % **Paisaje:** pie de monte **Tipo de relieve:** vertiente
Forma del Terreno: ladera **Uso Actual o cobertura vegetal:** Pasto brachiaria
Condiciones de Humedad: *húmedo.* **Pedregosidad superficial:** 0 % **Tamaño:** cm
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** granito
Profundidad de la capa freática: No cm **Fluctuación:** No cm
Presencia de Sales o Alcalis: libre **Drenaje:** Moderado
Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): Typic Kandihumults



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo formado a partir de roca granítica. El perfil está conformado por una pequeña capa orgánica (Horizonte O) de 3 a 4 cm de espesor y seis horizontes minerales diferenciados : un horizonte Ap de 16 cm de espesor, gris muy oscuro, franco al tacto; un horizonte AE, de 14 cm de espesor, gris muy oscuro, franco arenoso a arenoso franco al tacto; un horizonte Bt1 de 30 cm de espesor, castaño grisáceo oscuro, franco arcillo arenosos al tacto; un horizonte Bt2, de 20 cm de espesor, pardo amarillento, arcillo arenoso al tacto; un horizonte CB de 22 cm de espesor amarillo castaño, arcilloso al tacto; y un horizonte C, de 28 cm de espesor, de color blanco, arcillo limoso al tacto. El suelo no ha sido arado sin embargo el horizonte A recibe el sufijo p por cuanto ha estado bajo pastura. En la capa AE aumenta el contenido de arena y disminuye la arcilla, pero se mantiene el color obscuro similar al Ap. En los horizontes B aumenta el contenido de arcilla y se observan cutanes muy delgados y discontinuos en los pedios y granos de cuarzo. Los horizontes Bt2 y C presentan algunas manchas herrumbrosas. En el C2 se encuentran granos de cuarzo menores y mayores a 2 mm.

Descripción individual de los horizontes o capas ZP1:

O 00 – (-4 cm)	Horizonte orgánico.
Ap 00 – 16 cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco al tacto; gránulos, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable; poros muchos, finos y medios; raíces abundantes, finas y muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite brusco y plano.
AE 16- 30 cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco arenoso a arenoso franco al tacto; bloques subangulares, medios y finos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, no plástico, muy friable en húmedo; poros frecuente, finos y medianos; raíces pocas, muy finas y finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
Bt1 30- 50 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; poros pocos, finos y medios; raíces muy pocas, muy finas y finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y ondulado.
Bt2 50-70 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; arcillo arenoso al tacto; bloques angulares y subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; poros pocos, finos y medios; raíces muy pocas, muy finas y finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
CB 70-92 cm	Amarillo pardo (10YR 6/6) en húmedo; arcilloso al tacto; masivo y bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollado; adherente, plástico, friable en húmedo; poros pocos, medios; raíces muy pocas, muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
C 92- 120 cm	Blanco (10YR 8/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; masivo; adherente, muy plástico, friable en húmedo; poros muy pocos, muy finos; fragmentos rocosos, frecuentes, gravilla y angular; sin raíces; sin reacción al HCl diluido.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CENTRO DE ESTUDIOS Y DESARROLLO DE LA AMAZONÍA (CEDAMAZ)
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO CON ENMIENDAS DE CARBÓN
VEGETAL EN PLANTACIONES DE ÁRBOLES MADERABLES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS EN LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Código: ZP2. **Fecha:** 24/03/09 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua

Sitio: La Victoria, Zamora. **Altitud (m s.n.m.):** 952. **Coordenadas:** 9552560 O, 0730436 S.

Pendiente 15 % Paisaje: Pie de monte **Tipo de relieve:** Vertiente **Forma del Terreno:** ladera

Uso Actual o cobertura vegetal: vegetación secundaria arbustiva y pasto **Condiciones de Humedad:** húmedo

Pedregosidad superficial: 0 % **Tamaño:** cm **Afloramientos rocosos:** No ___% **Tipo:** No

Material parental: granito **Profundidad de la capa freática:** No cm **Fluctuación:** No cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre **Drenaje:** Moderado

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): Typic Kandihumults



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo formado a partir de roca granítica. El perfil está conformado por una pequeña capa orgánica (horizonte O) de 3 a 4 cm de espesor y cinco horizontes minerales diferenciados: un horizonte Ap de 16 cm de espesor, negro, franco limoso al tacto y con abundantes raíces; un horizonte EA, de 12 cm de espesor, negro, franco arcillo arenoso al tacto; una transición BE, de 12 cm de espesor, amarillo castaño, con manchas castaño fuerte y rojas (óxido reducción), arcillo arenoso al tacto; un horizonte Bt, de 30 cm de espesor, amarillo castaño, arcillo limoso; y un horizonte C, de 50 cm de espesor con varias manchas rojas, masivo. El suelo no ha sido arado sin embargo el horizonte A recibe el sufijo p por cuanto ha estado bajo

pastura. En el AE se evidencia una mayor cantidad de arena por acumulación residual, pero mantiene el color obscuro del horizonte Ap. Las raíces se extienden hasta 70 cm.

Descripción individual de los horizontes o capas ZP2:

O 00 – (-4 cm)	Capa orgánica.
Ap 00 – 16 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable; poros muchos, finos y medios; raíces muy abundantes, finas y muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite brusco y plano.
EA 16- 28 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, medios y finos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo; poros frecuente, finos y medianos; raíces muy pocas, muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite brusco y plano.
BE 28 - 40 cm	Amarillo pardo (10YR 6/6) en húmedo, con manchas frecuentes castaño fuerte (7.5YR5/8) y rojo (2.5YR4/8), medianas, definidas y límite brusco; arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, medios, débilmente desarrollados; ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; pocos poros, muy finos; raíces muy pocas, muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite brusco y plano.
Bt 40-70 cm	Amarillo pardo (10YR 6/8) en húmedo; arcilloso a arcillo limoso al tacto; bloques angulares, medios y gruesos, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; pocos poros, muy finos; raíces muy pocas, muy finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto ondulado.
C 70-120 cm	Amarillo (10YR 7/6) en húmedo; manchas rojas (2.5 YR 5/8) y pardo muy claro (10YR 7/4), frecuentes, medianas, definidas y bruscas; arcilloso a limoso al tacto; masivo (sin estructura); adherente, plástico, friable en húmedo; pocos poros muy finos; fragmentos rocosos angulares de tamaño de gravilla; sin raíces; sin reacción al HCl diluido.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CENTRO DE ESTUDIOS Y DESARROLLO DE LA AMAZONÍA (CEDAMAZ)
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO CON ENMIENDAS DE
CARBÓN VEGETAL EN PLANTACIONES DE ÁRBOLES MADERABLES EN EL SUR DE LA
AMAZONÍA ECUATORIANA
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS EN LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Código: ZP3 **Fecha:** 24/03/09 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua

Sitio: La Victoria, Zamora **Altitud (m s.n.m.):** 960 **Coordenadas:** 9552556 O, 0730392 S

Pendiente: 15 % **Paisaje:** pie de monte **Tipo de relieve:** vertiente

Forma del Terreno: ladera **Uso Actual o cobertura vegetal:** llazhipa

Condiciones de Humedad: *húmedo* **Pedregosidad superficial:** 0 % **Tamaño:** 0 cm

Afloramientos rocosos: No_% **Tipo:** No **Material parental:** granito

Profundidad de la capa freática: No cm. **Fluctuación:** No cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre **Drenaje:** Moderado

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): Typic Kandihumults



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo formado a partir de roca granítica. El perfil está conformado por una pequeña capa orgánica (horizonte O) de 3 a 4 cm de espesor. El suelo mineral está constituido por cinco horizontes diferenciados: un horizonte Ap de 18 cm de espesor, negro, franco a franco limoso al tacto, con abundantes raíces; un horizonte AE, de 20 cm de espesor, negro, franco arenoso o franco arenoso arcilloso al tacto; una transición BE, de 20 cm de espesor, pardo amarillento, franco arcilloso arenoso a arcilloso arenoso al tacto; un

horizonte Bt, de 24 cm de espesor, amarillo, arcillo arenoso; un horizonte C1, de 16 cm de espesor, amarillo, con muchas manchas amarillo rojizas, arcillo arenoso, masivo; y, un horizonte C2, blanco, con manchas amarillo rojizo, arcillo limoso y masivo. El suelo no ha sido arado sin embargo el horizonte A recibe el sufijo p por cuanto ha estado bajo pastura. En el horizonte AE se evidencia una mayor cantidad de arena por acumulación residual, pero mantiene el color obscuro del horizonte Ap. Se observan pocas raíces hasta 82 cm.

