



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE ARENISCA CUARZOSA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN SAN FRANCISCO – EL PANGUI”**

*Tesis de Grado Previa a la  
Obtención del Título de  
Ingeniero Agrónomo*

**AUTOR:**

**Orly Milton Mendoza Aguirre**

**DIRECTOR:**

**Ing. Carlos Valarezo Manosalvas, M.Sc.**

**Loja – Ecuador  
2013**

Señor Ingeniero,  
Carlos Valarezo Manosalvas  
**DIRECTOR DE TESIS**

### **CERTIFICA**

Que la tesis titulada **“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE ARENISCA CUARZOSA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN SAN FRANCISCO - EL PANGUT”** de la autoría del Señor Egresado **ORLY MILTON MENDOZA AGUIRRE** de la Carrera de Ingeniería Agronómica, ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad.

Por lo cual autorizo al señor egresado su presentación para los trámites de grado correspondientes.

Loja, 11 de julio de 2013



---

Ing. Carlos Valarezo Manosalvas, M. Sc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

**“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO  
DESARROLLADO SOBRE ARENISCA CUARZOSA, TRATADO  
CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN SAN  
FRANCISCO – EL PANGUI”**

**TESIS DE GRADO**

Presentada al Tribunal de Grado como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

EN EL ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**APROBADA:**



~~Ing. Zofia Zaruma Hidalgo, M.Sc.~~  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Kléver Chamba Caillagua  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Paulina Fernández Guarnizo, M.Sc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **AUTORÍA**

Yo, Orly Milton Mendoza Aguirre, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente 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.

Loja, julio del 2013

  
\_\_\_\_\_  
**Orly Milton Mendoza Aguirre**  
C.I.: 110459220-7

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

Yo, Orly Milton Mendoza Aguirre, declaro ser autor de la tesis titulada **“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE ARENISCA CUARZOSA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN SAN FRANCISCO – EL PANGUI”**, 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 Registro Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en la 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 copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 22 días del mes de julio del dos mil trece, firma el autor:

  
\_\_\_\_\_  
**Orly Milton Mendoza Aguirre**

**C.I.:** 110459220-7  
**Dirección:** Argentina entre Bolivia y Chile. Loja - Ecuador  
**Correo Electrónico:** mendozaorly@gmail.com  
**Teléfono:** +593 7 2589013 0992136885

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Carlos Valarezo Manosalvas, M.Sc.  
**Tribunal de Grado:** Ing. Zoila Zaruma Hidalgo, M.Sc.  
Ing. Kléver Chamba Caillagua  
Ing. Paulina Fernández Guarnizo, M.Sc.

## **DEDICATORIA**

*A Mariana de Jesús Aguirre Vargas, capital de amor, honestidad y sacrificio.*

*A Milton Marino Mendoza Mendoza, paradigma de trabajo, ejemplo y comprensión.*

Quienes se han proyectado en materializar aquel sueño, su sueño... y lo han alcanzado.

Es propicia la oportunidad para compartir una enseñanza práctica de ellos, mis viejos:

La razón más poderosa del universo te puede perdonar, es Dios. Mas, lo que no perdonan son cuatro leyes que él mismo formuló: el tiempo, la justicia, la muerte y la vida.

## AGRADECIMIENTO

Mi fiel agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por el financiamiento del proyecto. Al Ing. Carlos Valarezo, su gestor, quien me ha permitido participar en este trabajo; a su valiosa dirección y revisión de este documento.

A los Señores Ingenieros Miembros del Tribunal de mi tesis por sus importantes sugerencias.

Al personal docente y administrativo de la prestigiosa Carrera de Ingeniería Agronómica por su función en la educación plena de sus estudiantes y colaboración en trámites. Al personal de Secretaría General del AARNR y de Biblioteca agradezco por su cooperación oportuna.

Ratifico mi eterno agradecimiento a mis padres por su apoyo total y confianza. Expreso gratitud a mi hermana Jalila, persona especial en mi vida, por la atención y apoyo en el transcurso de mi caminar universitario. A Lenin por su amistad y ayuda siempre generosa e incondicional. A mi sobrina Josselyn por su felicidad, talento, ayuda y ternura. A mi hermano Fabián, a mis sobrinos Andrés y Josué. A mi familia entera, así como a las familias Coronel Matailo y Ortiz Coronel. A Johanna y a la Dra. Sonia por su inminente apoyo. A la Ing. Rosa Ortega, a quien aprecio mucho por su lucha y entrega; mi gratitud por su empeño en la realización de mis objetivos.

A mis compañeros de la promoción 2006 - 2011 de la Carrera de Ingeniería Agronómica.

Por su colaboración a lo largo de esta investigación a Byron, José Luis, César, Stalin, Andreína, John, Servio, Johanna Elizabeth, Sandra, Gabriela, José, Darío, Carlos, René y Darwin.

A quienes no he citado y han aportado para el desarrollo de este trabajo y en mi convivir universitario, les extiendo fraternalmente mi gratitud sincera.

## ÍNDICE GENERAL

<i>Contenido</i>	<i>Págs.</i>
CERTIFICACIÓN .....	ii
APROBACIÓN.....	iii
AUTORÍA .....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT .....	xxi
<b>I.    <u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
<b>II.   <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u></b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.    FUNDAMENTO DEL MÉTODO BIOLÓGICO PARA           LA EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.    FERTILIDAD DEL SUELO</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3.    ARENISCA CUARZOSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.4.    ENMIENDAS CON CARBÓN VEGETAL Y LA           DISPONIBILIDAD Y RETENCIÓN DE NUTRIENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>2.5.    PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.5.1.    Reacción del Suelo</b> .....	<b>5</b>
<b>2.5.2.    Acidez</b> .....	<b>5</b>
<b>2.5.3.    Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</b> .....	<b>6</b>
<b>2.6.    NUTRIENTES EN EL SUELO PARA LAS PLANTAS</b> .....	<b>7</b>
<b>2.6.1.    Disponibilidad de Nutrientes</b> .....	<b>7</b>
<b>2.6.1.1.    Nitrógeno</b> .....	<b>7</b>
<b>2.6.1.2.    Fósforo</b> .....	<b>8</b>
<b>2.6.1.3.    Potasio</b> .....	<b>9</b>
<b>2.6.1.4.    Calcio</b> .....	<b>9</b>
<b>2.6.1.5.    Magnesio</b> .....	<b>9</b>



2.6.1.6. Azufre .....	10
2.6.1.7. Hierro .....	10
2.6.1.8. Manganeso .....	10
2.6.1.9. Boro.....	11
2.6.1.10. Zinc .....	11
2.6.1.11. Cobre .....	12
2.6.1.12. Molibdeno.....	12
2.6.2. Funciones de los Nutrientes Esenciales .....	13
2.6.3. Síntomas de Deficiencia de los Nutrientes Disponibles .....	14
2.7. SOLUCIONES EXTRACTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES .....	15
2.8. LA RED DE LABORATORIOS DE SUELOS DEL ECUADOR (RELASE) .....	16
2.9. TRABAJOS RELACIONADOS .....	18
<b>III. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....</b>	<b>19</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO SAN FRANCISCO ALTO.....	19
3.2. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA .....	21
3.3. MATERIALES .....	21
3.4. METODOLOGÍA .....	22
3.4.1. Evaluación Biológica .....	22
3.4.1.1. Diseño experimental .....	22
3.4.1.2. Muestreo de suelos.....	24
3.4.1.3. Preparación de soluciones nutritivas .....	24
3.4.1.4. Instalación del experimento.....	26
3.4.1.5. Manejo del experimento y obtención de datos.....	26
3.4.1.6. Difusión de resultados .....	26
3.4.2. Análisis Químico.....	26
3.4.3. Análisis de Datos.....	27
<b>IV. <u>RESULTADOS</u>.....</b>	<b>28</b>

<b>4.1. CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ASPECTO DE LA PLANTA INDICADORA .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1. Altura de la Planta a los 50 Días .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1.1. Solución –N .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1.2. Solución –P .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1.3. Solución –K .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.1.4. Solución –Mg.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.1.5. Solución –S .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.1.6. Solución –Fe .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.1.7. Solución –Mn .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.1.8. Solución –B.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.1.9. Solución –Zn .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.1.10.Solución –Cu .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.2. Materia Seca de la Planta Indicadora .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2.1. Solución –N .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2.2. Solución –P.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2.3. Solución –K .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2.4. Solución –Mg.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2.5. Solución –S .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2.6. Solución –Fe .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2.7. Solución –Mn .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2.8. Solución –B.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.2.9. Solución –Zn .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.2.10.Solución –Cu .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.3. Aspecto de la Planta Indicadora .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2. EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DEL SUELO.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1. Reacción del Suelo y Acidez Cambiable.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2. Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Cambiables .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2.2. Calcio cambiabile (Ca<sup>2+</sup>) .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2.3. Magnesio cambiabile (Mg<sup>2+</sup>).....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.2.4. Potasio cambiabile (K<sup>+</sup>).....</b>	<b>52</b>

4.2.3.	Nitrógeno Disponible.....	59
4.2.4.	Fósforo Disponible.....	60
4.2.5.	Potasio Disponible .....	61
4.2.6.	Calcio Disponible.....	62
4.2.7.	Magnesio Disponible .....	63
4.2.8.	Hierro Disponible .....	63
4.2.9.	Manganeso Disponible .....	64
4.2.10.	Zinc Disponible .....	65
4.2.11.	Cobre Disponible .....	66
4.3	<b>CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y LA EVALUACIÓN QUÍMICA.....</b>	<b>67</b>
V.	<b><u>DISCUSIÓN</u>.....</b>	<b>70</b>
5.1.	<b>CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ASPECTO DE LA PLANTA INDICADORA .....</b>	<b>70</b>
5.1.1.	<b>Altura de la Planta y Materia Seca a los 50 Días.....</b>	<b>70</b>
5.1.1.1.	<b>Solución –N .....</b>	<b>70</b>
5.1.1.2.	<b>Solución –P.....</b>	<b>70</b>
5.1.1.3.	<b>Solución –K .....</b>	<b>71</b>
5.1.1.4.	<b>Solución –Mg.....</b>	<b>71</b>
5.1.1.5.	<b>Solución –S .....</b>	<b>72</b>
5.1.1.6.	<b>Solución –Fe .....</b>	<b>72</b>
5.1.1.7.	<b>Solución –Mn .....</b>	<b>72</b>
5.1.1.8.	<b>Solución –B.....</b>	<b>73</b>
5.1.1.9.	<b>Solución –Zn .....</b>	<b>73</b>
5.1.1.10.	<b>Solución –Cu .....</b>	<b>73</b>
5.1.2.	<b>Aspecto de la Planta Indicadora .....</b>	<b>74</b>
5.2.	<b>EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DEL SUELO.....</b>	<b>74</b>
5.2.1.	<b>Reacción del Suelo y Acidez Cambiable.....</b>	<b>74</b>
5.2.2.	<b>Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....</b>	<b>75</b>
5.2.3.	<b>Calcio Cambiable (Ca<sup>2+</sup>) .....</b>	<b>75</b>
5.2.4.	<b>Magnesio Cambiable (Mg<sup>2+</sup>).....</b>	<b>75</b>
5.2.5.	<b>Potasio Cambiable (K<sup>+</sup>).....</b>	<b>75</b>