Descripción individual de los horizontes o capas ZP3:

O 00 – (-4 cm)	Horizonte orgánico.
Ap 00 – 18 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco o franco limoso al tacto; bloques granular y subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo; muchos poros, finos y medios; raíces abundantes, finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
AE 18- 38 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arenoso o franco areno arcilloso al tacto; bloques subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo; muchos poros, finos; raíces comunes, muy finas y finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
BE 38- 58 cm	Pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo; franco arcillo arenoso a arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; pocos poros, finos y medios; raíces muy pocas, muy finas y finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y ondulado.
Bt 58-82 cm	Amarillo (10YR 8/8) en húmedo; arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, finos, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; poros frecuentes, finos; raíces muy pocas, finas; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
C1 82-98 cm	Amarillo (10YR 8/8) en húmedo; muchas manchas amarillo rojizo (7.5YR 7/8), pequeñas, definidas; arcillo arenoso al tacto; masivo; adherente, plástico, muy friable en húmedo; poros pocos, muy finos; sin raíces; sin reacción al HCl diluido; límite brusco y plano.
C2 98- 120 cm	Blanco (7.5YR 8/0) en húmedo; manchas amarillo rojizo (7.5 YR 6/8), frecuentes; arcillo limoso al tacto; masivo; adherente, plástico, friable en húmedo; pocos poros muy finos; frecuentes fragmentos rocosos angulares de granito, de tamaño de gravilla; sin raíces; sin reacción al HCl diluido.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CENTRO DE ESTUDIOS Y DESARROLLO DE LA AMAZONÍA (CEDAMAZ)
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO CON ENMIENDAS DE
CARBÓN VEGETAL EN PLANTACIONES DE ÁRBOLES MADERABLES EN EL SUR DE LA
AMAZONÍA ECUATORIANA
FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS EN LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Código: ZP4 **Fecha:** 24/03/09 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua
Sitio: La Victoria, Zamora **Altitud (m s.n.m.):** 964. **Coordenadas:** 9552562 O, 730354 S
Pendiente: 15 % **Paisaje:** pie de monte **Tipo de relieve:** vertiente
Forma del Terreno: ladera **Uso Actual o cobertura vegetal:** llazhipa
Condiciones de Humedad: húmedo. **Pedregosidad superficial:** No **Tamaño:** No
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No. **Material parental:** granito
Profundidad de la capa freática: No cm **Fluctuación** No
Presencia de Sales o Alcalis: libre **Drenaje:** bueno
Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): Typic Kandihumults



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo formado a partir de roca granítica. El perfil está constituido por una delgada capa orgánica (horizonte O) de 3 a 4 cm de espesor. El suelo mineral está integrado por seis horizontes diferenciados: un horizonte Ap de 14 cm de espesor, negro, franco a franco limoso al tacto, con pocas raíces; un horizonte AE, de 16 cm de espesor, negro, franco arcillo arenoso; una transición BE, de 24 cm de espesor, amarillo rojizo 60% y gris muy oscuro 40%, arcillo limoso; un horizonte Bt1, de 16 cm de espesor, pardo fuerte, arcillo limoso; un horizonte Bt2, de 25 cm de espesor, castaño fuerte, franco limoso; y un horizonte C de más de 25 cm de espesor, amarillo rojizo, arcillo arenoso, masivo y con partículas angulares de cuarzo de tamaño de gravilla. El suelo no ha sido arado sin embargo el horizonte A recibe el sufijo p por cuanto ha estado bajo

pastura. En el horizonte AE se evidencia una mayor cantidad de arena por acumulación residual, pero mantiene el color negro del horizonte Ap. Se observan pocas raíces hasta 100 cm.

Descripción individual de los horizontes o capas ZP4:

O 00 – (-4 cm)	Horizonte orgánico.
Ap 00 – 14 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco o franco limoso al tacto; bloques subangulares, medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, muy friable en húmedo; muchos poros, finos y medios; pocas raíces, finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
AE 14- 30 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arcillo arenoso al tacto; bloques subangulares, medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, muy friable en húmedo; muchos poros finos; pocas raíces finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
BE 30- 54 cm	Amarillo rojizo (7.5 YR 6/8) en húmedo en 60% del horizonte y gris muy oscuro (7.5YR 3/0) en 40% del horizonte; arcillo limoso a limoso al tacto; bloques subangulares, medios, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; pocos poros finos y medios; muchas raíces finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
Bt1 54-80 cm	Pardo fuerte (7.5 YR 5/8) en húmedo; franco arcillo limoso a limoso al tacto; bloques subangulares, medios, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; poros frecuentes, finos; muchas raíces, finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite neto y plano.
Bt2 80-105 cm	Pardo fuerte (7.5YR 5/8) en húmedo; franco limoso a arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, medios, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; cutanes discontinuos y muy delgados; pocos poros, finos; pocas raíces, finas y medias; sin reacción al HCl diluido; límite gradualmente plano.
C 105- 120 cm	Amarillo rojizo (7.5YR 6/8) en húmedo; arcillo arenoso al tacto; masivo; adherente, plástico, friable en húmedo; pocos poros muy finos; frecuentes fragmentos rocosos angulares del tamaño de gravilla; pocas raíces, muy finas y medias; sin reacción al HCl diluido.

Anexo 2: Nombre de los laboratorios participantes en la RELASE

#	Nombre	Ciudad
1	Clínica Agrícola (AGROBIOLAB)	Quito
2	Centro de Investigaciones de la caña de azúcar (CINCAE)	El Triunfo
3	Laboratorio de Investigación Agrícola de Comisión de Energía Atómica (CEEA)	Quito
4	Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (INIAP-E.E. Boliche)	Guayaquil
5	Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (INIAP-E.E. Santa Catalina)	Quito
6	Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (INIAP-E.E. Pichilingue)	Quevedo
7	Laboratorio Agropecuario	Santo Domingo
8	Laboratorio del Campo del Ingenio San Carlos	Guayaquil
9	Laboratorio de Suelos (SESA/MAG)	Tumbaco
10	Laboratorio NEMALAB	Machala
11	Laboratorio de Química Agrícola y Suelos Universidad Central	Quito
12	Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas Universidad Agraria del Ecuador	Guayaquil*
13	Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliar. Universidad Tecnológica Equinoccial de Santo Domingo de los Colorados	Santo Domingo
14	Laboratorio de Métodos Instrumentales de Suelos y Foliar Universidad Particular de Loja	Loja
15	Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas. Universidad Nacional de Loja	Loja*

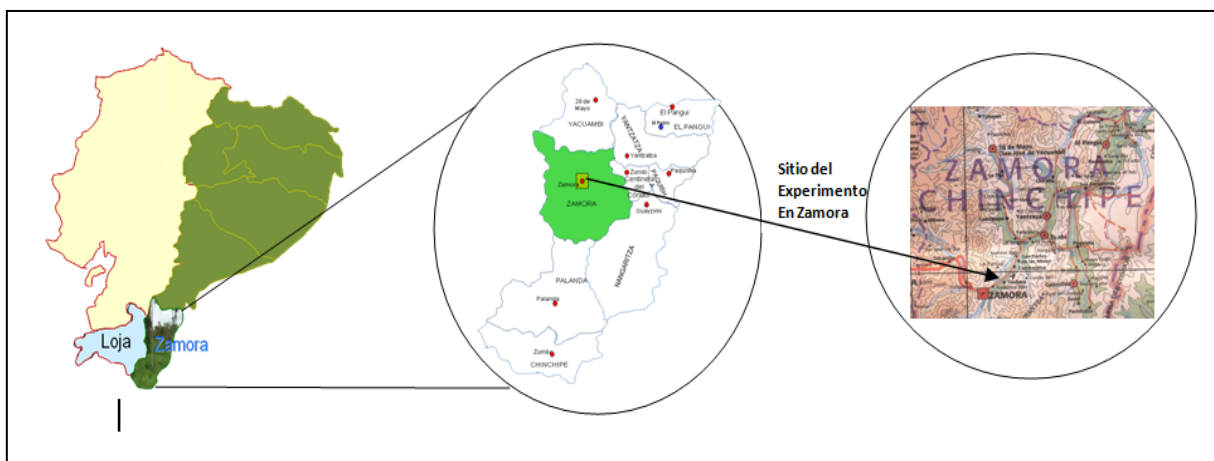
*Sin participar desde el año 2004

Anexo 3: Métodos de ensayo utilizados por la (RELASE) en el Ecuador

MATRIZ	PARAMETRO	MÉTODO	CUANTIFICACIÓN
Suelo	pH	Potencio métrico	
Suelo	Nitratos	Fenol disulfónico	Colorimétrica
Suelo	Fósforo	Olsen Modificado	Colorimétrica
Suelo	K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn.	Olsen Modificado	Absorción Atómica
Suelo	Materia Orgánica	Walkley Black	Volumetría
Plantas	Nitrógeno	Micro Kjeldhal	Volumetría
Plantas	Fósforo	Digestión Húmeda	Colorimetría
Plantas	K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn.	Digestión Húmeda	Absorción Atómica

Fuente: www.secsuelo.org

Anexo 4: Ubicación del experimento en el sitio La Victoria del cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe en el sur de la Amazonía Ecuatoriana



Anexo 5: Resumen del ADEVA para la altura de la planta indicadora a los 50 días.

Fuente variación	Cuadrados medios
Bloques	47,14
Solución	4157,97 (p<0,0001)
Sustrato	1312,40 (p<0,0001)
Solución*Sustrato	138,58 (p<0,0001)
Error experimental	32,07
Coefficiente de variación (%)	30,70

Anexo 6: Resumen del ADEVA para la biomasa de la planta indicadora a los 50 días.

Fuente variación	Cuadrados medios
Bloques	8,33
Solución	205,17 p(<0,0001)
Sustrato	56,12 p(<0,0001)
Solución*Sustrato	7,65 p(<0,0001)
Error experimental	2,79
Coefficiente de variación (%)	0,68

Anexo 7: Resultados del ADEVA para los valores de pH_{H2O} y acidez cambiante (Al³⁺ + H⁺) cmol (+) kg⁻¹, a dos profundidades 00-25cm y 25-50cm.