5.3.	<b>CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y LA EVALUACIÓN QUÍMICA.....</b>	<b>76</b>
<b>VI.</b>	<b><u>CONCLUSIONES</u>.....</b>	<b>77</b>
<b>VII.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES</u>.....</b>	<b>79</b>
<b>VIII.</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u>.....</b>	<b>80</b>
<b>IX.</b>	<b><u>ANEXOS</u>.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Formas de absorción y funciones de los nutrientes esenciales en plantas .....	13
<b>Cuadro 2.</b>	Síntomas de deficiencia de los nutrientes esenciales en plantas .....	14
<b>Cuadro 3.</b>	Metodologías de análisis utilizadas en la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELASE).....	17
<b>Cuadro 4.</b>	Tratamientos, factores y niveles del experimento San Francisco, 2013 .....	19
<b>Cuadro 5.</b>	Factores de estudio dentro del diseño factorial del experimento San Francisco, 2013 .....	22
<b>Cuadro 6.</b>	Esquema del análisis de varianza para el diseño bifactorial, 2013 .....	23
<b>Cuadro 7.</b>	Tipos de sales y cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N, 2013 .....	24
<b>Cuadro 8.</b>	Concentración de la solución nutritiva y cantidades de sales expresadas en gramos para la preparación de un litro de la segunda solución madre de micronutrientes, 2013.....	25
<b>Cuadro 9.</b>	Mililitros de solución stock 1N, que se requieren diluir para preparar 600 ml de solución nutritiva con los macro y micronutrientes, 2013 .....	25
<b>Cuadro 10.</b>	Altura de la planta indicadora (cm) a los 50 días de edad, en las soluciones nutritivas y suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, 2013 .....	33
<b>Cuadro 11.</b>	Resumen del análisis de varianza para la altura de planta de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) a los 50 días, 2013.....	34
<b>Cuadro 12.</b>	Materia seca (g) de la planta indicadora después de los 50 días, en las soluciones nutritivas y suelos de los	

	diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, 2013 .....	42
<b>Cuadro 13.</b>	Resumen del análisis de varianza para los valores de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días, 2013 .....	42
<b>Cuadro 14.</b>	Valores promedio de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , acidez cambiante ( $\text{H}^+$ y $\text{Al}^{3+}$ ), CIC y bases cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ ) en $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de suelo, a los 8 meses de muestreo (después de la fertilización y plantación), en las capas de 00-25 y 25-50 cm del experimento San Francisco, 2013 .....	54
<b>Cuadro 15.</b>	ANOVAS de los valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , acidez cambiante ( $\text{H}^+$ y $\text{Al}^{3+}$ ), CIC, $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ y $\text{K}^+$ para las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013 .....	55
<b>Cuadro 16.</b>	Valores promedio de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, y Zn disponibles en las capas de 00-25 y 25-50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013 .....	56
<b>Cuadro 17.</b>	ANOVAS de los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu disponibles para la capa de 00 a 25 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013 .....	57
<b>Cuadro 18.</b>	ANOVAS de los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu disponibles para la capa de 25 a 50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013 .....	58
<b>Cuadro 19.</b>	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 de San Francisco, 2013 .....	68

<b>Cuadro 20.</b> Análisis de regresión para el peso de materia seca del análisis biológico y el nutriente disponible del análisis químico, en los diferentes tratamientos de suelo del experimento San Francisco, 2013 .....	68
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Localización del experimento de evaluación biológica del suelo de San Francisco tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, 2013 .....	21
<b>Figura 2.</b>	Prueba de Tukey para la altura de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor tratamiento de suelo, 2013.....	34
<b>Figura 3.</b>	Prueba de Tukey para la altura de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor soluciones, 2013 .....	35
<b>Figura 4.</b>	Curvas de crecimiento de la planta indicadora ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) entre 5 y 50 días después de la germinación con las diferentes soluciones nutritivas, en los suelos del experimento de San Francisco para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); T6 (pachaco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón); T7 (arabisco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); y, T12 (arabisco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón) .....	36
<b>Figura 5.</b>	Prueba de Tukey para la materia seca de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor tratamiento de suelo, 2013 .....	43
<b>Figura 6.</b>	Prueba de Tukey para la materia seca de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor soluciones, 2013.....	44
<b>Figura 7.</b>	Biomasa seca total de la planta indicadora ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) entre 5 y 50 días después de la germinación con las diferentes soluciones nutritivas, en los suelos del experimento de San Francisco para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); T6 (pachaco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón); T7 (arabisco, sin fertilización + 0,0 t/ha de	



	biocarbón); y, T11 (arabisco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón) .....	45
<b>Figura 8.</b>	Vista general de cuatro tratamientos de suelo referentes del experimento San Francisco evaluados biológicamente, 2013 .....	46
<b>Figura 9.</b>	Síntomas de deficiencia de N, B, P, K y S en la planta indicadora ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) con los suelos del experimento de San Francisco, 2013 .....	47
<b>Figura 10.</b>	Prueba de Tukey del pH <sub>H2O</sub> en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013 .....	48
<b>Figura 11.</b>	Prueba de Tukey de la acidez cambiante en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	49
<b>Figura 12.</b>	Prueba de Tukey del calcio cambiante en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	51
<b>Figura 13.</b>	Prueba de Tukey del magnesio cambiante en la capa de 00 a 25 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013 .....	52
<b>Figura 14.</b>	Prueba de Tukey del potasio cambiante de 25 a 50 cm para los factores fertilización y la interacción fertilización por carbón, en el experimento de San Francisco, 2013 .....	53
<b>Figura 15.</b>	Prueba de Tukey del nitrógeno disponible de 00 a 25 cm para el factor fertilización, a los ocho meses de la fertilización y plantación del experimento de San Francisco, 2013 .....	59
<b>Figura 16.</b>	Prueba de Tukey del fósforo disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el	

	experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	60
<b>Figura 17.</b>	Prueba de Tukey del potasio disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	61
<b>Figura 18.</b>	Prueba de Tukey del calcio disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	62
<b>Figura 19.</b>	Prueba de Tukey del hierro disponible de 00 a 25 cm para los factores fertilización y la interacción fertilización por carbón, en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	64
<b>Figura 20.</b>	Prueba de Tukey del manganeso disponible de 00 a 25 cm para el factor fertilización, a los ocho meses de la fertilización y plantación del experimento de San Francisco, 2013.....	65
<b>Figura 21.</b>	Prueba de Tukey del zinc disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.....	66
<b>Figura 22.</b>	Cobre disponible de 0 a 25 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, 2013.....	67
<b>Figura 23.</b>	Diagramas de dispersión para el contenido de materia seca de la evaluación biológica y el nutriente extraído por Olsen Modificado en la evaluación química del suelo del experimento de San Francisco, 2013.....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Altura (cm) de la planta indicadora a los 50 días de edad, en las cuatro repeticiones de suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, para cada solución nutritiva, 2013.....	85
<b>Anexo 2.</b>	Materia seca (g) de la planta indicadora en las cuatro repeticiones de suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, para cada solución nutritiva, 2013 .....	87
<b>Anexo 3.</b>	Análisis químico de los 12 tratamientos de suelo del Experimento San Francisco en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm y el biocarbón aplicado .....	89
<b>Anexo 4.</b>	Tabla de interpretación de análisis utilizada en la actualidad por el INIAP, 2013 .....	93
<b>Anexo 5.</b>	Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo .....	94
<b>Anexo 6.</b>	Costos de producción para la evaluación biológica y química de la fertilidad del suelo del experimento de San Francisco, 2013 .....	96
<b>Anexo 7.</b>	Localización del experimento de San Francisco, 2013.....	99
<b>Anexo 8.</b>	Distribución de bloques y tratamientos en el experimento de San Francisco, 2013. ....	100

## RESUMEN

Se evaluó biológicamente la disponibilidad de N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, B, Zn y Cu en la capa de 00 a 25 cm de doce tratamientos de suelo después de ocho meses de ser tratados con carbón vegetal, cal y nutrientes en un experimento con dos especies arbóreas pachaco (*Schizolobium parahybum*) y arabisco (*Jacaranda copaia*) en San Francisco Alto, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, mediante la técnica del elemento faltante en invernadero, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*). La altura de la planta indicadora se registró hasta los 50 días y se determinó la biomasa seca. 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 su correspondiente solución nutritiva completa. El N, B, K y P resultaron ser los elementos deficientes en los suelos de todos los tratamientos del experimento de San Francisco Alto (inclusive en aquellos que se había aplicado N, P y K), con proporciones de biomasa del N, B, K y P en relación a la solución completa de: 7,6:1; 7,2:1; 2,1:1; y, 2,0:1, respectivamente; el Zn, Fe, Mg, Mn y Cu, no se mostraron deficientes; el S mostró un nivel medio. El N no presentó correlación significativa ( $r= 0,21$ ) entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada; mientras que el fósforo manifestó una fuerte correlación ( $r= 0,88$ ); el K, Mg y Zn mostraron una moderada correlación ( $r= 0,63$ ;  $0,52$  y  $0,49$ , respectivamente); y, finalmente las correlaciones para el Fe, Mn y Cu fueron negativas, en el orden de  $-0,73$ ,  $-0,62$  y  $-0,59$ . La utilización de la solución extractora de Olsen Modificada merece ser revisada para el caso de los análisis de laboratorio de los elementos disponibles en los suelos del sur de la Amazonía Ecuatoriana.

## ABSTRACT

Biologically evaluated availability of N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, B, Zn and Cu in the layer 00 to 25 cm twelve soil treatments after eight months of being treated with charcoal, lime and nutrients in an experiment with two tree species pachaco (*Schizolobium parahybum*) and arabisco (*Jacaranda copaia*) in San Francisco Alto, canton The Panguí province of Zamora Chinchipe, by missing element technique in the greenhouse, using as indicator plant tomato (*Solanum lycopersicum*). The indicator plant height was measured up to 50 days and dry biomass was determined. The plant nutrient solutions lacking one element of the soils of the twelve treatments had lower development in relation to the corresponding complete nutrient solution. The N, B, K and P were found to be deficient elements in the soils of all treatments in the experiment of San Francisco (even in those who had applied N, P and K), with proportions of biomass ratios N, B, K and P in relation to the complete solution: 7.6:1, 7.2:1, 2.1:1, and 2.0:1, respectively; the Zn, Fe, Mg, Mn and Cu, were not deficient; sulfur showed a medium level. The N no significant correlation ( $r = 0.21$ ) between the weight of the dry matter of the biological evaluation with the nutrient concentration of the chemical analysis from the extraction solution modified Olsen; while phosphorus expressed a strong correlation ( $r = 0.88$ ), the K, Mg and Zn showed a moderate correlation ( $r = 0.63, 0.52$  and  $0.49$ , respectively), and finally the correlations for Fe, Mn and Cu were negative, in the order of  $-0.73, -0.62$  and  $-0.59$ . Using the Modified Olsen extracting solution should be revised in the case of laboratory tests available elements in soils of southern Ecuadorian Amazon.

## I. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de recuperar productivamente los suelos de ladera del territorio del corredor de la red fluvial Zamora - Nangaritza, degradados por efecto de la conversión del bosque natural a pastizales, la Universidad Nacional de Loja viene ejecutando 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 Amazonía Ecuatoriana”, el mismo que ha consistido en la instalación de tres experimentos en suelos de ladera del corredor fluvial Zamora-Nangaritza; uno de ellos, en el sitio San Francisco del cantón El Pangui, desarrollado sobre arenisca cuarzosa (Valarezo, 2010a).

Debido a que los análisis de laboratorio que se utilizan para estimar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (fertilidad actual) son aproximaciones que no siempre reflejan realmente la cantidad que es aprovechable para las plantas, se consideró pertinente evaluar la fertilidad actual de los suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, mediante el método biológico en invernadero en el cual se utiliza como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*) y comparar sus resultados con los contenidos de las formas disponibles de los nutrientes extraídos con la solución de Olsen Modificada, que es la que oficialmente utiliza la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE).

En el marco enunciado, el presente trabajo de investigación se orientó a generar información sobre la fertilidad actual de los suelos de un experimento de pachaco (*Schizolobium parahybum*) y arabisco (*Jacaranda copaia*) a los ocho meses después de haber sido tratados con carbón vegetal (biocarbón), cal y nutrientes, mediante un método biológico frente a la evaluación química de laboratorio, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar biológicamente la fertilidad en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa en El Pangui, después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y arabisco, utilizando tomate como planta indicadora.

- Determinar en el laboratorio la disponibilidad de los elementos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn mediante extracción con Olsen Modificado, en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa en El Panguí, después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y arabisco.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y química de la fertilidad actual del suelo en los doce tratamientos del experimento instalado en El Panguí.
- Difundir los resultados obtenidos a los agricultores, estudiantes, técnicos y personas interesadas en la investigación.

La realización del trabajo se cumplió en las siguientes fases: 1.- muestreo de suelos del experimento de San Francisco, en septiembre de 2011; 2.- procesamiento de muestras de suelo, preparación de soluciones nutritivas e instalación del experimento de invernadero en la Estación Experimental La Argelia, septiembre a noviembre de 2011; 3.- registro de información en el experimento de invernadero, noviembre de 2011 a enero de 2012; análisis de laboratorio, enero de 2012 a febrero de 2013; análisis de resultados y redacción de la tesis, febrero de 2012 a julio de 2013.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO BIOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD**

El principio del método consiste en que las plantas testigo crecen en tal forma que su sistema de raíces se desarrollan parcialmente en el suelo y parcialmente en una solución nutritiva completa. Esto se logra cuando las plantas crecen en pequeñas macetas cilíndricas de 250 ml que contienen de 200 a 350 g de suelo, de acuerdo a la densidad aparente del suelo que se investiga. El fondo de la maceta cilíndrica se lo elimina y se reemplaza por gasa. 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 de 600 ml en la cual descansa la primera con ayuda de la misma tapa a la cual se la ha perforado en forma de un anillo.

Cuando la provisión de uno o más nutrientes en el suelo es baja las plantas testigo no sufrirán ninguna deficiencia en tanto en cuanto los nutrientes deficiente en el suelo se encuentren ampliamente presentes en la solución nutritiva. Sin embargo cuando uno de los elementos esenciales está ausente tanto en el suelo como en la solución nutritiva, la planta manifestará un crecimiento subóptimo.

Las plantas con semillas grandes frecuentemente contienen suficientes nutrientes para permitir el crecimiento después de la germinación durante un período de varias semanas, a veces antes de que la planta de semillero se vuelva dependiente totalmente en el aporte de nutrientes del suelo. Por esta razón las plantas de tomate con sus semillas pequeñas son seleccionadas frecuentemente en la demostración del experimento (Van Diest, 1983).

### **2.2. FERTILIDAD DEL SUELO**

La fertilidad se define como la capacidad del suelo para suministrar nutrientes en cantidades adecuadas para el crecimiento normal de las plantas (Bernal and Espinoza, 2008). La fertilidad del suelo está caracterizada por procesos físicos, químicos y biológicos que controlan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Havlin, 2005).

La fertilidad actual es la aptitud del suelo para producir en condiciones presentes de cultivo y se mide por el rendimiento actualmente obtenido. La fertilidad



potencial es la aptitud para producir en condiciones óptimas de nutrición como resultado de la acción del hombre sobre los factores modificables de la fertilidad, y se mide por el rendimiento máximo (Barioglo, 2006).

Las metodologías que se utilizan para el diagnóstico de problemas asociados con la nutrición de las plantas son las siguientes: síntomas visuales de deficiencias, análisis químico de tejidos vegetales, pruebas biológicas, pruebas de campo y análisis químico de suelos (Alvarado *et al.*, 2000).

### **2.3. ARENISCA CUARZOSA**

Son rocas sedimentarias detríticas con sedimentos compactados entre 2 y 0,06 mm (López, 2008). Compuesta de granos redondeados y de diferente tamaño de cuarzo cementados por la sílice. El color de esta roca suele ser blanco, algo gris o sucio, y a veces, a beneficio de los óxidos hidratados o anhídros de hierro que contiene, suele tomar una tinta amarillenta o rojiza. A veces la roca se hace sumamente compacta, de aspecto como vidrioso; fractura brillante y translúcida (Vilanova, s.f.).

Los suelos derivados de areniscas cuarzosas, o de granitos y gnois muscovíticas son generalmente de un color amarillo pálido, rojo pálido o rojo amarillento, y poseen una fertilidad muy baja (FAO, 1957).

### **2.4. ENMIENDAS CON CARBÓN VEGETAL Y LA DISPONIBILIDAD Y RETENCIÓN DE NUTRIENTES**

El carbón vegetal (biochar) se produce a partir de la transformación de distintos tipos de biomasa mediante la técnica denominada pirólisis, que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica bajo un aporte de oxígeno limitado (Ladygina y Rineau, 2013).

Tres son los mecanismos propuestos que tratan de explicar cómo el biochar permite aumentar la producción en cosechas: (i) por la modificación directa de la química del suelo debido a la composición del biochar, (ii) el biochar está formado por superficies químicamente activas que permiten modificar la dinámica de los nutrientes en el suelo o bien catalizan reacciones útiles para la obtención de un suelo fértil, (iii) modifica físicamente el suelo de manera que beneficia el crecimiento de las raíces y aumenta la retención de agua y nutrientes (Sohi *et al.*, 2009).

Las aplicaciones de carbón vegetal, las cuales inevitablemente conllevan la adición a la solución del suelo de cenizas que portan bases libres como K, Ca y Mg,

incrementan el pH del suelo y proveen de nutrientes fácilmente aprovechables para las plantas. La aplicación de menores cantidades al suelo, incrementarían significativamente, tanto la disponibilidad de los cationes básicos, como de N y P (Glaser *et al.*, 2002).

A partir de estos resultados se puede concluir que el carbón vegetal no solamente es un acondicionador del suelo que incrementa la CIC (Glaser *et al.*, 2001), sino que también actúa como fertilizante en sí mismo (Glaser *et al.*, 2002).

Las aplicaciones de carbón vegetal no solamente incrementan el contenido de nutrientes sino también la retención de estos. Ello es especialmente importante en los suelos altamente meteorizados, los mismos que tienen baja capacidad de retención iónica (Glaser *et al.*, 2002).

## **2.5. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO**

### **2.5.1. Reacción del Suelo**

El pH de una solución acuosa es definido como el logaritmo negativo de la actividad de iones  $H^+$  en la solución. Es considerada una “variable máster” que determina muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Bolan and Kandaswamy, 2005).

La reacción del suelo o pH está relacionada con la disponibilidad de los nutrientes y el crecimiento óptimo de las plantas (Ulery, 2005), la acidez o alcalinidad pueden inferir mucha información acerca de un suelo (Owens and Rutledge, 2005). Los suelos fuertemente ácidos usualmente tienen concentraciones altas y tóxicas de aluminio y manganeso solubles (Bolan and Kandaswamy, 2005).

La capacidad buffer de los suelos fuertemente ácidos (pH <5) es dominada por la química del aluminio (James, 2005).

### **2.5.2. Acidez**

La acidificación del suelo se evalúa a partir de la actividad de los iones  $H^+$  en la solución del suelo (Bolan *et al.*, 2005a). En suelos minerales la acidez intercambiable es generada por el  $Al^{3+}$  (Kamprath and Smyth, 2005). Una de las mayores consecuencias de la acidificación es la declinación de los cationes básicos como  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  dando lugar a la deficiencia potencial de estos cationes para el crecimiento de las plantas.

Tradicionalmente el encalado ha sido la práctica más común para aliviar la acidificación del suelo (Wienhold *et al.*, 2005). El propósito primario del encalado es superar los problemas químicos asociados con la acidez del suelo que incluye altas concentraciones de iones ácidos ( $H^+$  y  $Al^{3+}$ ) y elementos tóxicos ( $Mn^{2+}$ ), bajas concentraciones de cationes básicos (Ca y Mg) y otros nutrientes como el Mo y P (Adriano *et al.*, 2005; Bolan *et al.*, 2005a; Kamprath and Smyth, 2005; Karlen, 2005). Así también, los óxidos de hierro prevalecen lixiviados, en suelos ácidos de las zonas húmedas (Ulery, 2005). La neutralización de la acidez del suelo a  $pH \geq 5,6$  por el encalado reduce el  $Al^{3+}$  a menos del 10 % de la CIC y usualmente previene la toxicidad de Al (Havlin, 2005). El encalado hasta  $pH 5,6$  reduce el Al intercambiable esencialmente a cero (Kamprath and Smyth, 2005).

Bajo condiciones fuertemente ácidas, el  $Al^{3+}$  en la solución del suelo y en los sitios de intercambio catiónico hidroliza y genera acidez (Parker, 2005).

La actividad del  $Al^{3+}$  en los suelos es una consideración importante de los desde el punto de vista ambiental, porque el  $Al^{3+}$  es tóxico para varias especies de plantas, especialmente en los cultivos agrícolas y organismos acuáticos (Harsh, 2005).

### **2.5.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede ser definida como la cantidad total de carga negativa por unidad de masa de suelo o como la suma total de los cationes intercambiables neutralizando esta carga por unidad de masa. Esto es expresado en unidades de centimoles de la carga del catión por kilogramo ( $cmol_c kg^{-1}$ ) o miliequivalentes de carga por 100 gramos de suelo ( $mEq 100g^{-1}$ ) (McDonald *et al.*, 2005).

La carga negativa en suelos viene de arcillas cargadas negativamente o de los minerales de carga variable y de la materia orgánica del suelo. La carga permanente es una consecuencia de la sustitución isomórfica (ej.  $Al^{3+}$  por  $Si^{4+}$  o  $Mg^{2+}$  por  $Al^{3+}$ ) dentro del enrejado de las arcillas y resulta en carga negativa que es independiente de las propiedades de la solución del suelo (McDonald *et al.*, 2005).

La caolinita es una arcilla mineral 1:1 con baja CIC ( $1-10 cmol c kg^{-1}$ ), baja área superficial ( $20-50 m^2 g^{-1}$ ) y baja actividad coloidal (Shainberg and Levy, 2005). Estructuralmente la caolinita contiene  $Al^{3+}$  en los sitios octaédricos y  $Si^{4+}$  en los sitios tetraédricos (Kretzschmar, 2005; Schulze, 2005). Tiende a ser particularmente abundante en los suelos más meteorizados como los Ultisoles y Oxisoles (Schulze,

2005). Los suelos ácidos con baja CIC ( $<16 \text{ cmol}_c \text{ 100 g}^{-1}$  arcilla), se deben a la baja actividad de la arcilla y a la prevalencia de hidróxidos de hierro y aluminio que están dominando (Spaargaren and Deckers, 2005). La medición de CIC en estos suelos puede ocasionar errores muy frecuentes, dando valores altos debido al atrapamiento de sales, para suelos donde predominen arcillas dependientes del pH la CIC es sobreestimada, además al subir el pH del suelo, se generan cargas negativas que el suelo no posee a su pH original en el campo (Casanova, 2005).

Potencialmente el concepto de cambio catiónico en un suelo es un indicador de su fertilidad, aunque un valor alto no asegura la presencia de alta concentración de nutrientes, pues algunos sitios de cambio están ocupados por  $\text{H}^+$   $\text{Al}^{3+}$  o bien otros nutrientes no esenciales (Soriano, 2004).

## **2.6. NUTRIENTES EN EL SUELO PARA LAS PLANTAS**

### **2.6.1. Disponibilidad de Nutrientes**

#### **2.6.1.1. Nitrógeno**

En los suelos, el N está presente predominantemente en forma orgánica, y el N inorgánico es hecho disponible por la mineralización del N orgánico a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y subsecuentemente oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Hodge, 2005); (Havlin, 2005). Las formas primarias de nitrógeno del suelo tomadas por las plantas son amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Kafkafi and Kant, 2005; Kissel and Cabrera, 2005) y nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (Coyne and Frye, 2005; Havlin, 2005). Las plantas que están adaptadas a suelos ácidos o a bajo potencial redox tienen preferencia por el  $\text{NH}_4^+$ , mientras que las plantas adaptadas a pHs altos prefieren el  $\text{NO}_3^-$  (Sherer, 2005). Algunas plantas como los miembros de la familia Ericaceae prefieren tomar  $\text{NH}_4^+$  en lugar de  $\text{NO}_3^-$ , estas plantas crecen generalmente en suelos ácidos, donde la nitrificación del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  es inhibido y el  $\text{NH}_4^+$  es acumulado (Hodge, 2005). El nitrato es la principal forma de nitrógeno que es tomado por las plantas. El nitrato es un ion extremadamente soluble en agua y susceptible a lixiviarse (Francis, 2005; Powlson and Addiscott, 2005).

En la solución del suelo las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  son generalmente más bajas que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  por la rápida transformación a  $\text{NO}_3^-$  o porque el amonio está sólidamente retenido en las partículas cargadas negativamente como

materiales orgánicos y arcillas, y por lo tanto no está disponible para la absorción por la planta (Hodge, 2005). La urea es un fertilizante con alto contenido de N; sin embargo, es necesario tener en cuenta el alto potencial de volatilización del material cuando no se usa adecuadamente (Bernal and Espinoza, 2008).

#### **2.6.1.2. Fósforo**

En la solución del suelo, el P está presente como anión ortofosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) o divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), la forma depende del pH del suelo (Wood *et al.*, 2005); el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es la forma dominante a pH 2,2-7,2 y el  $\text{HPO}_4^{2-}$  es la forma que domina a pH 7,2-14,4 (Mullen, 2005).