Fuente de variación	Cuadrados medios pH _{H2O}		Cuadrados medios (Al ³⁺ + H ⁺) cmol (+) kg ⁻¹	
	00-25cm	25-50cm	00-25 cm	25-50 cm
Bloques	0,07	0,02	1,11	1,25
Especie arbórea	0,01	0,01	0,19	0,01
Error experimental (a)	0,01	4,2	0,23	0,55
Fertilización	2,30 (p= 0,0001)	0,38(p=<0,0001)	45,32(p=<0,0001)	6,43(p=0,0003)
Fertilización * E. arbórea	0,06	2,7	1,02	2,9
Error experimental (b)	0,02	1,1	0,16	0,12
Carbón	0,06	0,02	0,59	0,46
Fertilización * Carbón	0,01	2,6	0,06	0,06
E. arbórea * Carbón	3,5	0,01	0,12	0,13
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,01	2,9	0,05	0,02
Error experimental (c)	0,02	0,01	0,20	0,12
Coefficiente de variación (%)	2,59	2,23	20,55	12,16

Anexo 8: ADEVA para los valores de CIC cmol (+) kg⁻¹, en las capas de 00-25 y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios CIC cmol (+) kg ⁻¹	
	00-25 cm	25-50 cm
Bloques	98,10 (p=0,0001)	57,47
Especie arbórea	1,36	1,56
Error experimental (a)	0,18	2,55
Fertilización	1,81	3,88
Fertilización * E. arbórea	19,09 (p= 0,0066)	0,26
Error experimental (b)	1,15	1,23
Carbón	4,36	1,87
Fertilización * Carbón	0,17	0,92
E. arbórea * Carbón	8,02	4,27
E. arbórea * Fert. * Carbón	2,20	0,08
Error experimental (c)	1,71	2,10
Coficiente de variación (%)	7,04	9,04

Anexo 9: ADEVA para los valores de K⁺ cmol (+) kg⁻¹, en las capas de 00 - 25 y 25 - 50cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios K ⁺ cmol (+) kg ⁻¹	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	2,0	2,3
Especie arbórea	2,7	3,3
Error experimental (a)	1,2	2,3
Fertilización	0,01 (p= 0,0030)	4,0
Fertilización * E. arbórea	4,1	6,7
Error experimental (b)	3,0	6,6
Carbón	1,8	2,0
Fertilización * Carbón	4,5	3,1
E. arbórea * Carbón	4,7 (p= 0,0059)	2,6 (p= 0,0046)
E. arbórea * Fert. * Carbón	6,5	2,9 (p= 0,0027)
Error experimental (c)	7,3	3,8
Coficiente de variación (%)	16,01	16,82

Anexo 10: ADEVA para los valores de Ca^{++} cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00 - 25 y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Ca^{++} cmol (+) kg^{-1}	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	0,12	0,18
Especie arbórea	0,04	3,3
Error experimental (a)	0,33	0,05
Fertilización	47,90 ($p < 0,0001$)	5,66 ($p = 0,0008$)
Fertilización * E. arbórea	0,35	0,36
Error experimental (b)	0,38	0,15
Carbón	0,17	0,15
Fertilización * Carbón	0,53	0,18
E. arbórea * Carbón	0,03	0,13
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,06	0,31
Error experimental (c)	0,22	0,08
Coefficiente de variación (%)	19,33	18,65

Anexo 11: ADEVA para los valores de Mg^{++} cmol (+) kg^{-1} , en las capas de 00 - 25 y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Mg^{++} cmol (+) kg^{-1}	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	0,27	0,03
Especie arbórea	0,14	0,01
Error experimental (a)	0,38	3,1
Fertilización	2,03	0,28 ($p = 0,0011$)
Fertilización * E. arbórea	0,02	0,06
Error experimental (b)	0,19	0,01
Carbón	0,40	0,01
Fertilización * Carbón	0,12	0,01
E. arbórea * Carbón	0,32	0,02
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,07	0,03
Error experimental (c)	0,25	0,01
Coefficiente de variación (%)	69,33	17,34

Anexo 12: ADEVA para los valores de N disponible, en las capas de 00 – 25 cm y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios N	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	4,30	1,89
Especie arbórea	5,32	8,29
Error experimental (a)	1,85	6,29
Fertilización	13,42	2,46
Fertilización * E. arbórea	1,00	1,71
Error experimental (b)	1,56	2,22
Carbón	4,46	0,56
Fertilización * Carbón	1,60	0,79
E. arbórea * Carbón	0,93	0,09
E. arbórea * Fert. * Carbón	1,06	0,06
Error experimental (c)	1,14	0,39
Coefficiente de variación (%)	12,62	11,78

Anexo 13: ADEVA para los valores de fósforo disponible, en las capas de 00 – 25 cm y 25 - 50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios P	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	319,91	13,26
Especie arbórea	89,43	2,64
Error experimental (a)	265,01	1,59
Fertilización	3334,33	140,49 (p=0,0001)
Fertilización * E. arbórea	269,80	2,46
Error experimental (b)	396,37	1,69
Carbón	43,95	7,22
Fertilización * Carbón	62,37	9,91
E. arbórea * Carbón	30,18	9,90
E. arbórea * Fert. * Carbón	26,27	7,65
Error experimental (c)	118,89	5,23
Coefficiente de variación (%)	72,70	93,95

Anexo 14: ADEVA para los valores de K cmol (+) kg⁻¹ disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios K cmol (+) kg ⁻¹	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	0,31	1,14
Especie arbórea	0,97	0,10
Error experimental (a)	0,40	0,16
Fertilización	3,08 (p=0,0024)	0,93
Fertilización * E. arbórea	0,05	0,18
Error experimental (b)	6	0,11
Carbón	0,45	2,3
Fertilización * Carbón	0,10	1,3
E. arbórea * Carbón	2	0,77
E. arbórea * Fert. * Carbón	2	0,38
Error experimental (c)	0,28	0,18
Coefficiente de variación (%)	21,25	30,53

Anexo 15: ADEVA para los valores de Ca cmol (+) kg⁻¹ disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Ca cmol (+) kg ⁻¹	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	7,34	4,52
Especie arbórea	0,34	1,26
Error experimental (a)	2,25	0,56
Fertilización	451,72 (p<0,0001)	48,86 (p=0,0009)
Fertilización * E. arbórea	1,38	0,40
Error experimental (b)	2,77	1,32
Carbón	7,63	1,71
Fertilización * Carbón	3,12	1,60
E. arbórea * Carbón	0,24	5,22
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,5	4,90
Error experimental (c)	2,58	1,88
Coefficiente de variación (%)	35,66	70,17

Anexo 16: ADEVA para los valores de Mg cmol (+) kg⁻¹ disponible, a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Mg cmol (+) kg ⁻¹	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	0,09	0,02
Especie arbórea	0,28	0,02
Error experimental (a)	0,01	0,01
Fertilización	0,95 (p=0,0032)	0,10
Fertilización * E. arbórea	7,5	3,7
Error experimental (b)	0,04	0,01
Carbón	0,14	0,01
Fertilización * Carbón	0,03	0,03
E. arbórea * Carbón	0,05	0,01
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,01	2,3
Error experimental (c)	0,04	0,01
Coefficiente de variación (%)	26,40	12,60

Anexo 17: ADEVA para los valores de Cu disponible (mg/kg⁻¹), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Cu mg/kg ⁻¹	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	1,42	0,82
Especie arbórea	2,7	0,01
Error experimental (a)	0,10	0,11
Fertilización	2,41 (p= 0,0004)	1,45
Fertilización*E. arbórea	0,05	0,42
Error experimental (b)	0,05	0,25
Carbón	0,26	0,03
Fertilización*Carbón	0,11	0,19
E. arbórea*Carbón	0,93 (p=0,0012)	0,52
E. arbórea*Fert*Carbón	0,49	0,16
Error experimental (c)	0,10	0,20
Coefficiente de variación (%)	12,35	27,64

Anexo 18: ADEVA para los valores de zinc disponible (mg/kg^{-1}), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Zn mg/kg^{-1}	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	0,54	0,05
Especie arbórea	0,08	3,0
Error experimental (a)	0,25	0,01
Fertilización	0,65	0,06 (p=0,0009)
Fertilización * E. arbórea	3,7	3,0
Error experimental (b)	0,23	1,6
Carbón	0,57	0,01
Fertilización * Carbón	0,07	4,1
E. arbórea * Carbón	0,36	1,8
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,03	6,8
Error experimental (c)	0,15	3,1
Coefficiente de variación (%)	54,59	14,09

Anexo 19: ADEVA para los valores de Mn disponible (mg/kg^{-1}), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Mn (mg/kg^{-1})	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	4,56	1,22 (p=0,0067)
Especie arbórea	1,10	0,16
Error experimental (a)	2,06	0,03
Fertilización	23,30 (p=0,0001)	0,04
Fertilización * E. arbórea	1,00	1,1
Error experimental (b)	0,32	0,03
Carbón	1,00	0,01
Fertilización * Carbón	0,28	0,10
E. arbórea * Carbón	0,92	0,33
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,15	0,11
Error experimental (c)	0,93	0,11
Coefficiente de variación (%)	25,86	13,83

Anexo 20: ADEVA para los valores de hierro disponible (mg/kg^{-1}), a dos profundidades 00-25 cm y 25-50 cm en los tratamientos del experimento.

Fuente de variación	Cuadrados medios Fe (mg/kg^{-1})	
	00 - 25 cm	25 - 50 cm
Bloques	22383,11	13085,94
Especie arbórea	8654,83	1039,83
Error experimental (a)	15870,07	46410,80
Fertilización	113790,48 ($p=0,0075$)	589,19
Fertilización * E. arbórea	6690,60	1034,81
Error experimental (b)	7278,51	3490,41
Carbón	9943,46	3956,30
Fertilización * Carbón	7836,27	4965,43
E. arbórea * Carbón	3658,55	2459,91
E. arbórea * Fert. * Carbón	2578,15	7507,21
Error experimental (c)	3827,89	4857,90
Coefficiente de variación (%)	13,03	16,58

Anexo 21: ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 00 – 25 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.

Fuente de variación	00 - 25 cm de profundidad			
	N	P	K	Ca
Bloques	4,30	319,91	0,31	7,34
Especie arbórea	5,32	89,43	0,97	0,34
Error experimental (a)	1,85	265,01	0,40	2,25
Fertilización	13,42	3334,33	3,08 ($p=0,0024$)	451,72 ($p=<0,0001$)
Fertilización * E. arbórea	1,00	269,80	0,05	1,38
Error experimental (b)	1,56	396,37	6	2,77
Carbón	4,46	43,95	0,45	7,63
Fertilización * Carbón	1,60	62,37	0,10	3,12
E. arbórea * Carbón	0,93	30,18	2	0,24
E. arbórea * Fert. * Carbón	1,06	26,27	2	0,58
Error experimental (c)	1,14	118,89	0,28	2,58
Coefficiente de variación (%)	12,62	72,7	21,25	35,66

Continuación...

ANEXO 21. ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 00 – 25 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.

Fuente de variación	00 - 25 cm de profundidad				
	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Bloques	0,09	1,42	0,54	4,56	22383,11
Especie arbórea	0,28	2,7	0,08	1,10	8654,83
Error experimental (a)	0,01	0,10	0,25	2,06	15870,07
Fertilización	0,95 (p=0,0032)	2,41 (p= 0,0004)	0,65	23,30 (p=0,0001)	113790,48 (p=0,0075)
Fertilización * E. arbórea	7,5	0,05	3,7	1,00	6690,60
Error experimental (b)	0,04	0,05	0,23	0,32	7278,51
Carbón	0,14	0,26	0,57	1,00	9943,46
Fertilización * Carbón	0,03	0,11	0,07	0,28	7836,27
E. arbórea * Carbón	0,05	0,93 (p=0,0012)	0,36	0,92	3658,55
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,01	0,49	0,03	0,15	2578,15
Error experimental (c)	0,04	0,1	0,15	0,93	3827,89
Coeficiente de variación (%)	26,4	12,35	54,59	25,86	13,03

Anexo 22: ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 25 - 50 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.

Fuente de variación	25 - 50 cm de profundidad			
	N	P	K	Ca
Bloques	1,89	13,26	1,14	4,52
Especie arbórea	8,29	2,64	0,10	1,26
Error experimental (a)	6,29	1,59	0,16	0,56
Fertilización	2,46	140,49 (p=0,0001)	0,93	48,86 (p=0,0009)
Fertilización * E. arbórea	1,71	2,46	0,18	0,40
Error experimental (b)	2,22	1,69	0,11	1,32
Carbón	0,56	7,22	2,3	1,71
Fertilización * Carbón	0,79	9,91	1,3	1,60
E. arbórea * Carbón	0,09	9,90	0,77	5,22
E. arbórea * Fert. * Carbón	0,06	7,65	0,38	4,90
Error experimental (c)	0,39	5,23	0,18	1,88
Coeficiente de variación (%)	11,78	93,95	30,53	70,17

Continuación...

ANEXO 22. ADEVA de los valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe del suelo, de la capa de 25 – 50 cm de profundidad de los doce tratamientos del experimento.

Fuente de variación	25 - 50 cm de profundidad				
	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Bloques	0,02	0,82	0,05	1,22 (p=0,0067)	13085,94
Especie arbórea	0,02	0,01	3,0	0,16	1039,83
Error experimental (a)	0,01	0,11	0,01	0,03	46410,80
Fertilización	0,10	1,45	0,06 (p=0,0009)	0,04	589,19
Fertilización * E. arbórea	3,7	0,42	3,0	1,1	1034,81
Error experimental (b)	0,01	0,25	1,6	0,03	3490,41
Carbón	0,01	0,03	0,01	0,01	3956,30
Fertilización * Carbón	0,03	0,19	4,1	0,10	4965,43
E. arbórea * Carbón	0,01	0,52	1,8	0,33	2459,91
E. arbórea * Fert. * Carbón	2,3	0,16	6,8	0,11	7507,21
Error experimental (c)	0,01	0,2	3,1	0,11	4857,9
Coefficiente de variación (%)	12,6	27,64	14,09	13,83	16,58

Anexo 23: Resultados de altura a los 50 días en las cuatro repeticiones de los doce tratamientos de suelo provenientes del experimento del sitio La Victoria, cantón Zamora en las diferentes soluciones nutritivas. Loja 2012.

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T1	31,0	26,0	32,0	33,0
-N	T1	4,0	6,0	3,0	3,5
-P	T1	9,5	8,0	7,5	4,5
-K	T1	7,0	4,0	5,0	4,0
-Mg	T1	4,0	8,0	5,0	8,0
-S	T1	4,0	6,0	10,0	9,0
-Zn	T1	7,5	13,0	19,0	13,0
-Cu	T1	4,0	10,0	5,0	15,0
-Mn	T1	21,0	19,0	7,5	18,0
-B	T1	3,5	3,0	5,0	7,0
-Fe	T1	5,0	13,5	10,0	6,5

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T2	37,0	38,0	41,0	38,5
-N	T2	6,5	6,5	6,5	12,5
-P	T2	4,0	6,0	3,0	5,5
-K	T2	26,0	26,0	27,0	32,0
-Mg	T2	22,0	6,0	13,0	6,0
-S	T2	12,0	7,5	7,5	26,0
-Zn	T2	20,5	26,0	35,0	35,0
-Cu	T2	31,0	30,0	25,0	39,0
-Mn	T2	25,0	30,0	28,0	30,0
-B	T2	12,0	13,0	10,0	14,0
-Fe	T2	23,0	30,0	28,0	31,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T3	37,0	33,0	32,0	24,0
-N	T3	6,0	5,0	9,0	4,5
-P	T3	6,0	9,0	5,0	5,0
-K	T3	3,5	7,0	4,5	4,5
-Mg	T3	24,5	16,0	11,0	19,0
-S	T3	8,5	25,5	8,0	14,0
-Zn	T3	14,0	7,5	9,0	20,0
-Cu	T3	20,0	5,0	16,0	7,5
-Mn	T3	7,0	3,0	4,5	4,0
-B	T3	3,5	4,0	4,0	7,0
-Fe	T3	6,0	4,0	16,0	3,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T4	42,0	30,0	35,0	37,0
-N	T4	6,5	5,5	6,5	7,0
-P	T4	6,0	4,0	4,5	5,0
-K	T4	17,0	16,5	12,0	15,0
-Mg	T4	28,0	36,0	18,0	14,0
-S	T4	20,0	25,0	27,0	22,0
-Zn	T4	38,0	37,0	5,0	13,0
-Cu	T4	39,0	13,5	35,0	18,0
-Mn	T4	26,0	16,0	27,0	20,0
-B	T4	18,5	4,0	5,0	7,5
-Fe	T4	30,0	26,0	28,0	33,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T5	34,0	37,0	40,0	29,0
-N	T5	4,5	4,0	2,5	3,0
-P	T5	4,5	4,0	4,0	3,0
-K	T5	7,0	3,5	3,5	3,5
-Mg	T5	4,0	4,0	4,0	3,5
-S	T5	4,0	5,0	8,0	5,0
-Zn	T5	4,5	4,0	11,0	5,0
-Cu	T5	11,0	6,0	6,0	16,0
-Mn	T5	4,5	5,0	14,0	6,0
-B	T5	3,0	3,0	6,0	5,0
-Fe	T5	17,5	21,0	5,0	13,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T6	39,0	48,0	48,0	36,0
-N	T6	5,5	6,0	6,0	4,0
-P	T6	6,0	4,0	3,5	7,5
-K	T6	28,0	35,0	26,0	30,0
-Mg	T6	22,0	50,0	22,0	19,0
-S	T6	11,0	21,0	20,0	7,0
-Zn	T6	23,0	31,0	19,0	33,0
-Cu	T6	29,0	30,0	32,0	26,0
-Mn	T6	38,0	30,0	33,0	22,5
-B	T6	24,0	40,0	27,0	21,0
-Fe	T6	21,0	20,0	15,0	29,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T7	40,0	42,0	40,0	45,0
-N	T7	5,5	4,5	3,0	5,0
-P	T7	4,0	8,0	5,5	3,0
-K	T7	8,0	7,0	17,0	21,0
-Mg	T7	5,0	33,0	32,0	35,0
-S	T7	24,0	24,0	27,0	24,0
-Zn	T7	24,0	38,0	37,0	35,0
-Cu	T7	43,0	26,0	22,0	38,0
-Mn	T7	35,0	32,0	41,0	24,0
-B	T7	5,0	4,0	6,0	15,0
-Fe	T7	26,0	35,0	25,0	28,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T8	33,0	42,0	33,0	39,0
-N	T8	4,5	3,5	5,0	6,0
-P	T8	4,0	4,0	4,0	5,0
-K	T8	18,0	25,0	25,0	20,0
-Mg	T8	32,0	25,0	26,0	25,0
-S	T8	37,0	30,0	30,0	29,0
-Zn	T8	29,0	40,0	41,0	37,0
-Cu	T8	22,0	39,0	42,0	36,0
-Mn	T8	36,0	27,0	24,0	37,0
-B	T8	15,0	5,0	15,0	17,0
-Fe	T8	24,0	30,0	32,0	36,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T9	36,0	34,0	36,0	36,0
-N	T9	9,5	0,0	3,0	6,0
-P	T9	4,5	4,5	4,5	5,5
-K	T9	24,5	30,0	13,5	29,0
-Mg	T9	19,0	30,0	26,0	30,0
-S	T9	14,5	17,5	13,0	24,0
-Zn	T9	10,5	38,0	34,0	37,0
-Cu	T9	30,0	11,0	30,0	21,0
-Mn	T9	35,5	25,0	18,0	33,0
-B	T9	3,5	6,0	4,0	6,0
-Fe	T9	8,0	23,0	12,5	20,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T10	34,0	40,0	27,0	45,0
-N	T10	5,0	7,0	4,0	4,0
-P	T10	6,5	5,5	3,5	10,0
-K	T10	8,0	13,0	19,0	18,5
-Mg	T10	31,0	29,0	27,0	26,0
-S	T10	14,0	6,5	11,0	16,0
-Zn	T10	30,0	30,0	30,0	26,0
-Cu	T10	23,0	21,0	22,0	18,0
-Mn	T10	17,0	27,0	11,5	17,0
-B	T10	8,0	6,5	5,0	9,5
-Fe	T10	25,0	28,0	16,0	19,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T11	33,0	46,0	40,0	38,0
-N	T11	11,0	12,0	7,0	4,0
-P	T11	3,5	4,0	4,0	6,0
-K	T11	25,0	20,0	9,0	20,0
-Mg	T11	35,0	9,0	19,0	30,0
-S	T11	36,0	36,0	19,0	32,0
-Zn	T11	35,0	26,0	25,0	31,0
-Cu	T11	4,0	4,5	5,5	4,5
-Mn	T11	41,0	22,0	34,0	35,0
-B	T11	5,0	4,0	3,5	2,5
-Fe	T11	4,5	11,0	7,5	19,0

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4
SC	T12	49,0	36,0	36,0	38,0
-N	T12	6,0	6,0	8,0	5,0
-P	T12	7,0	5,5	6,0	7,0
-K	T12	18,0	6,5	16,0	23,0
-Mg	T12	28,0	34,0	30,0	27,0
-S	T12	14,0	19,0	15,5	19,0
-Zn	T12	21,0	30,0	7,5	38,0
-Cu	T12	34,0	39,0	31,0	32,0
-Mn	T12	32,0	24,0	45,0	37,0
-B	T12	14,0	5,5	17,0	3,0
-Fe	T12	24,0	29,0	33,0	29,0

Anexo 24: Valores de peso de bioma seca obtenidos después de los 50 días en las cuatro repeticiones de los doce tratamientos de suelo, en las diferentes soluciones nutritivas. Loja, 2012.