El fósforo está generalmente más disponible para la planta a pH cercano a la neutralidad y en suelos no dominados por alúmina, óxidos de hierro o aluminio o carbonato de calcio (Ulery, 2005), el fósforo es más disponible en pH 6 y pH 7 (PPI, 1997). En los suelos de los trópicos húmedos que se caracterizan por ser desaturados y ácidos, los niveles de fósforo son generalmente muy bajos (Valarezo, 2004). La disponibilidad del P del suelo ha sido incrementada por el encalado. En suelos ácidos el  $\text{Al}^{3+}$  en la superficie de la raíz precipita P y disminuye la cantidad de P transportado a la parte superior de la planta. La eliminación de  $\text{Al}^{3+}$  de la solución del suelo por encalado impide que esto suceda (Kamprath and Smyth, 2005).

Cuando un fertilizante fosforado (inorgánico u orgánico) es añadido al suelo, el P en el suelo aumenta debido a la disolución de P inorgánico o mineralización del P orgánico (Sims and Vadas, 2005).

Las mayores causas de pérdida del P del suelo son la escorrentía superficial y la erosión del suelo, aunque el P también puede ser transportado por el flujo de agua en el subsuelo a las corrientes cercanas, especialmente si el drenaje artificial está presente. Como la lluvia o el agua de riego interactúa con la superficie del suelo, el P desorbe o se disuelve a partir de las partículas del suelo, residuos de cultivos, fertilizantes o estiércol (Sims and Vadas, 2005).

La velocidad de liberación es tan lento que los suelos con altos contenidos de hierro y aluminio tienden a absorber el fosfato aplicado como fertilizante y decrece la disponibilidad para las plantas (Buol, 2005).

### **2.6.1.3. Potasio**

El potasio es absorbido en forma de  $K^+$ . A bajo pH la absorción del K puede ser reducida por toxicidad del Al (Havlin 2005). Con el incremento de la acidez decrece la CIC, reduciendo la habilidad del suelo de retener K (Bolan *et al.*, 2005a).

El potasio es adecuado en la mayoría de los suelos agrícolas y no es fácilmente lixiviado (Francis, 2005), por otro lado, se menciona que la pérdida de K por lixiviación es preocupación mayor en condiciones de intensa y frecuente precipitación en suelos bien drenados en los trópicos (INSTITUTE, 1997). Habrá menos lixiviación de  $K^+$  si el  $Ca^{++}$  en lugar del hidrógeno o del aluminio es el ion complementario dominante en sitios de intercambio del coloide-suelo (Wood *et al.*, 2005). Si el pH incrementa la saturación de bases incrementa, así la cantidad de Ca, Mg y K incrementa (Wood *et al.*, 2005).

### **2.6.1.4. Calcio**

Las plantas absorben el calcio como su respectivo catión  $Ca^{2+}$ . El contenido de calcio de los suelos depende del tipo de material parental y el grado de descomposición (Bolan *et al.*, 2005b). Con la lixiviación progresiva, muchos suelos del trópico húmedo se ven desprovistos de calcio aprovechable.

El propósito de la aplicación de cal al suelo (encalado) es primeramente neutralizar el  $Al^{3+}$ , lo cual normalmente se logra elevando el pH del suelo hasta 5,5 (Valarezo, 2004).

### **2.6.1.5. Magnesio**

El magnesio es absorbido por las plantas en forma de  $Mg^{2+}$ . Por sus características, la absorción del  $Mg^{2+}$  puede ser fuertemente afectada por la disponibilidad de  $K^+$ ,  $NH^{4+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  (Ribeiro and Roque, 2007).

Al igual que en el Ca, la disponibilidad del Mg está frecuentemente relacionada con el pH del suelo (Wood *et al.*, 2005). Es pertinente señalar que un exceso de potasio puede causar deficiencias de magnesio (Valarezo, 2004).

Los síntomas de deficiencia ocurren primero en los tejidos viejos, dependiendo puede ser un amarillamiento intervenal o clorosis, en casos severos se convierten en necrótico. El magnesio es el componente central de la clorofila y actúa como cofactor en muchas enzimas (Wood *et al.*, 2005).

#### **2.6.1.6. Azufre**

El azufre es absorbido principalmente como  $\text{SO}_4^{2-}$ , es considerado no móvil y es solamente traslocado en el xilema. Los síntomas de deficiencia son frecuentemente una clorosis general en las hojas jóvenes. El azufre es un componente de muchas proteínas (Wood *et al.*, 2005).

Las pérdidas de lixiviación de  $\text{SO}_4^{2-}$  son mayores cuando los iones monovalentes como el  $\text{K}^+$  predominan; en orden siguiente están los iones divalentes como el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , y las pérdidas son mínimas cuando los suelos son ácidos y están presentes apreciables concentraciones de óxidos hidróxidos de Fe y Al.

La caolinita retiene más sulfato que la montmorillonita. La adsorción de los sulfatos en suelos es favorecida por condiciones ácidas fuertes. Se vuelve casi insignificante en  $\text{pH} > 6$ . Los iones sulfatos adsorbidos pueden ser remplazados por otros aniones de mayor penetración como el  $\text{PO}_4^{3-}$ , esto ha sido demostrado por el desplazamiento del  $\text{SO}_4^{2-}$  de la superficie de los suelos por la aplicación de fertilizantes fosfatados (Tabatabai, 2005b). La naturaleza química de la materia orgánica en los suelos es importante, porque es un reservorio que da  $\text{SO}_4^{2-}$  para las plantas (Tabatabai, 2005a).

#### **2.6.1.7. Hierro**

La forma divalente del hierro es más soluble que la forma trivalente y es la forma que las plantas absorben (Shuman, 2005). El hierro está presente en el suelo en cantidades abundantes, en suelos aeróbicos esta concentración en la solución del suelo es extremadamente baja y decrece con el incremento del pH. La clorosis es un síntoma espectacular de la deficiencia de Fe, la deficiencia de Fe causa una disturbancia de la formación de los tilacoides en los cloroplastos y así afecta la actividad fotosintética (Mengel and Kosegarten, 2005). Los suelos calcáreos; suelos con alto P, Mn, Cu, Zn, o Mo; y una alta tasa de encalado pueden reducir la disponibilidad de Fe (Fageria and Baligar, 2005; Havlin, 2005). Las deficiencias más frecuentes se observan en pHs altos ( $> 7,2$ ), en suelos calcáreos y regiones áridas (Havlin, 2005).

#### **2.6.1.8. Manganeso**

El Mn es absorbido por las plantas como  $\text{Mn}^{2+}$ . Las deficiencias ocurren en suelos orgánicos, calcáreos y arenosos ácidos con drenaje pobre (Shuman, 2005).

Los suelos ácidos con altos contenidos de óxidos de Fe y Al frecuentemente contienen grandes cantidades de Mn soluble. El encalado en suelos ácidos a pH 5,6 y arriba de este valor elimina la toxicidad de Mn en estos suelos convirtiendo el  $Mn^{2+}$  soluble a óxidos relativamente insolubles  $Mn_2O_2$  y  $MnO_2$  (Kamprath and Smyth, 2005). Los cationes divalentes  $Mn^{2+}$  y  $Fe^{2+}$  se oxidan e hidrolizan, y se precipitan casi exclusivamente en forma de óxidos minerales (Scheinost, 2005). Excesivos niveles de Mn en los suelos interfiere con la absorción de otros nutrientes minerales como el  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$  (Qadir *et al.*, 2005).

#### **2.6.1.9. Boro**

El boro y el molibdeno se encuentran en combinación con el oxígeno en la naturaleza. El B está presente en la solución del suelo y en las plantas como ácido bórico ( $B(OH)_3$ ). Las condiciones de sequía en el suelo incrementan la deficiencia de B en muchos cultivos, la deficiencia de B restringe el crecimiento radicular, teniendo más efectos severos que cualquiera de los otros micronutrientes. Niveles de pH altos significan mayor adsorción sobre arcillas del suelo y óxidos, así el encalado puede tener un gran efecto en la disponibilidad del B. A valores de pH bajos el ácido bórico sin carga no es fácilmente adsorbido (Shuman, 2005). Suelos arenosos; suelos lixiviados naturalmente ácidos y suelos alcalinos con cal libre inducen deficiencia de B (Fageria and Baligar, 2005). En los suelos ácidos, de texturas livianas, el boro se pierde por percolación profunda (Kass, 2001). Las condiciones de alta pluviosidad y alto grado de pérdidas por mineralización reducen la disponibilidad (Aparecida *et al.*, 2007). La mineralización de la materia orgánica constituye una fuente importante de B para las plantas (Ribeiro and Roque, 2007).

#### **2.6.1.10. Zinc**

El  $Zn^{2+}$  es absorbido por las plantas en forma divalente. Las concentraciones de Zn en la solución del suelo son usualmente bajas en suelos calcáreos, pero altas en suelos ácidos. El zinc actúa con el macronutriente P, una alta disponibilidad de P puede causar una deficiencia de Zn. Los cationes divalentes como como el  $Mg^{2+}$  y el  $Ca^{2+}$  pueden también interferir con la absorción de  $Zn^{2+}$  por competición. Como para muchos elementos, el Zn es más encontrado en altas concentraciones en la capa superior del suelo que en el subsuelo (Shuman, 2005). En suelos ácidos (pH bajo), se puede inducir deficiencia de Zn mediante la aplicación de cantidades altas de cal (IPNI, 2010).



Deficiencias de Zn pueden presentarse en suelos con una alta disponibilidad de P. Varios cultivos han demostrado ser susceptibles al efecto de la interacción Zn-P. Altos niveles de Zn o de P pueden reducir la absorción del otro. El aplicar P en un suelo con niveles adecuados de Zn no produce deficiencia de Zn (INSTITUTE, 1997).

#### **2.6.1.11.Cobre**

El cobre es absorbido por las plantas como ion divalente  $\text{Cu}^{2+}$  (Shuman, 2005) y como Cu-quelato (Ribeiro and Roque, 2007). El cobre está fuertemente asociado con óxidos de Fe y Al conforme a estudios de adsorción y fraccionamiento. Las plantas pueden desarrollar síntomas de toxicidad de Cu cuando crecen en suelos ácidos menores que 6,5 (Shuman, 2005). Suelos ácidos altamente lixiviados, suelos calcáreos y altos niveles de Ca, Mg y P inducen deficiencia de Cu (Fageria and Baligar, 2005). Las deficiencias de Cu ocurren principalmente en plantas cultivadas en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa. Mas, las plantas raramente presentan deficiencias de Cu, ya que este elemento se encuentra disponible en casi todos los suelos (Ribeiro and Roque, 2007).

#### **2.6.1.12.Molibdeno**

El molibdeno es adsorbido como ion molibdato  $\text{MoO}_4^{2-}$ . Suelos con alto contenido de materia orgánica, alcalinos y con drenaje pobre son altos en disponibilidad de Mo, si el pH del suelo aumenta la disponibilidad de Mo en la planta también incrementa (Shuman, 2005).