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T1	3,612	3,704	3,415	4,033
-N	T1	0,021	0,049	0,009	0,009
-P	T1	0,353	0,209	0,189	0,077
-K	T1	0,126	0,032	0,084	0,045
-Mg	T1	0,095	0,171	0,024	0,132
-S	T1	0,019	0,048	0,542	0,063
-Zn	T1	0,424	0,433	1,025	0,468
-Cu	T1	0,033	0,335	0,058	0,918
-Mn	T1	1,223	1,087	0,205	1,909
-B	T1	0,045	0,003	0,089	0,106
-Fe	T1	0,069	0,298	0,146	1,09

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T2	7,607	8,131	7,622	6,176
-N	T2	0,059	0,128	0,071	0,696
-P	T2	0,019	0,044	0,034	0,018
-K	T2	4,307	3,044	2,047	4,39
-Mg	T2	3,112	0,055	0,468	0,086
-S	T2	1,082	2,948	0,053	2,601
-Zn	T2	4,258	2,774	3,686	8,818
-Cu	T2	4,765	4,393	2,84	5,036
-Mn	T2	2,568	10,055	4,602	3,155
-B	T2	0,7	1,157	0,373	0,865
-Fe	T2	3,638	3,489	3,969	5,557

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T3	5,936	4,357	6,974	2,805
-N	T3	0,171	0,049	0,295	0,05
-P	T3	0,092	0,303	0,039	0,034
-K	T3	0,03	0,229	0,114	0,047
-Mg	T3	1,237	0,913	0,637	1,126
-S	T3	0,178	1,655	0,282	1,694
-Zn	T3	0,884	0,088	0,348	3,863
-Cu	T3	2,27	0,017	0,868	0,13
-Mn	T3	0,125	0,031	0,034	0,039
-B	T3	0,03	0,023	0,019	0,059
-Fe	T3	0,113	0,027	1,219	0,02

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T4	9,586	3,057	4,268	6,39
-N	T4	0,083	0,139	0,067	0,068
-P	T4	0,087	0,014	0,065	0,036
-K	T4	2,106	1,404	1,459	1,723
-Mg	T4	8,545	6,122	1,327	0,603
-S	T4	1,424	3,395	2,226	1,025
-Zn	T4	7,736	5,828	0,129	1,899
-Cu	T4	8,202	0,603	4,766	1,276
-Mn	T4	4,463	1,498	2,977	2,556
-B	T4	0,873	0,034	0,064	0,1008
-Fe	T4	7,173	3,429	2,81	8,858

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T5	6,86	6,174	8,198	2,581
-N	T5	0,015	0,006	0,009	0,022
-P	T5	0,032	0,028	0,022	0,013
-K	T5	0,155	0,029	0,034	0,013
-Mg	T5	0,035	0,028	0,021	0,019
-S	T5	0,029	0,029	0,121	0,042
-Zn	T5	0,029	0,048	0,688	0,026
-Cu	T5	0,224	0,106	0,135	0,851
-Mn	T5	0,065	0,041	2,066	0,07
-B	T5	0,03	0,014	0,032	0,014
-Fe	T5	1,056	3,573	0,132	0,776

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T6	5,613	9,18	11,638	2,394
-N	T6	0,066	0,111	0,054	0,019
-P	T6	0,076	0,014	0,051	0,1
-K	T6	2,629	5,249	2,926	3,307
-Mg	T6	1,829	10,675	0,975	1,011
-S	T6	0,184	4,891	1,752	0,105
-Zn	T6	2,213	4,108	1,398	5,416
-Cu	T6	8,541	3,564	6,26	1,922
-Mn	T6	6,19	4,992	4,22	2,136
-B	T6	2,782	7,255	3,698	0,837
-Fe	T6	3,231	1,481	0,93	4,659

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T7	9,923	12,995	9,53	9,733
-N	T7	0,01	0,015	0,017	0,022
-P	T7	0,02	0,076	0,025	0,022
-K	T7	0,07	0,104	1,108	2,007
-Mg	T7	0,042	6,328	6,356	8,863
-S	T7	2,603	1,332	2,129	2,704
-Zn	T7	2,555	8,858	6,402	7,145
-Cu	T7	8,861	5,713	2,14	7,171
-Mn	T7	5,719	2,069	8,029	2,308
-B	T7	0,118	0,048	0,068	1,076
-Fe	T7	6,326	8,091	4,539	8,604

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T8	7,71	9,945	7,745	9,328
-N	T8	0,064	0,041	0,034	0,077
-P	T8	0,02	0,037	0,01	0,037
-K	T8	1,286	1,571	1,901	1,7
-Mg	T8	5,257	2,67	1,981	3,023
-S	T8	6,516	3,992	4,079	1,461
-Zn	T8	4,485	8,296	8,186	4,56
-Cu	T8	4,419	11,977	8,473	5,334
-Mn	T8	8,029	5,389	1,33	5,67
-B	T8	1,027	0,063	0,636	0,756
-Fe	T8	2,902	2,348	4,241	5,489

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T9	9,785	8,286	6,122	7,499
-N	T9	0,136	0,027	0,03	0,02
-P	T9	0,048	0,051	0,065	0,078
-K	T9	3,348	4,319	0,231	2,005
-Mg	T9	1,911	4,856	2,718	3,566
-S	T9	0,819	1,079	0,38	2,585
-Zn	T9	0,356	9,217	5,272	4,808
-Cu	T9	3,87	1,5	5,042	5,941
-Mn	T9	6,32	1,988	2,032	7,645
-B	T9	0,052	0,006	0,061	0,112
-Fe	T9	0,333	2,01	0,694	2,054

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T10	6,733	6,965	5,324	8,09
-N	T10	0,142	0,065	0,03	0,028
-P	T10	0,157	0,078	0,02	0,393
-K	T10	0,353	0,441	1,051	0,989
-Mg	T10	8,349	8,885	3,889	6,441
-S	T10	0,858	0,114	0,544	0,797
-Zn	T10	5,459	3,685	3,847	5,219
-Cu	T10	3,669	2,076	1,455	2,479
-Mn	T10	1,892	5,483	1,456	1,326
-B	T10	0,288	0,214	0,083	0,246
-Fe	T10	1,792	3,037	1,465	2,221

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T11	5,805	11,081	5,046	9,779
-N	T11	0,396	0,255	0,048	0,076
-P	T11	0,02	0,028	0,024	0,066
-K	T11	2,072	1,567	0,364	3,089
-Mg	T11	7,09	0,344	1,602	3,608
-S	T11	5,752	7,135	1,944	3,988
-Zn	T11	5,873	3,548	1,637	6,577
-Cu	T11	0,017	0,074	0,047	0,018
-Mn	T11	12,927	3,316	9,514	6,577
-B	T11	0,043	0,016	0,012	0,027
-Fe	T11	0,024	0,383	0,073	1,087

Soluciones nutritivas	Tratamiento suelo	peso 1	peso 2	peso 3	peso 4
SC	T12	9,004	8,947	9,004	8,368
-N	T12	0,069	0,053	0,101	0,022
-P	T12	0,149	0,125	0,203	0,154
-K	T12	1,827	0,158	1,387	2,5
-Mg	T12	4,5	7,258	5,544	4,206
-S	T12	0,616	1,888	1,344	1,497
-Zn	T12	2,502	5,555	0,143	8,961
-Cu	T12	7,045	4,06	5,84	4,446
-Mn	T12	5,579	3,957	7,509	2,309
-B	T12	0,682	0,044	0,683	0,013
-Fe	T12	1,666	5,753	3,959	3,069

Anexo 25: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T1 (a) (pachaco + sin fertilización + 0 t/Carbón Vegetal) y T2 (b) (pachaco + con fertilización + 0 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 26: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T3 (a) (pachaco + sin fertilización + 3 t/Carbón Vegetal) y T4 (b) (pachaco + con fertilización + 3 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 27: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T5 (pachaco + sin fertilización + 6 t/Carbón Vegetal) y T6 (pachaco + con fertilización + 6 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 28: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T7 (a) (melina + sin fertilización + 0 t/Carbón Vegetal) y T8 (b) (melina + con fertilización + 0 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 29: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T9 (a) (melina + sin fertilización + 3 t/Carbón Vegetal) y T10 (b) (melina + con fertilización + 3 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 30: Crecimiento y síntomas de deficiencia en las plantas de tomate de mesa a los 50 días en los tratamientos T11 (a) (melina + sin fertilización + 6 t/Carbón Vegetal) y T12 (b) (melina + con fertilización + 6 t/Carbón Vegetal) respectivamente.



Anexo 31: Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo, Loja, febrero 2012.

II. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Loja, en octubre de 2008 suscribió con la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) el convenio de cofinanciamiento para la ejecución del proyecto de investigación “**Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el Sur de la Amazonía ecuatoriana**”, cuyo propósito es generar alternativas para mejorar sostenidamente la fertilidad de los suelos ácidos y pobres, mediante la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes. Este macro proyecto incluye tres experimento en la red fluvial Zamora – Nangaritzta, siendo uno de ellos el ensayo ubicado en el sitio “La Victoria” del cantón Zamora en el cual se sembraron dos especies arbóreas maderables de rápido crecimiento pachaco *Schizolobium parahybum* y melina *Gmelina arbórea*.

Dentro del citado macroproyecto se enmarca la evaluación de las condiciones químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes y las reservas de C, N, P, K, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn, en los terrenos de las especies arbóreas maderables. Partiendo de que ninguna solución extractora refleja la real condición de disponibilidad de los nutrientes en el suelo, con la finalidad de tener mayor certeza sobre esta situación se ha considerado pertinente evaluar la fertilidad de los suelos de los diferentes tratamientos del ensayo, mediante el método biológico desarrollado por Colwell (1980), adaptado por Valarezo (1985) y probado para las condiciones de los suelos de Cañicapac y Ñamarín por Guayllas (1986) en el cual se ha utilizado plantas de tomate de mesa *Solanum Lycopersicum* Mill, como especie indicadora.

III. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Generar información sobre la fertilidad actual de un suelo desarrollado sobre granodiorita, en el sur de la amazonía ecuatoriana, después de diez y ocho meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación experimental de pachaco *Schizolobium parahybum* y melina *Gmelina arbórea*, mediante un método biológico frente a la evaluación química de laboratorio.

3.2. ESPECÍFICOS

- Evaluar biológicamente la fertilidad en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora, después de dieciocho meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco *Schizolobium parahybum* y melina *Gmelina arbórea*, utilizando tomate de mesa como planta indicadora.
- Determinar en el laboratorio la disponibilidad de los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Cu, Fe, mediante extracción con Olsen Modificado, en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora, después de dieciocho meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y melina.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y química de la fertilidad actual del suelo en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora.
 - Difusión de resultados

I. METODOLOGÍA

1.1. LUGAR DE TRABAJO

El muestreo del suelo se realizó en el sitio La Victoria del cantón Zamora. La evaluación biológica se efectuó en uno de los invernaderos de la Estación Experimental Docente La Argelia, sector Los Molinos. La evaluación química se realiza en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología, y en el Centro de Investigación, Servicios y Análisis Químicos (CISAQ) de la UNL.

1.2. MATERIALES

- Muestras de suelos
- Soluciones nutritivas
- Semillas de tomate de mesa var. Lumi.
- Vasos plásticos de 250 ml.
- Tarrinas plásticas de 850 ml.
- Balanza de precisión
- Estufa de 240 °C
- Espectrofotómetro de absorción atómica (AAS).
- Espectrofotómetro de masa de plasma acoplado inductivamente (ICP).

1.3. METODOLOGÍA

- **Muestras de suelos:** Se hizo con un barreno helicoidal a 0,60 m de la base de los árboles y hasta una profundidad de 0,25 m se tomó 0,2 kg de suelo por cada planta, se muestrearon 16 plantas por tratamiento y por bloque dando un total de 3,2 kg de suelo por tratamiento, luego se homogenizó la muestra con los bloques restantes.
- **Pesado del suelo:** se peso 200 g de suelo para cada unidad experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

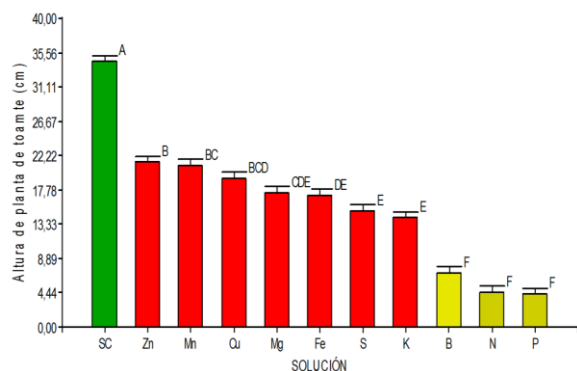


Figura 1. Altura de plantas de tomate en los diferentes tratamientos, a los 45 días después del transplante con diferentes soluciones nutritivas.

- La altura promedio de plantas con soluciones nutritivas es de 34,44 cm; y, sin B, N ni P es: 7,07; 4,56 y 4,32 cm, equivalente a 387, 656 y 697%, respectivamente.

Esta diferencia de altura, se atribuye posiblemente al efecto combinado de los nutrientes de los sustratos aplicados, y del carbonato de calcio aplicado también para neutralizar el aluminio soluble, de igual forma las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Zn, -Cu, -Mn, -B, -Fe).

IV. CONCLUSIONES

- El método de evaluación biológica de la fertilidad del suelo permite conocer la disponibilidad de los macro y micronutrientes en el suelo.
- Los suelos de Zamora son deficientes en Fósforo, Nitrógeno y Boro.
- El Boro es un elemento que se presenta deficiente en todos los tratamientos; y, menos deficiente en los que contienen fertilización (nutrientes + cal) + 6 t de carbón vegetal.

- **Preparación de tarrinas, Vasos y Filtros:** se perforó las tapas de las tarrinas, así mismo la base de los vasos plásticos y se acopló un filtro de tela nylon en la base del vaso.
- **Preparación de soluciones nutritivas:** la concentración de sales en las soluciones nutritivas estuvo alrededor de 12,5 meq/litro, fueron las siguientes.
 - Solución Completa (SC)
 - Solución menos Nitrógeno (-N)
 - Solución menos Fósforo (-P)
 - Solución menos Potasio (-K)
 - Solución menos Magnesio (-Mg)
 - Solución menos Azufre (-S)
 - Solución menos Hierro (-Fe)
 - Solución menos Manganeseo (-Mn)
 - Solución menos Boro (-B)
 - Solución menos Zinc (-Zn)
 - Solución menos Cobre (-Cu)
- **Instalación del experimento.**
- **Reposición de soluciones nutritivas**
- **Registro de datos:** Los datos de altura se registraron cada 5 días. Luego se cortarían las plantas de tomate de mesa (plantas indicadoras) y se registrará el peso de cada una, al término de esto, se llevarán las muestras a la estufa y se determinará el peso de materia seca.

4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Bifactorial 11X12 en BCA

Número de tratamientos	12
Número de réplicas	4
Número de plantas por tratamiento	44
Número de unidades experimentales	528

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“EVALUACION BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA”

DÍA DE CAMPO



Fotografía 1. Tratamiento 8 como muestra de los tratamientos de investigación.

TESISTA: Gabriela Estefanía Loaiza Silva

DIRECTOR: Ing. Miguel Ángel Villamagua.

Loja – Ecuador
Febrero 14 del 2012

Anexo 32: Resultados químicos de los análisis químicos de suelos del experimento del sitio La Victoria, cantón Zamora.



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO - QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA
ÁREA AGROPECUARIA Y E RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAE

PROVINCIA:	Zamora Chinchipe	FECHA DE I:	23 noviembre 2011
CANTÓN:	Zamora	FECHA DE E:	19 abril 2012
BARRIO:	La Victoria	RESPONSABLE:	Gabriela Loaiza – Ing. Miguel Villamagua
SECTOR O PROYECTO:	"Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonia Ecuatoriana"		

1. RESULTADOS DE LOS ANALISIS

CAMPO	BLOQUES				BLOQUES				BLOQUES				
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	
	Ph EN AGUA				ACIDEZ TOTAL (meq/100g)				C.I.C (meq/100g)				
T1 Sin fertilizante	25	4,87	4,89	4,86	4,78	3,54	2,65	3,50	3,27	14,28	13,95	20,98	19,52
T1 Sin fertilizante	50	4,54	4,73	4,75	4,68	3,30	3,35	2,98	3,87	12,53	14,52	17,21	16,78
T2 Con fertilizante	25	5,25	5,13	5,11	5,32	1,13	1,10	1,75	1,10	16,19	17,84	19,40	23,13
T2 Con fertilizante	50	4,87	4,85	4,84	4,79	2,27	2,24	2,46	3,17	12,41	15,74	19,12	16,59
T3 Sin fertilizante	25	5,04	4,78	4,79	5,03	3,10	2,67	3,12	3,13	14,62	17,31	19,62	20,76
T3 Sin fertilizante	50	4,85	4,7	4,7	4,75	3,20	2,86	3,45	2,87	11,02	15,76	18,05	18,52
T4 Con fertilizante	25	5,37	5,27	5,64	5,13	1,21	1,27	1,14	0,89	17,28	15,88	20,12	23,15
T4 Con fertilizante	50	4,91	4,87	5,1	4,89	2,19	2,08	2,64	3,05	12,26	15,20	18,29	19,61
T5 Sin fertilizante	25	5,07	4,85	5,02	4,87	2,13	3,25	3,77	3,12	15,05	14,72	17,67	22,36
T5 Sin fertilizante	50	4,86	4,75	4,89	4,67	3,21	2,54	3,86	3,43	13,61	12,06	17,44	20,19
T6 Con fertilizante	25	5,55	5,19	5,14	5,17	1,00	1,05	1,12	1,05	15,80	19,66	19,02	23,17
T6 Con fertilizante	50	5,03	4,95	4,96	4,76	2,16	1,78	3,05	3,23	14,26	14,99	16,69	17,57
T7 Sin fertilizante	25	4,63	4,87	4,69	4,85	2,50	3,43	4,56	3,14	17,85	17,65	22,75	25,06
T7 Sin fertilizante	50	4,6	4,77	4,65	4,67	3,20	3,43	4,76	3,15	13,65	15,87	18,29	18,31
T8 Con fertilizante	25	5,35	5,02	5,13	5,27	1,15	1,12	3,45	1,10	17,07	16,44	20,20	24,00
T8 Con fertilizante	50	4,96	4,76	4,97	4,97	2,34	2,98	3,24	2,35	15,04	16,48	17,30	22,37
T9 Sin fertilizante	25	4,98	4,78	4,77	4,77	2,32	3,14	3,25	3,27	14,01	16,52	19,91	22,06
T9 Sin fertilizante	50	4,87	4,67	4,67	4,57	2,80	2,86	3,14	3,37	13,51	15,86	15,70	16,87
T10 Con fertilizante	25	5,63	5,17	5,18	5,46	1,21	0,95	1,13	0,86	16,10	18,11	19,52	19,65
T10 Con fertilizante	50	4,86	4,97	4,98	4,63	2,10	2,17	2,65	2,25	14,04	16,99	17,95	16,33
T11 Sin fertilizante	25	4,87	4,88	4,88	4,72	2,75	3,45	3,57	3,24	16,79	17,15	19,32	20,95
T11 Sin fertilizante	50	4,77	4,72	4,75	4,69	2,25	3,23	3,86	3,47	13,46	14,09	18,48	16,14
T12 Con fertilizante	25	5,67	5,38	5,19	5,32	1,07	1,17	1,19	1,02	15,19	14,58	17,73	20,96
T12 Con fertilizante	50	4,97	5,01	4,76	4,87	1,89	2,76	3,06	2,76	14,66	14,15	15,28	18,24





BASES CAMBIABLES														
CAMPO	BLOQUES				BLOQUES				BLOQUES					
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4		
	K (meq/100 g)				Ca (meq/100 g)				Mg (meq/100 g)					
T1	Sin fertilizante	25	0,13	0,14	0,16	0,18	1,06	1,27	1,60	1,56	0,42	0,40	0,50	0,59
T1	Sin fertilizante	50	0,08	0,07	0,10	0,12	0,91	1,00	1,28	1,18	0,32	0,29	0,35	0,40
T2	Con fertilizante	25	0,14	0,16	0,20	0,22	4,05	3,49	3,33	4,03	1,01	0,81	0,71	1,08
T2	Con fertilizante	50	0,16	0,14	0,17	0,14	2,02	2,54	2,09	2,29	0,64	0,76	0,62	0,65
T3	Sin fertilizante	25	0,14	0,14	0,17	0,16	1,24	1,26	1,50	1,27	0,38	0,35	0,55	0,43
T3	Sin fertilizante	50	0,07	0,10	0,11	0,11	0,96	1,09	1,08	1,02	0,30	0,31	0,33	0,31
T4	Con fertilizante	25	0,14	0,14	0,21	0,17	3,16	3,85	3,69	4,31	0,55	0,73	0,95	0,79
T4	Con fertilizante	50	0,08	0,10	0,11	0,10	1,21	1,83	1,57	1,83	0,33	0,48	0,51	0,51
T5	Sin fertilizante	25	0,25	0,15	0,22	0,17	1,56	1,56	1,30	1,41	0,60	0,52	0,44	0,59
T5	Sin fertilizante	50	0,10	0,08	0,13	0,15	1,03	0,99	1,25	1,22	0,32	0,30	0,39	0,36
T6	Con fertilizante	25	0,25	0,18	0,23	0,19	3,80	3,11	2,85	2,95	0,77	0,96	1,08	0,83
T6	Con fertilizante	50	0,11	0,15	0,18	0,09	1,48	2,22	2,39	1,85	0,34	0,59	0,65	0,60
T7	Sin fertilizante	25	0,14	0,15	0,16	0,17	1,49	1,38	1,64	1,56	1,28	0,42	0,66	0,49
T7	Sin fertilizante	50	0,10	0,10	0,13	0,15	1,11	1,20	1,10	1,19	0,47	0,33	0,37	0,33
T8	Con fertilizante	25	0,21	0,16	0,19	0,24	3,17	3,39	2,88	3,58	3,95	0,69	0,68	0,72
T8	Con fertilizante	50	0,11	0,11	0,11	0,12	1,86	1,53	1,75	1,96	0,33	0,39	0,48	0,50
T9	Sin fertilizante	25	0,12	0,17	0,13	0,15	1,09	1,88	1,25	1,37	0,31	0,59	0,51	0,51
T9	Sin fertilizante	50	0,08	0,13	0,11	0,11	1,01	1,24	0,95	1,03	0,28	0,33	0,32	0,30
T10	Con fertilizante	25	0,14	0,17	0,21	0,16	4,37	3,74	3,63	2,80	0,80	0,79	0,78	0,64
T10	Con fertilizante	50	0,10	0,18	0,18	0,13	1,87	2,06	2,16	1,53	0,41	0,51	0,63	0,45
T11	Sin fertilizante	25	0,11	0,16	0,15	0,15	1,19	1,38	2,62	1,12	0,35	0,47	0,70	0,33
T11	Sin fertilizante	50	0,09	0,10	0,13	0,10	0,96	1,09	1,60	2,58	0,27	0,35	0,45	0,64
T12	Con fertilizante	25	0,14	0,17	0,17	0,16	4,51	3,06	2,94	1,82	0,78	0,55	1,15	0,47
T12	Con fertilizante	50	0,09	0,10	0,11	0,12	1,65	1,51	2,12	1,23	0,36	0,34	0,57	0,43





ELEMENTOS DISPONIBLES

MACRONUTRIENTES														
CAMPO	BLOQUES				BLOQUES				BLOQUES					
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4		
	N (ppm)				P ₂ O ₅ (ppm)				K meq/100g					
T1	Sin fertilizante	25	7,68	7,92	8,44	10,23	8,24	2,23	4,25	6,75	1,94	2,04	2,48	2,79
T1	Sin fertilizante	50	5,30	4,35	7,78	6,82	2,28	1,08	0,01	0,43	0,77	0,80	1,07	1,65
T2	Con fertilizante	25	10,88	7,02	8,72	10,98	31,27	17,48	20,25	21,45	2,31	2,61	3,41	3,40
T2	Con fertilizante	50	5,61	3,69	4,40	6,71	16,03	3,58	3,08	4,00	0,96	1,78	2,40	1,93
T3	Sin fertilizante	25	7,25	8,02	7,64	8,88	6,01	4,51	4,57	6,04	2,01	1,86	2,84	2,30
T3	Sin fertilizante	50	5,76	5,35	7,92	7,14	2,27	0,01	0,01	0,03	0,73	1,02	1,31	1,10
T4	Con fertilizante	25	8,83	9,70	10,54	10,83	12,33	17,73	22,79	21,62	2,10	2,17	3,44	2,52
T4	Con fertilizante	50	5,28	5,01	4,00	7,40	0,74	2,75	3,61	2,83	0,74	1,04	1,45	1,36
T5	Sin fertilizante	25	7,10	6,50	8,21	9,69	4,94	3,52	34,83	6,14	3,52	2,30	1,99	2,83
T5	Sin fertilizante	50	5,95	3,59	6,70	7,07	3,07	1,03	0,01	3,97	1,06	0,88	2,22	1,19
T6	Con fertilizante	25	8,88	8,65	9,18	9,51	21,54	33,30	6,99	8,41	4,05	2,68	2,55	3,00
T6	Con fertilizante	50	5,45	4,82	4,99	6,40	3,09	3,90	3,51	2,71	1,27	2,02	1,90	1,75
T7	Sin fertilizante	25	9,08	8,74	6,90	9,45	8,99	3,13	0,16	23,16	1,77	2,36	2,60	2,25
T7	Sin fertilizante	50	4,96	5,80	5,17	4,74	2,47	0,01	0,01	0,01	1,01	1,25	1,67	2,00
T8	Con fertilizante	25	6,87	8,32	7,48	10,82	85,93	18,42	12,84	2,55	3,21	2,37	3,00	3,33
T8	Con fertilizante	50	4,12	4,59	5,26	4,76	9,10	2,33	3,78	2,84	1,27	1,29	1,52	1,13
T9	Sin fertilizante	25	8,88	8,01	8,73	7,75	0,86	3,06	4,18	2,90	1,39	2,45	1,64	2,02
T9	Sin fertilizante	50	5,62	5,44	5,61	4,13	0,01	0,01	0,01	0,26	0,85	2,78	1,16	0,96
T10	Con fertilizante	25	6,36	9,60	11,62	8,59	39,56	25,06	26,45	16,44	1,70	2,57	3,51	2,28
T10	Con fertilizante	50	3,97	5,81	5,14	4,79	5,69	6,35	5,79	4,86	1,19	1,88	3,01	1,55
T11	Sin fertilizante	25	5,81	6,65	6,29	6,75	5,57	5,61	5,02	5,25	1,77	2,51	2,05	1,94
T11	Sin fertilizante	50	5,81	4,54	4,66	2,74	0,01	0,03	0,30	0,01	0,83	1,24	1,48	1,15
T12	Con fertilizante	25	7,38	8,42	9,01	7,79	44,29	11,68	29,92	11,68	2,22	2,58	2,54	2,26
T12	Con fertilizante	50	4,27	4,89	7,01	3,71	3,34	2,50	2,89	0,16	0,97	1,61	1,31	1,52