## 2.6.2. Funciones de los Nutrientes Esenciales

**Cuadro 1.** Formas de absorción y funciones de los nutrientes esenciales en plantas (Fageria and Baligar, 2005).

Nutriente	Formas absorbidas por las plantas	Funciones
Carbono	CO <sub>2</sub>	Componente molecular básico de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos
Hidrógeno	H <sub>2</sub> O	Hidrógeno juega un rol central en el metabolismo de la planta. Importante en el metabolismo iónico y como principal agente reductor; juega un rol clave en las relaciones de energía de las células
Oxígeno	H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub>	El oxígeno es como el carbono, está en casi todos los compuestos orgánicos de los organismos vivos
Nitrógeno	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	El N es un componente de muchos compuestos orgánicos importantes desde las proteínas a los ácidos nucleicos
Fósforo	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Tiene un rol central en la transferencia de energía en las plantas y en el metabolismo de las proteínas
Potasio	K <sup>+</sup>	Ayuda en la relación osmótica y iónica. Funciona como un cofactor o activador de muchas enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	El Ca está envuelto en la división celular y juega el mayor rol en el mantenimiento de la integridad de la membrana
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	Componente de la clorofila y un cofactor para muchas reacciones enzimáticas
Azufre	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	El azufre es como el P, está envuelto en las reacciones energéticas de las células de la planta
Hierro	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Componente esencial de muchas portadoras y enzimas de Fe heme y no heme
Zinc	Zn <sup>2+</sup>	Componente esencial de varias deshidrogenasas, proteínasas y peptidasas, incluyendo anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, deshidrogenasa glutámica, y deshidrogenasa málica
Manganeso	Mn <sup>2+</sup>	Envuelto en el sistema de evolución del oxígeno de la fotosíntesis; es un componente de las enzimas arginasa y fosfotransferasa
Cobre	Cu <sup>2+</sup>	Constituyente de un número de importantes enzimas oxidasas, incluyendo la oxidasa citocroma, oxidasa del ácido ascórbico y lactasa, es importante en la fotosíntesis y en el metabolismo de los carbohidratos y proteínas
Boro	B(OH) <sub>3</sub> <sup>0</sup>	Activa ciertas enzimas deshidrogenasa, envuelto en el metabolismo de los carbohidratos, síntesis de los componentes de la pared celular; es esencial para la división celular y desarrollo
Molibdeno	Mo	Componente esencial de la nitrato reductasa y enzimas de fijación de N <sub>2</sub> ; es requerido para la normal asimilación del N
Cloro	Cl	Esencial para a fotosíntesis y activador de enzimas, involucrado en la separación de agua, y funciona en la osmoregulación del crecimiento de las plantas en suelos salinos

### 2.6.3. Síntomas de Deficiencia de los Nutrientes Disponibles

Algunos nutrientes son relativamente inmóviles en las plantas mientras otros son más móviles. Los nutrientes inmóviles son Ca, Fe, Mn, B, Zn, Cu y Mo; los nutrientes móviles N, P, K y Mg. El S puede comportarse como un nutriente móvil o inmóvil. En general la deficiencia de los síntomas causados por nutrientes inmóviles primero aparece en las hojas más jóvenes o superiores. Las hojas más viejas no muestran algún síntoma porque los nutrientes inmóviles no se mueven o traslocan de las hojas viejas a las más nuevas. En contraste, cuando hay una deficiencia de un nutriente móvil, los síntomas aparecen en las hojas más viejas de la planta (Fageria and Baligar, 2005).

**Cuadro 2.** Síntomas de deficiencia de los nutrientes esenciales en plantas (Fageria and Baligar, 2005).

<b>Nutriente</b>	<b>Síntomas</b>
Nitrógeno	Clorosis empieza en hojas viejas; en los cereales el macollaje es reducido; bajo condiciones de campo si la deficiencia es severa; en la cosecha entera aparece amarillamiento y el crecimiento es detenido
Fósforo	Crecimiento detenido; las hojas más viejas de color naranja -púrpura; las hojas nuevas de color verde oscuro, en cereales el macollaje es drásticamente reducido
Potasio	Las hojas más viejas pueden mostrar manchas o quemaduras marginales a partir de los ápices; incrementando la susceptibilidad a enfermedades, sequía y daños por frío
Calcio	Las hojas nuevas se hacen blancas; los puntos de crecimiento mueren y se encrespan
Magnesio	Clorosis marginal o intervenal con el color rosado de las hojas más viejas; a veces, como efecto de la sequía se presenta enrollamiento de la; plantas susceptibles daños por el invierno
Azufre	Clorosis en las hojas jóvenes; bajo severa deficiencia las plantas se convierten en cloróticas y similar apariencia en la deficiencia de N
Zinc	Clorosis en las hojas completamente maduras; el tamaño de las hojas es reducido
Hierro	Clorosis intervenal de hojas jóvenes, bajo severa deficiencia la hoja entera se convierte primero en amarilla y finalmente blanca
Manganeso	Similar a la deficiencia de hierro; desarrolla necrosis en etapa avanzada, en lugar del color de blanco
Cobre	Clorosis de las hojas jóvenes, enrollamiento y muerte repentina
Molibdeno	Apariencia moteado pálida en las hojas jóvenes; blanqueo y secamiento de las hojas
Boro	Ápices verde pálidos de las hojas, con bronceado; muerte de las plantas en crecimiento

## **2.7. SOLUCIONES EXTRACTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES**

Los extractantes usados y las interpretaciones de resultados frecuentemente varían en dependencia de las propiedades del suelo y el propósito del análisis del suelo (por ejemplo, medida de la concentración total, soluble, o la disponibilidad en la planta) (Mallarino, 2005).

Los métodos desarrollados para la determinación de nitrógeno inorgánico y N orgánico son muchos, mas no consiguen amplia aceptación y adopción en los laboratorios en virtud de la pequeña correlación con la disponibilidad de N en condiciones de campo (Cantarella, 2007).

En un estudio para verificar la disponibilidad de nutrientes en vertisoles de Costa Rica se concluye que de las soluciones evaluadas, Olsen Modificado y Bray 2 prometen ser las más importantes a considerar en estudios posteriores de correlación en invernadero o campo para este grupo de suelos. Se explica que es necesario conocer las formas predominantes de fosfatos en el suelo, que podría reflejar mejor el P disponible en determinado grupo de suelos (Vargas *et al.*, 1992).

El uso de los cuatro métodos más comunes para determinar fósforo Bray and Kurtz P-1, Mehlich 1, Mehlich 3 y Olsen P están bien establecidos en la práctica en los Estados Unidos (EUA). La técnica de Bray y Kurtz P-1 son extractantes ácidos usados en el medio oeste y norte centro de EUA para suelos ácidos y neutros. El Mehlich 1 y Mehlich 3 son extractantes ácidos, El Mehlich 1 usado en el sudeste y estados del Atlántico medio para suelos ácidos y Mehlich 3 usado a lo largo de EUA y Canadá para suelos ácidos y básicos. El Olsen P (o bicarbonato de sodio) es un extractante usado en el centro norte y este de EUA para suelos calcáreos (Sims and Vadas, 2005). El extractante Mehlich 3 P fue desarrollado más recientemente, éste ha sido adaptado ya que es adecuado para una gama más amplia de propiedades del suelo que otras pruebas y también para otros nutrientes como K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn (Mallarino, 2005).

Los métodos más probados de zinc son: HCl, Mehlich-1, EDTA y DTPA 7,3. En años pasados, la solución complejante EDTA era más empleada en la extracción de Zn y, actualmente, está en desuso (Aparecida *et al.*, 2007).

En una investigación en el Brasil se evaluó la eficiencia del extractor DTPA en la predicción de la disponibilidad de Cu en suelo cultivado con arroz inundado. El contenido de Cu extraído por el DTPA presentó correlación altamente significativa con: Cu-DTPA con el contenido de Cu del arroz ( $r = 0,91$ ) y Cu-DTPA de la materia seca del

arroz ( $r = 0,92$ ), principalmente (Bertoni *et al.*, 2000). Se han observado correlaciones elevadas entre el contenido del Cu del maíz y aquel extraído por DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 y AB- DTPA, cuyos valores de correlación variaron de 0,64 (Mehlich-1) a 0,71 (Mehlich-3) (Cancela *et al.*, 2001).

En la determinación del Mn, se estableció la extracción con  $\text{CaCl}_2$  como uno de los métodos que mejor estimaron el manganeso cuando existieron cambios en la disponibilidad de ese elemento derivados de la acidez del suelo (Abreu *et al.*, 1994).

Respecto al hierro, en suelos de la Amazonía brasileña se verificó que las mejores correlaciones obtenidas entre el contenido de hierro en la materia seca del arroz y el contenido de este elemento extraído por la solución de Mehlich-3 ( $r = 0,62$ ), seguido por el DTPA ( $r = 0,51$ ) y por Mehlich-1 ( $r = 0,44$ ) (Rodrigues *et al.*, 2001).

## **2.8. LA RED DE LABORATORIOS DE SUELOS DEL ECUADOR (RELEASE)**

La Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador inició sus actividades el 21 de febrero del 2001 como parte de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (Carrera, 2008), participando cada dos años en los Congresos de la Ciencia del Suelo con Simposios de Laboratorio (Carrera *et al.*, 2010). Los primeros años se realizaron intercomparaciones en matrices de suelos, para luego incrementar la matriz foliar (Aucatoma, 2012).

Los objetivos de la RELEASE son: 1. Mejorar la calidad analítica de los resultados de los laboratorios de análisis químico de suelos y plantas, evaluando la exactitud de las mediciones analíticas, haciendo uso de materiales de referencia certificados. 2. Realizar intercomparaciones de suelos y plantas, cruzando muestras control dos veces al año entre los laboratorios participantes (Carrera, 2008)

Las comparaciones de suelos han sido, por lo general, las que presentan más problemas, esto debido a la complejidad de la matriz; además, que se trata de determinar el contenido disponible para la planta, por lo que al utilizar diferentes sistemas de agitación, equipos de cuantificación, calidad de material y reactivos, etc. provocan diferencias de los resultados entre laboratorios. De tres intercomparaciones realizadas entre el 2011 y 2012 en la matriz de suelos se determinó que existían entre un 40 a 50% de parámetros no normalizados.

Los parámetros, los métodos de extracción y cuantificación que utilizan estos laboratorios están descritos en el Cuadro 3. Estos varían de acuerdo a las necesidades y

posibilidades de cada laboratorio y a las innovaciones tecnológicas que permiten utilizar nuevo instrumental para la cuantificación de los analitos (Aucatoma, 2012).

**Cuadro 3.** Metodologías de análisis utilizadas en la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELASE) (Aucatoma, 2012).

<b>Matriz</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Cuantificación</b>
Suelo	pH	Agua (1 : 2.5)	Potenciométrico
Suelo	Fósforo	Olsen Modificado	Colorimétrica
Suelo	Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc	Olsen Modificado	Absorción Atómica
Suelo	Materia Orgánica	Walkley Black	Volumetría/Colorimetría
Plantas	Nitrógeno	Micro Kjeldhal	Volumetría
Plantas	Fósforo	Digestión Húmeda	Colorimetría
Plantas	Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, manganeso y Zinc	Digestión Húmeda	Absorción Atómica/ ICP

Respecto a la solución extractante *Olsen Modificada*, se señala que el objetivo de la solución extractora es remover solamente ciertas formas de nutrientes de interés para la predicción de disponibilidad de los elementos.

La muestra se extrae con una solución de bicarbonato de sodio a pH 8,5. Este método es adecuado para suelos calcáreos, alcalinos o neutros que contienen fosfatos de calcio en solución disminuida por precipitación de  $\text{CaCO}_3$  como resultado la concentración de fósforo puede aumentar. El procedimiento también puede ser aplicado a suelos ácidos porque el carbonato transformado disminuye la solubilidad de Al y Fe y así aumenta la concentración de fosfato.

El procedimiento de preparación es como sigue:

- a. Disolver 420 g de  $\text{NaHCO}_3$  en agua destilada.
- b. Disolver 37,2 g de EDTA en agua destilada.
- c. Disolver 1 g de superfloc 127 en 200 a 400 ml con agua destilada.
- d. Mezclar las tres soluciones y llevar a un volumen de 10 litros con agua destilada.
- e. Llevar la solución a pH 8,5 con NaOH 10 N (Alvarado *et al.*, 2000).

## 2.9. TRABAJOS RELACIONADOS

- Guayllas (1988), en la Universidad Nacional de Loja, evaluó el estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarín, del cantón Saraguro mediante un método biológico; empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum*) y trigo (*Triticum vulgare*). Los resultados indicaron que el N y P fueron los elementos deficientes. En Cañicapac y Ñamarín, 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 Ñamarín se logró alturas de 32 cm, 31,3 cm y 28,4 cm, para las soluciones - Zn, Solución Completa y -Mg, respectivamente. El promedio más alto de materia seca correspondió a los tratamientos: Solución Completa y -Zn en Ñamarín y Cañicapac. Los menores valores de materia seca se obtuvo en los tratamientos -P y -N.
- Burneo (2012), evaluó la fertilidad de un suelo de Panguintza, del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes. El P, N y B resultaron ser los elementos deficientes en los suelos de todos los tratamientos del experimento de campo (inclusive en aquellos que se aplicó N y P), con una proporción de hasta 36/1, 200/1 y 203/1 para los valores de biomasa seca entre la solución completa y las soluciones carentes de N, P y B, en su orden; lo cual no es el caso para el Fe, Cu y Mn; mientras que los demás elementos se encuentran en un rango intermedio. Además determinó que la correlación biomasa seca y los correspondientes contenidos de los nutrientes extraídos con la solución de Olsen Modificada (que oficialmente se utiliza en los laboratorios de suelos del país) es muy baja y hasta negativa, excepto para el K y Mg ( $r = 0,68$  y  $0,56$  respectivamente).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO SAN FRANCISCO ALTO

El experimento de San Francisco Alto del macroproyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonía Ecuatoriana” que fue instalado el 10 de enero de 2011, se encuentra ubicado políticamente en el barrio San Francisco de la parroquia y cantón El Pangui, en la provincia de Zamora Chinchipe.