ELEMENTOS DISPONIBLES														
CAMPO	BLOQUES				BLOQUES				BLOQUES					
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4		
	Ca meq/100g				Mg meq/100g				Cu ppm					
T1	Sin fertilizante	25	1,21	1,21	1,34	1,14	0,83	0,64	0,58	0,56	2,66	2,10	2,90	2,20
T1	Sin fertilizante	50	0,63	0,91	1,12	0,65	0,49	0,44	0,48	0,59	1,50	1,63	1,46	1,32
T2	Con fertilizante	25	8,70	6,78	5,49	5,75	1,21	1,04	0,93	0,94	3,23	2,21	2,20	2,40
T2	Con fertilizante	50	1,27	6,49	3,59	1,61	0,60	0,54	0,61	0,68	2,33	1,87	1,30	1,50
T3	Sin fertilizante	25	1,33	2,10	1,38	0,77	0,50	0,68	0,66	0,58	2,70	1,97	1,97	2,00
T3	Sin fertilizante	50	1,00	1,02	1,16	0,60	0,50	0,57	0,59	0,56	1,89	1,06	0,76	1,13
T4	Con fertilizante	25	6,92	9,80	8,03	7,92	0,69	1,17	0,97	0,68	3,40	2,86	2,90	2,70
T4	Con fertilizante	50	1,01	1,84	1,50	1,66	0,36	0,50	0,69	0,49	2,19	1,56	1,80	1,80
T5	Sin fertilizante	25	1,79	1,71	1,37	0,90	0,79	0,70	1,35	0,76	3,32	2,01	1,80	2,40
T5	Sin fertilizante	50	0,93	0,81	1,08	0,55	0,49	0,43	0,55	0,50	2,50	1,67	0,97	0,67
T6	Con fertilizante	25	8,40	8,14	10,82	7,19	1,04	0,97	1,43	0,97	3,90	2,78	2,90	2,70
T6	Con fertilizante	50	4,56	2,84	4,91	1,21	0,60	0,70	0,58	0,70	2,30	1,43	2,70	2,20
T7	Sin fertilizante	25	1,00	1,32	1,28	0,82	0,50	0,52	0,75	0,59	3,30	2,45	2,13	2,12
T7	Sin fertilizante	50	0,95	1,04	1,03	0,70	0,43	0,48	0,52	0,51	2,40	1,34	1,27	1,57
T8	Con fertilizante	25	9,73	7,48	1,42	5,05	1,61	0,88	0,77	0,66	3,70	2,87	3,26	2,60
T8	Con fertilizante	50	1,79	1,72	0,96	1,51	0,71	0,53	0,62	0,63	2,77	1,01	1,34	2,20
T9	Sin fertilizante	25	0,76	2,19	1,36	0,75	0,34	0,68	0,61	0,56	3,28	2,67	3,05	2,40
T9	Sin fertilizante	50	1,04	1,22	1,37	0,85	0,47	0,63	0,71	0,51	2,56	1,57	1,74	1,50
T10	Con fertilizante	25	9,26	9,90	7,00	6,24	0,79	0,72	0,70	0,56	2,85	3,10	2,40	2,90
T10	Con fertilizante	50	1,83	7,14	6,60	1,45	0,55	0,56	0,76	0,61	1,45	1,56	1,37	2,20
T11	Sin fertilizante	25	0,85	6,25	0,90	0,82	0,60	0,56	0,61	0,52	2,34	1,34	2,10	1,80
T11	Sin fertilizante	50	0,80	0,98	1,49	0,70	0,39	0,65	0,72	0,45	1,07	0,94	1,80	0,64
T12	Con fertilizante	25	9,50	6,73	10,38	5,17	0,86	0,65	1,24	0,75	2,54	2,23	2,90	2,24
T12	Con fertilizante	50	1,99	2,35	6,25	4,98	0,70	0,68	0,73	0,67	1,27	1,76	1,65	1,75





ELEMENTOS DISPONIBLES														
CAMPO	BLOQUES				BLOQUES				BLOQUES					
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4		
	Fe ppm				Mn ppm				Zn ppm					
T1	Sin fertilizante	25	436,01	324,90	390,90	482,40	2,77	2,97	3,75	2,49	1,10	0,33	0,32	0,37
T1	Sin fertilizante	50	468,45	418,24	258,73	416,74	2,13	2,41	2,69	2,45	0,43	0,31	0,32	0,35
T2	Con fertilizante	25	600,92	381,77	840,75	585,81	3,69	3,37	9,02	3,74	0,58	1,05	0,34	1,62
T2	Con fertilizante	50	468,22	471,93	379,20	577,19	1,81	1,80	2,46	2,54	0,46	0,58	0,33	0,42
T3	Sin fertilizante	25	392,14	345,05	388,08	472,99	2,71	2,34	3,70	2,80	0,82	0,30	0,28	0,36
T3	Sin fertilizante	50	431,72	405,61	453,67	472,68	1,41	2,35	2,44	2,35	0,45	0,31	0,25	0,34
T4	Con fertilizante	25	463,40	405,40	484,56	543,95	4,20	3,29	5,04	3,78	0,52	0,90	0,52	0,92
T4	Con fertilizante	50	386,47	422,58	286,11	498,53	1,56	2,53	2,40	2,35	0,53	0,32	0,35	0,45
T5	Sin fertilizante	25	421,27	363,10	309,80	482,64	2,02	2,46	3,67	4,78	1,04	1,07	0,34	0,35
T5	Sin fertilizante	50	574,77	334,67	344,45	533,19	1,72	2,14	2,93	2,95	0,43	0,33	0,31	0,33
T6	Con fertilizante	25	519,84	363,68	526,70	544,39	4,62	5,55	4,77	5,58	0,47	0,42	0,93	1,00
T6	Con fertilizante	50	623,41	236,56	247,11	488,26	2,22	2,22	2,65	2,61	0,48	0,33	0,34	0,47
T7	Sin fertilizante	25	348,57	508,68	417,83	523,66	2,37	2,97	4,03	3,85	2,30	0,71	0,35	0,76
T7	Sin fertilizante	50	462,62	463,02	436,56	374,81	2,36	2,13	2,80	2,83	0,54	0,29	0,31	0,42
T8	Con fertilizante	25	598,53	539,58	481,11	587,68	3,83	3,91	4,54	6,15	2,39	0,38	1,27	0,87
T8	Con fertilizante	50	482,78	484,78	433,10	366,33	2,44	1,97	2,67	2,63	0,54	0,34	0,50	0,58
T9	Sin fertilizante	25	368,36	455,59	435,08	545,26	2,13	2,84	3,23	3,54	0,47	0,30	0,30	0,43
T9	Sin fertilizante	50	463,77	484,56	409,69	347,26	1,98	2,24	3,60	2,88	0,38	0,28	0,30	0,40
T10	Con fertilizante	25	454,50	523,02	561,82	596,35	2,39	4,26	4,73	4,49	1,01	0,74	0,59	0,70
T10	Con fertilizante	50	341,78	501,00	437,16	406,91	1,89	2,31	2,74	2,61	0,44	0,36	0,38	0,50
T11	Sin fertilizante	25	503,39	410,67	392,76	505,05	2,07	3,09	2,13	4,05	0,34	0,51	0,50	0,48
T11	Sin fertilizante	50	408,71	418,17	438,21	182,40	1,81	2,37	1,91	2,35	0,37	0,32	0,32	0,48
T12	Con fertilizante	25	514,39	512,75	410,67	519,69	3,44	3,95	3,48	4,38	0,90	0,44	0,37	0,80
T12	Con fertilizante	50	368,09	486,11	397,15	380,11	1,98	2,74	2,19	2,50	0,43	0,28	0,32	0,52

Ing. Omar Ochoa Ojeda Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ing. Jackeline Castillo
TECNICA LABORATORISTA





TABLA DE INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS UTILIZADA ACTUALMENTE POR EL INIAP

NIVELES PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS*

COSTA Y SIERRA	Muy Ácido	Ácido	Median. Ácido	Ligeram. Ácido	Prácticam. Neutro	Ligeram. Alcalino	Median. Alcalino	Alcalino	Neutro
pH	0,0<5,0	5 - 5,5	>5,5 - 6,0	>6 - 6,5	6,5 - 7,5	>7,5 - 8,0	>8 - 8,5	>8,5	7,0
Siglas	M Ac	Ac	Me Ac	L Ac	P N	L AI	Me AI	AI	N
Requieren Cal									

Nutriente	Unidad	COSTA				Tóxico	SIERRA			
		Bajo	Medio	Alto	Tóxico		Bajo	Medio	Alto	Tóxico
N	ppm	< 20,0	20,0 - 40,0	> 40,0		< 30,0	30,0 - 60,0	> 60,0		
P	ppm	< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0		< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0		
S	ppm	< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0		< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0		
K	meq/100ml	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4		< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4		
Ca	meq/100ml	< 4,0	4,0 - 8,0	> 8,0		< 4,0	4,0 - 8,0	> 8,0		
Mg	meq/100ml	< 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0		< 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0		
Cu	ppm	< 1,0	1,0 - 4,0	> 4,0		< 1,0	1,0 - 4,0	> 4,0		
Fe	ppm	< 20,0	20,0 - 40,0	> 40,0		< 20,0	20,0 - 40,0	> 40,0		
Mn	ppm	< 5,0	5,0 - 15,0	> 15,0		< 5,0	5,0 - 15,0	> 15,0		
Zn	ppm	< 2,0	2,0 - 7,0	> 7,0		< 2,0	2,0 - 7,0	> 7,0		
B	ppm	< 0,50	0,5 - 1,0	> 1,0	> 10,0	< 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0	> 4,0	
Cl	ppm	< 17,0	17,0 - 34,0	> 34,0		< 17,0	17,0 - 34,0	> 34,0		
M.O.	%	< 3,0	3,0 - 5,0	> 5,0		< 3,0	3,0 - 5,0	> 5,0		
Siglas		B	M	A	T	B	M	A	T	

Nutriente	Unidad	COSTA			SIERRA		
		Bajo	Medio	Tóxico	Bajo	Medio	Tóxico
Al + H	meq/100ml	< 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5	< 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5
Al	meq/100ml	< 0,3	0,3 - 1,0	> 1,0	< 0,3	0,3 - 1,0	> 1,0
Na	meq/100ml	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
Siglas		B	M	T	B	M	T

Nutriente	Unidad	COSTA				SIERRA			
		No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino	No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino
C.E	mmhos/cm	< 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0 - 8,0	> 8,0	< 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0 - 8,0	> 8,0
Siglas		N S	L S	S	M S	N S	L S	S	M S

*Dpto. Manejo de Suelos y Aguas - Estación Experimental Santa Catalina - INIAP (modificado 28-02-2011)