El diseño experimental consiste 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 (pachaco y arabisco); dos niveles de la combinación de cal y fertilización (sin y con); y tres niveles de carbón vegetal (0,0; 3,0 y 6,0 t/ha).

**Cuadro 4.** Tratamientos, factores y niveles del experimento San Francisco, 2013.

Tratamientos	Factores	Niveles
T1 = A1F1C1 T2 = A1F1C2 T3 = A1F1C3 T4 = A1F2C1 T5 = A1F2C2 T6 = A1F2C3 T7 = A2F1C1 T8 = A2F1C2 T9 = A2F1C3 T10 = A2F2C1 T11 = A2F2C2 T12 = A2F2C3	Especie arbórea	A1. Pachaco, <i>Schizolobium parahybum</i> A2. Arabisco, <i>Jacaranda copaia</i>
	Fertilización	F1. 0 t cal/ha + 0 kg de nutrientes/ha F2. N: 200 kg/ha (Úrea y Fosfato diamónico), P: 150 kg/ha (Fosfato diamónico), K: 200 kg/ha (Sulpomag), Mg: 118 kg/ha (Sulpomag), S: 184 kg/ha (Sulpomag) y Zn: 40 kg/ha (Sulfato de zinc); además, se utilizó 5 t/ha de cal agrícola comercial al 95% de pureza como fuente de carbonato de calcio. Las dosis se determinaron luego de disponer de los análisis de suelos de los sitios experimentales.
	Carbón Vegetal	C1. 0 t carbón vegetal/ha C2. 3,0 t carbón vegetal/ha C3. 6,0 t carbón vegetal/ha

Consecuentemente, cada bloque está formado por dos parcelas grandes para el factor especies arbóreas. A su vez, éstas se dividen en dos sub parcelas para los dos niveles de la combinación de cal y fertilización mineral. Las sub-sub parcelas corresponden a los tres niveles de 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 en cuadro a 3 x 3 m.



La geomorfología, origen y taxonomía del terreno es como sigue: el paisaje está representado por ondulaciones y colinas bajas del corredor fluvial Zamora – Nangaritza; el tipo de relieve como lomo de ondulación en coluvión, lomo de ondulación y vertiente ligeramente inclinada; la forma del terreno es mayormente una pendiente convexa.

El material parental está dado por areniscas cuarzosas de la formación Hollín.

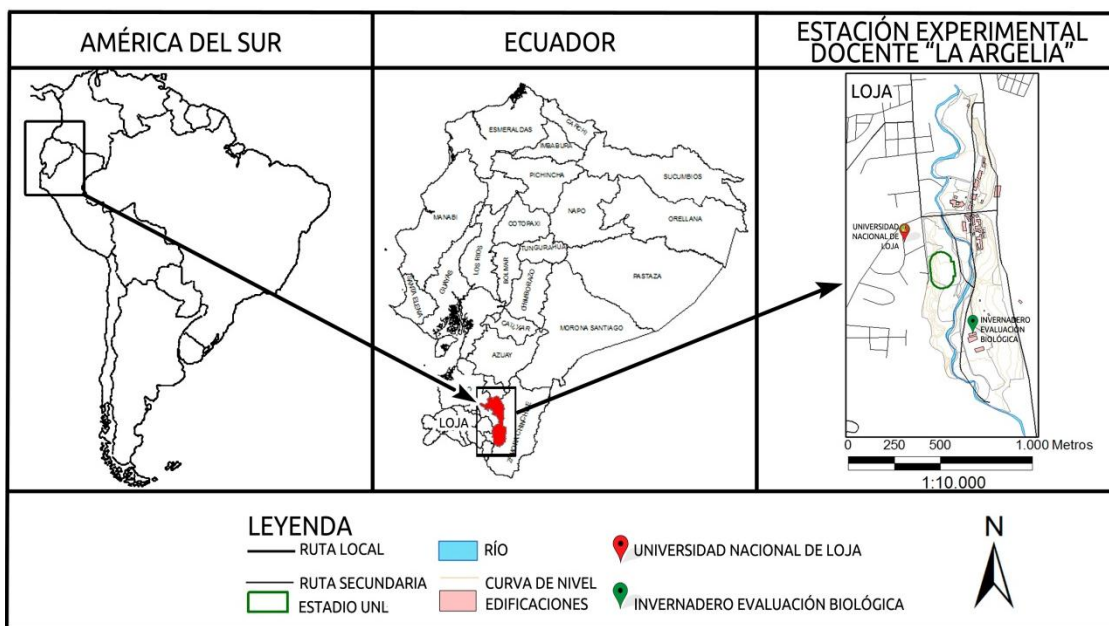
La clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): Kandudults

A continuación se hace la descripción de un perfil de suelo, perteneciente al Bloque 1 del experimento, tomado como referencia en la finca del señor Manuel Merino en San Francisco Alto, cantón El Pangui:

Suelo conformado por una delgada capa orgánica de 5 cm de espesor y cinco horizontes minerales: un horizonte superior Ap, de 14 cm de espesor, pardo grisáceo muy oscuro, franco arcillo limoso al tacto, con menos de 1 % de fragmentos rocosos redondeados de menos de 5 cm de diámetro; un horizonte AB de 15 cm de espesor, Gris pardo claro (70 %) y pardo grisáceo (30 %), con manchas de 2 a 20 % amarillo parduzco; un horizontes Bt de 21 cm de espesor, Gris claro en húmedo, con 20 % de manchas amarillo parduzco; arcillo limoso al tacto; un horizonte BC, de 32 cm de espesor, pardo muy pálido en húmedo, 20 % de manchas amarillo parduzco; y, un horizonte C de 10 cm de espesor, blanco en húmedo, con 20 % de manchas amarillo parduzco. Al momento de la descripción el perfil contenía agua desde los 30 cm de profundidad. Se evidencia hidromorfismo a partir de 14 cm de profundidad. Las raíces se extienden hasta 29 cm de profundidad (límite inferior del horizonte AB), siendo muy abundantes en el horizonte O y abundantes en el Ap. En el último horizonte se incrementa el contenido de arena (Valarezo *et al.*, 2010b).

### 3.2. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA

El experimento de evaluación biológica se estableció bajo un invernadero del sitio Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja. Políticamente el lugar está situado en el barrio La Argelia, parroquia San Sebastián, del cantón y provincia de Loja.



**Figura 1.** Localización del experimento de evaluación biológica del suelo de San Francisco tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, 2013.

Geográficamente, la zona se ubica en las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud: 04° 01' 47" Sur
- Longitud: 79° 11' 40 " Oeste
- Altitud: 2 125 msnm

### 3.3. MATERIALES

- Sales nutritivas
- 528 vasos cilíndricos de plástico de 250 ml sin su base, a los cuales se les colocó tela nylon en el fondo.
- 528 macetas (tarrinas), de plástico de 700 ml de capacidad
- Barreno
- GPS
- Pipetas de 5 y 10 ml

- Probetas 500 y 1 000 ml
- Balanza precisión
- Estufa
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Libreta de registro

### 3.4. METODOLOGÍA

#### 3.4.1. Evaluación Biológica

##### 3.4.1.1. Diseño experimental

Se trabajó con un esquema bifactorial en bloques al azar con cuatro réplicas y 132 tratamientos. Los tratamientos se dieron por la combinación de los dos factores en estudio: doce tratamientos de suelo por las doce soluciones nutritivas.

**Cuadro 5.** Factores de estudio dentro del diseño factorial del experimento San Francisco, 2013.

<b>Tratamientos de suelo (A)</b>	<b>Soluciones nutritivas (B)</b>
T1 = A1F1C1	Solución nutritiva completa
T2 = A1F1C2	Solución nutritiva - N
T3 = A1F1C3	Solución nutritiva - P
T4 = A1F2C1	Solución nutritiva - K
T5 = A1F2C2	Solución nutritiva - Mg
T6 = A1F2C3	Solución nutritiva - S
T7 = A2F1C1	Solución nutritiva - Fe
T8 = A2F1C2	Solución nutritiva - Mn
T9 = A2F1C3	Solución nutritiva - B
T10 = A2F2C1	Solución nutritiva - Zn
T11 = A2F2C2	Solución nutritiva - Cu
T12 = A2F2C3	

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + p_k \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Observación en la unidad experimental sujeta al i-ésimo nivel del factor suelos muestreados, j-ésimo nivel del factor de soluciones nutritivas y k-ésima réplica.

- $\mu$  = la gran media.  
 $\alpha_i$  = es el efecto del i-ésimo nivel del factor A.  
 $\beta_j$  = es el efecto del j-ésimo nivel del factor B.  
 $(\alpha\beta)_{ij}$  = es la interacción, o efecto conjunto, del i-ésimo nivel del factor A y del j-ésimo nivel del factor B.  
 $p_k$  = es el efecto de la k-ésima réplica.  
 $\varepsilon_{ijk}$  = efecto del error experimental.

El modelo de análisis de varianza fue:

**Cuadro 6.** Esquema del análisis de varianza para el diseño bifactorial, 2013.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Relación F</b>
Réplicas	r-1	SCr	CMr	CMr/CMe
Tratamientos	t-1	SCt	CMt	CMt/CMe
Factor A	a-1	SCA	CMA	CMA/CMe
Factor B	b-1	SCB	CMB	CMB/CMe
Interacción AB	(a-1)(b-1)	SCAB	CMAB	CMAB/CMe
Error experimental	(n-1)- [(t-1)+(r-1)]	SCe	CMe	
Total	n-1	SCT		

Las especificaciones técnicas del diseño experimental fueron:

- Número de réplicas o bloques: 4
- Número de tratamientos por bloque: 132
- Número de plantas por bloque: 132
- Número total de unidades experimentales: 528
- Número total de plantas evaluadas: 528
- Área total del ensayo: 25 m<sup>2</sup>
- Área útil del ensayo: 9,6 m<sup>2</sup>

Se evaluaron las siguientes variables:

- Altura de la planta indicadora (tomate)
- Peso de materia seca del tomate
- Síntomas visuales por efecto del elemento faltante en las soluciones nutritivas

### 3.4.1.2. Muestreo de suelos

En el experimento de San Francisco Alto se tomó 1 kg de suelo por planta hasta 25 cm de profundidad (pesando con balanza) y a 60 cm del eje del árbol; se muestrearon 4 plantas por tratamiento y por bloque, dando un total de 16 kg de suelo por tratamiento. Se separó los 4 kg de suelo de cada tratamiento dentro de cada bloque en fundas plásticas con su etiqueta, luego se homogeneizó y se transportó en sacos identificados con su respectiva etiqueta.

### 3.4.1.3. Preparación de soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas que se prepararon fueron las siguientes: solución nutritiva completa (SC), - N, -P, -K,-Mg, -S, -Fe, -Mn, -B, -Cu y -Zn. Éstas se prepararon a partir de soluciones madres (soluciones stock), que fueron diluidas apropiadamente. Las soluciones stock tuvieron una concentración de 1000 meq/l (o sea 1N), los cuadros siguientes muestran las cantidades de sales para preparar las soluciones stock

**Cuadro 7.** Tipos de sales y cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N, 2013.

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

**Cuadro 8.** Concentración de la solución nutritiva y cantidades de sales expresadas en gramos para la preparación de un litro de la segunda solución madre de micronutrientes, 2013.

Concentración de la solución nutritiva		Cantidades para un litro de sol 1N	
Micronutrientes	Cantidades	Sales	Cantidades
Fe	5,00 ppm	NaFe-EDTA	32,75 g
Mn	0,50 ppm	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,81 g
B	0,50 ppm	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86 g
Zn	0,05 ppm	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,22 g
Cu	0,04 ppm	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,16 g
Mo	0,02 ppm	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,04 g

Una de las soluciones madre se preparó solamente con la sal que contiene hierro para evitar la precipitación de los elementos menores; otra, con las sales de los demás microelementos. Las restantes se prepararon con excepción de uno de los micronutrientes, es decir -Mn, -B, -Zn y -Cu.

Por ejemplo, para preparar la solución madre de hierro, se necesitó pesar 32,75 g de NaFe-EDTA y diluir en un litro de agua destilada.

De forma resumida se ilustra en un cuadro las cantidades de todas las soluciones nutritivas con sus respectivas dosis de sales:

**Cuadro 9.** Mililitros de solución stock 1N, que se requieren diluir para preparar 600 ml de solución nutritiva con los macro y micronutrientes, 2013.

Soluciones stock 1N	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Fe	-Mn	-B	-Zn	-Cu
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	3,6		3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
KNO <sub>3</sub>	1,2		1,2		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,2	1,2			1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				1,2							
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		1,2	1,2		0,6						
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,9	0,9	0,9	0,9			0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O						0,9					
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O		3,6									
NaCl	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
NaFe-EDTA	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6
Sol. Elem. Men.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6				
Sol. Micr. -Mn								0,6			
Sol. Micr. -B									0,6		
Sol. Micr. -Zn										0,6	
Sol. Micr. -Cu											0,6

#### **3.4.1.4. Instalación del experimento**

En vasos plásticos de 250 ml, que se les perforó el fondo y en su lugar se colocó un pedazo de tejido de nylon sujeto con cinta y liga delgada, se colocó 200 g de suelo de cada tratamiento del experimento de San Francisco, con la finalidad de que las raíces de las plantas puedan atravesar hacia la solución nutritiva.

Posteriormente, cada vaso con el suelo se ubicó en una tarrina de 700 ml en cuya tapa se había cortado un círculo de manera de asegurar que el fondo del vaso esté en contacto con la solución de la tarrina.

Acto seguido se sembró el tomate (planta indicadora) en los vasos, colocando tres semillas, luego de la germinación se hizo el raleo de las plantas.

#### **3.4.1.5. Manejo del experimento y obtención de datos**

Se cambió una a dos veces por semana la solución nutritiva, y se repuso el agua dependiendo del consumo de la planta. Siempre se mantuvo un volumen de 600 ml por lo menos de solución nutritiva.

Los datos se tomaron a partir de la germinación de las plantas, desde los cinco días posteriores hasta los 50 días, con intervalo de cinco días. Se evaluó la altura de la planta y al término del ensayo se cortaron las plantas para determinar el peso de materia seca, para lo cual se sometieron a temperatura de 105 °C en la estufa por 2 días.

#### **3.4.1.6. Difusión de resultados**

Casi al término del ensayo biológico, cuando las plantas mostraron las deficiencias nutricionales con una claridad indiscutible reflejadas en su crecimiento y aspecto se realizó el Día de Campo, en coordinación del Director de la tesis y participación de docentes, estudiantes y comunicadores sociales. Se preparó un tríptico sobre la metodología y los resultados preliminares.

#### **3.4.2. Análisis Químico**

Los análisis de los nutrientes disponibles y demás propiedades químicas se realizó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja. Los métodos utilizados se citan a continuación:

- Elementos disponibles: extracción con solución de Olsen modificada ( $\text{NaHCO}_3$  0,5 M + EDTA 0,01 M) a pH 8,5; N y P por espectrofotometría UV visible; y, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu por espectrofotometría de absorción atómica.

- pH: potenciómetro, relación suelo – agua (1:2,5).
- Acidez intercambiable ( $H^+ + Al^{3+}$ ): extracción con solución de KCl 1 N.
- Bases cambiables ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^+$ ): extracción con acetato de amonio 1 N pH 7,0, y lecturas de concentración por espectrofotometría de absorción atómica.
- Capacidad de Intercambio Catiónico: acetato de amonio 1 N pH 7,0.

### 3.4.3. Análisis de Datos

Para las variables altura de la planta indicadora y materia seca de la evaluación biológica se hizo un análisis de varianza (ADEVA), en el cual se determinó la diferencia altamente significativa ( $p = < 0,01$ ) y diferencia significativa ( $p = < 0,05$ ) de los factores en estudio. A los factores que presentaron diferencia estadística se les aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % para discriminar las medias.

Las variables resultantes del análisis químico como pH, acidez intercambiable, bases cambiables, CIC y nutrientes disponibles fueron analizadas estadísticamente de igual forma.

El análisis de correlación (Pearson) entre los valores promedios de biomasa y los contenidos aprovechables de cada uno de los elementos se determinó usando la probabilidad asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula.

El software estadístico InfoStat versión 2008 se usó para realizar los ADEVAS, para discriminar medias y para hacer los gráficos, mientras que para el análisis descriptivo que incluye todos los cuadros se empleó el programa Microsoft Excel 2010.



## **IV. RESULTADOS**

### **4.1.1. CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ASPECTO DE LA PLANTA INDICADORA**

#### **4.1.2. Altura de la Planta a los 50 Días**

En el cuadro 10 se presentan los valores referentes a la altura de la planta indicadora *Solanum lycopersicum* Mill. a los 50 días después de la germinación, resultado del promedio de las cuatro repeticiones por solución nutritiva, en la evaluación biológica de la fertilidad del experimento de San Francisco. Los valores se sitúan entre 10,2 cm y 31,2 cm para la solución –B y para la SC, respectivamente. Respecto a los tratamientos de suelo los valores oscilan entre 15,6 cm para el T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y 29,7 cm para el T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón).

##### **4.1.2.1. Solución –N**

En la solución nutritiva –N los valores promedio de altura de planta fluctúan entre 8,1 y 19,6 cm para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Todas las plantas presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –N es 2,3:1.

Es preciso aclarar que en los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa mayor altura (14,1 cm) que en el arabisco T7-T12 (12,9 cm).

Así mismo, en el grupo de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento 15,8 cm frente a 11,2 cm del resto.

Se observa también un crecimiento superior cuando se aplicó carbón vegetal, aunque la altura de planta en los tratamientos varió irregularmente con la aplicación de 3 y 6 t/ha de carbón.

##### **4.1.2.2. Solución -P**

En la solución nutritiva carente de fósforo los valores promedio de altura de planta oscilan entre 12 y 33,9 cm para los suelos de los tratamientos T8 (arabisco, sin

fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T11 (arabisco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

Las plantas en solución –P presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –P es 1,4:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden a la parcela con pachaco se observa menor altura (21,3 cm) que en el arabisco T7-T12 (23,4 cm).

Así mismo, en los tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento 29,6 frente a 15,6 cm de los tratamientos sin enmienda ni fertilizante.

No se percibe diferencias en cuanto a la aplicación del carbón vegetal.

#### **4.1.2.3. Solución –K**

En la solución nutritiva –K los valores promedio de altura de planta se ubicaron entre 13,6 y 27,3 cm para los suelos de los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T10 (arabisco, con fertilización y sin biocarbón), respectivamente.

Todas las plantas presentaron menor crecimiento en relación a la solución completa, la proporción entre la SC y –K es 1,4:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden a las parcelas de pachaco se observa menor altura (21,5 cm) que en el arabisco T7-T12 (22,2 cm).

Así mismo, en los tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento 25,1 cm frente a 18,6 cm de los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes.

Se nota mayor crecimiento cuando se aplica carbón vegetal en los tratamientos correspondientes a pachaco T1-T6. Se evidencia efecto irregular en el crecimiento por la aplicación de 3 y 6 t/ha de carbón.

#### **4.1.2.4. Solución –Mg**

En la solución nutritiva sin magnesio los valores promedio de altura de planta se encontraron entre 8,8 y 36,1 cm para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T11 (arabisco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

Las plantas en solución –Mg presentaron menor crecimiento en relación a la solución completa, la proporción entre la SC y –Mg es 1,2:1.

No se observaron diferencias marcadas entre el grupo de tratamientos T1-T6 que pertenecen al pachaco de los tratamientos T7-T12 del arabisco, se sitúan entre 26,5 y 26,1 cm, respectivamente.

Es útil acotar que en el grupo de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento (33,0 cm) frente a los tratamientos sin enmienda ni fertilizante (19,6 cm).

Cuando se aplicó carbón vegetal en los tratamientos concernientes al arabisco se observó un aumento en el crecimiento. Se nota irregularidad en la dosis de 3 y 6 t/ha.

#### **4.1.2.5. Solución –S**

En la solución nutritiva –S los valores promedio de altura de planta oscilaron entre 9,2 y 35,6 cm para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T11 (arabisco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

Todas las plantas presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa, la proporción entre la SC y –S es 1,3:1.

En el grupo de tratamientos T1-T6 que corresponden a las parcelas de pachaco se observa una diferencia pequeña de altura (24,3 cm) respecto al arabisco T7-T12 (23,1 cm).

Así también, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento (32,7 cm) frente a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (14,7 cm).

Se nota mayor crecimiento cuando se aplicó carbón vegetal en los tratamientos correspondientes a pachaco T1-T6. Se observa que no hay regularidad en el crecimiento por la aplicación de 3 y 6 t/ha de biocarbón.

#### **4.1.2.6. Solución –Fe**

En la solución nutritiva sin hierro los valores promedio de altura de planta se ubicaron entre 15,7 y 36,8 cm para los suelos de los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización + 3 t/ha de biocarbón) y T10 (arabisco, con fertilización y sin biocarbón), respectivamente.

Todas las plantas presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –Fe es 1,1:1.

En el grupo de tratamientos T1-T6 que corresponden a la especie pachaco se observa una diferencia pequeña de altura (26,7 cm) respecto al arabisco T7-T12 (28,8 cm).

Así mismo, en los tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento (34,1 cm) frente a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (21,3 cm).

No se nota diferencias en el crecimiento por la aplicación de 0, 3 y 6 t/ha de carbón vegetal.

#### **4.1.2.7. Solución –Mn**

En la solución nutritiva carente de manganeso los valores promedio de altura de planta oscilaron entre 15,2 y 34,5 cm para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T10 (arabisco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

Las plantas de todos los tratamientos en la solución –Mn presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –Mn es 1,2:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa ligeramente menor altura (26,2 cm) que en el arabisco T7-T12 (27,6 cm).

Así mismo, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento (32,6 cm) frente a los tratamientos sin enmienda ni fertilizante (21,3 cm).

No se perciben acentuadas diferencias en el crecimiento por la aplicación de las dosis de carbón vegetal.

#### **4.1.2.8. Solución –B**

En la solución nutritiva carente de boro los valores promedio de altura de planta se encontraron entre 1,9 y 27,3 cm para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Las plantas de todos los tratamientos en la solución –B presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –B es 3,1:1.

No se observan diferencias marcadas entre los tratamientos T1-T6 que pertenecen al pachaco y los tratamientos T7-T12 del arabisco, por cuanto el promedio de altura se sitúa entre 10,9 y 9,4 cm, respectivamente.

Es preciso subrayar que al hacer contraste entre los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización, y los que no se encalaron ni fertilizaron no se evidencian mayores diferencias, los valores están entre 7,3 y 13,1 cm, en su orden.

Cuando se aplica carbón vegetal en dosis de 6 t se observa diferencias fuertes frente al control sin carbón, no así si comparamos este último con la dosis de 3 t.

#### **4.1.2.9. Solución -Zn**

En la solución nutritiva -Zn los valores promedio de altura de planta se ubicaron entre 22,0 y 35,0 cm para los suelos de los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T6 (pachaco, con fertilización y sin biocarbón), en su orden.

Todas las plantas de todos los tratamientos presentaron un menor crecimiento en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y -Zn es 1,1:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa una diferencia pequeña de altura (27,7 cm) respecto al arabisco T7-T12 (28,4 cm).

De igual forma, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento (31,3 cm) frente a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (28,4 cm).

Se advierten diferencias en el crecimiento en los tratamientos de pachaco T1-T6 en cuanto a la aplicación de carbón vegetal, específicamente al comparar la dosis de 6 t/ha de carbón con el testigo (0 t de carbón/ha).

#### **4.1.2.10. Solución -Cu**

En la solución nutritiva carente de cobre los valores promedio de altura de planta oscilan entre 16,9 y 34,7 cm para los suelos de los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de carbón), respectivamente.

Las plantas de todos los tratamientos en la solución -Cu presentan un menor crecimiento en relación a la solución completa, la proporción entre la SC y -Cu es 1,2:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa menor altura (24,5 cm) que en el arabisco T7-T12 (28,0 cm). Es válido puntualizar que en los tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor crecimiento 31,3 cm frente a 21,2 cm de los tratamientos sin enmienda ni fertilizante. En relación a los tratamientos del arabisco, se observa diferencias en el crecimiento de la planta indicadora por aplicación de 6 t/ha de carbón en comparación con los tratamientos T7 y T10.

**Cuadro 10.** Altura de la planta indicadora (cm) a los 50 días de edad, en las soluciones nutritivas y suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, 2013.

Solución	Tratamiento de suelo												$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>SC</b>	31,5	30,6	33,5	31,3	32,8	35,0	32,2	27,2	27,3	32,5	30,8	30,2	<b>31,2</b>
<b>-N</b>	10,9	13,0	16,0	14,2	15,4	15,1	8,1	9,9	9,5	16,0	14,3	19,6	<b>13,5</b>
<b>-P</b>	12,4	13,7	17,0	28,7	28,6	27,4	18,4	12,0	16,9	32,1	33,9	27,0	<b>22,3</b>
<b>-K</b>	13,6	23,0	22,3	22,0	26,0	22,3	14,7	18,2	20,0	27,3	27,1	26,2	<b>21,9</b>
<b>-Mg</b>	14,3	20,3	26,0	33,2	33,8	31,4	8,8	25,0	23,5	30,3	36,1	33,1	<b>26,3</b>
<b>-S</b>	11,3	14,1	19,9	32,9	34,4	33,6	9,2	17,3	17,1	34,0	35,6	25,6	<b>23,7</b>
<b>-Fe</b>	18,8	15,7	29,8	32,0	30,2	33,6	16,2	19,3	28,3	36,8	36,5	35,9	<b>27,7</b>
<b>-Mn</b>	20,0	15,5	29,0	30,3	30,5	32,1	15,2	27,9	19,9	34,5	34,0	34,1	<b>26,9</b>
<b>-B</b>	3,1	2,9	16,1	7,9	19,8	15,9	1,9	3,5	16,1	4,0	3,8	27,3	<b>10,2</b>
<b>-Zn</b>	22,0	23,3	27,9	33,2	24,8	35,0	26,1	24,0	25,5	33,5	28,0	33,2	<b>28,0</b>
<b>-Cu</b>	16,9	18,2	21,1	30,5	30,6	29,7	20,4	20,1	30,4	28,5	34,2	34,7	<b>26,3</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>15,9</b>	<b>17,3</b>	<b>23,5</b>	<b>26,9</b>	<b>27,9</b>	<b>28,3</b>	<b>15,6</b>	<b>18,6</b>	<b>21,3</b>	<b>28,1</b>	<b>28,6</b>	<b>29,7</b>	<b>23,5</b>

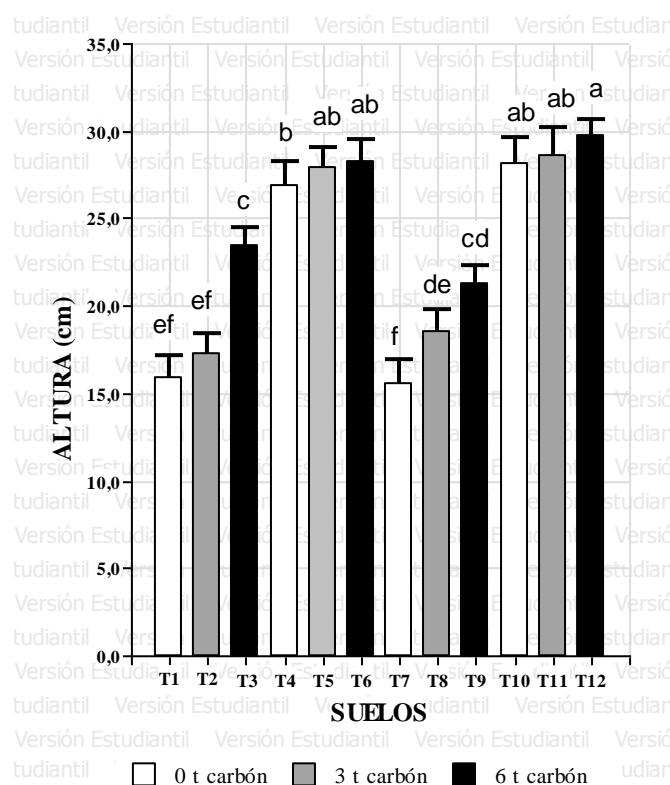
En el Cuadro 11 se presenta el resumen del ADEVA para los valores de la altura de la planta indicadora a los 50 días de edad. En éste se evidencia diferencia significativa para los factores: A (soluciones nutritivas), B (tratamientos de suelo); y, para la interacción de los factores A y B (Solución x Suelo). El coeficiente de variación corresponde al 17 %, lo cual indica dispersión heterogénea de los valores de la variable en relación con su media.

**Cuadro 11.** Resumen del análisis de varianza para la altura de planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) a los 50 días, 2013.

Fuentes de Variación	Cuadrados medios
Factor A	1311**
Factor B	1953,9**
Factor A*Factor B	78,9**
Error	16
Coefficiente de variación (%)	17,0

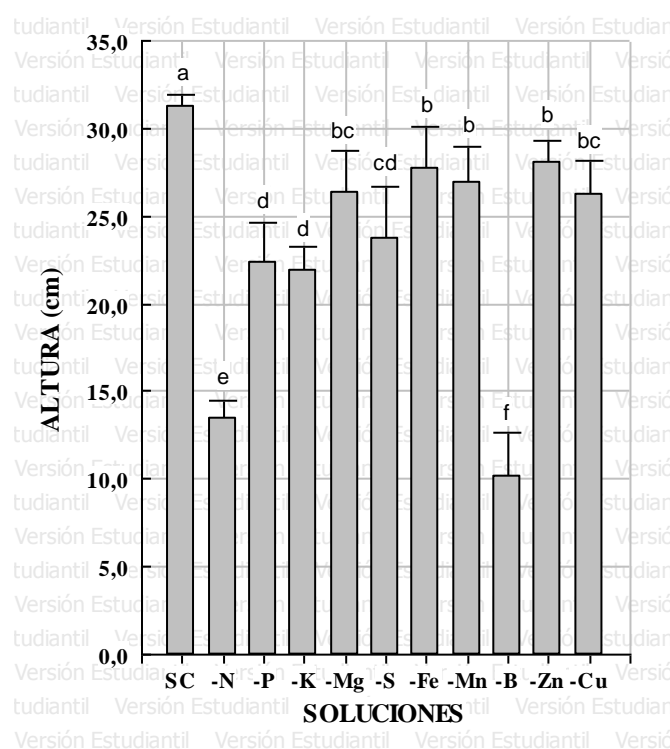
La figura 2 muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con una probabilidad del 5 %, para los valores de altura de la planta indicadora.

Se observa que el grupo de tratamientos T4-T6 (pachaco, con cal y fertilización, y con 0, 3 y 6 t/ha de carbón vegetal, respectivamente) y el T10, T11 y T12 (arabisco, con fertilización, y con 0, 3 y 6 t/ha de carbón vegetal, respectivamente) son estadísticamente iguales, pero difieren con respecto al resto de tratamientos. El T1, T2 (pachaco, sin fertilización, con 3 y 6 t/ha de carbón vegetal, respectivamente) y T7 (arabisco, sin fertilización, con 0 y 3 t/ha de carbón vegetal) difieren de los otros por disponer de menores alturas respecto al resto de tratamientos, pero no entre sí.



**Figura 2.** Prueba de Tukey para la altura de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor tratamiento de suelo, 2013.

La figura 3 muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 % para los valores de altura de la planta indicadora con las diferentes soluciones nutritivas. Se evidencia que la SC difiere estadísticamente del resto de soluciones. Las soluciones -Mg, -Fe, -Mn, -Zn y -Cu son estadísticamente iguales. Las soluciones -Mg, -S y -Cu no difieren entre sí. No se observan diferencias entre las soluciones -P, -K y -S. Las soluciones -N y -B son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con la menor altura.

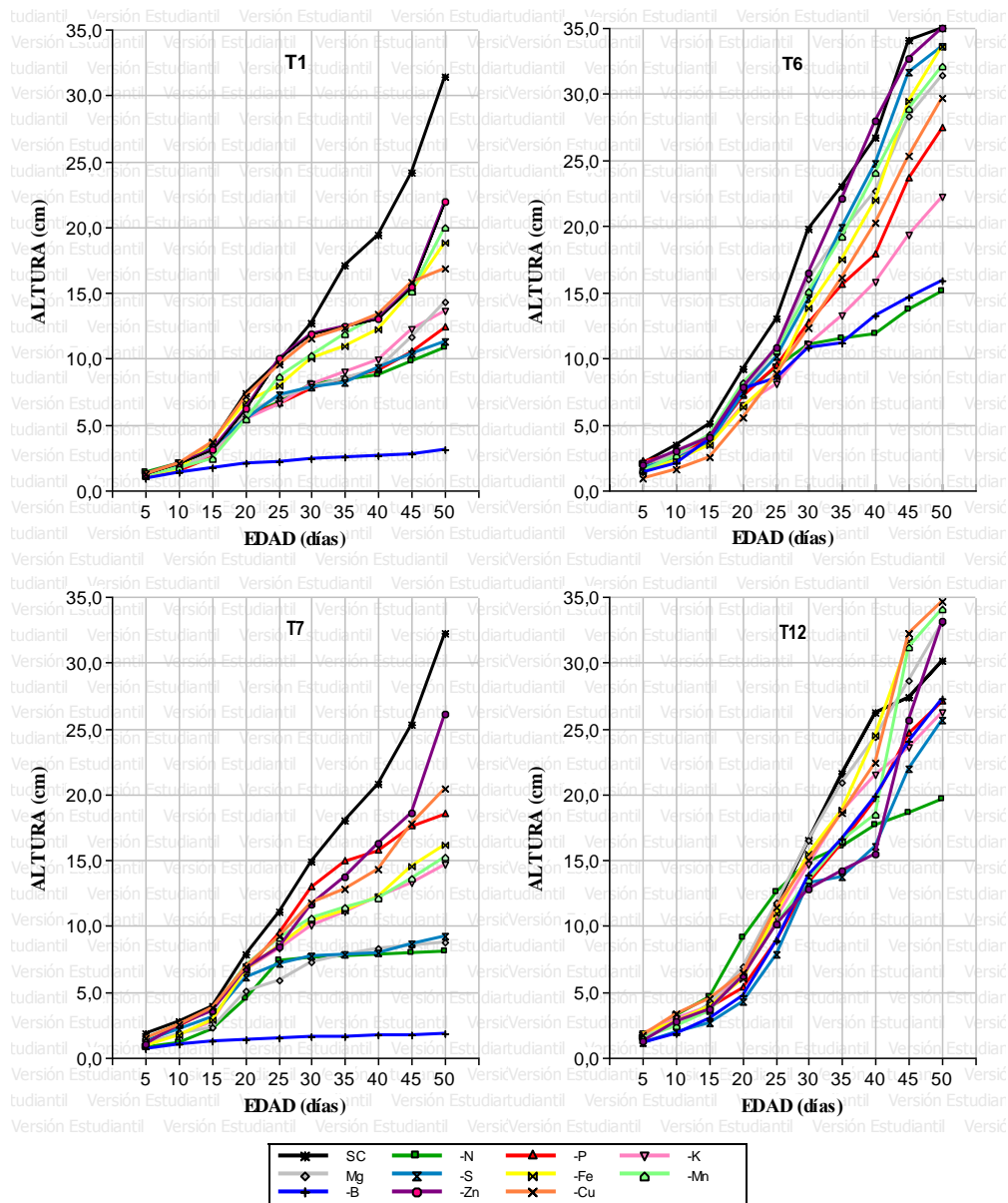


**Figura 3.** Prueba de Tukey para la altura de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor soluciones, 2013.

La Figura 4 ilustra las curvas de crecimiento de la planta indicadora entre 5 y 50 días con las diferentes soluciones nutritivas, se ha tomado como referentes a los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón vegetal), T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T12 (arabisco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón).

Se visualiza claramente la menor altura lograda por las plantas cuando hay ausencia de cal y fertilizante (T1 y T7). Además, en la solución completa la planta alcanza la mayor altura. Se denota claramente la limitante altura que logran las plantas en la solución nutritiva -B y -N, especialmente.





**Figura 4.** Curvas de crecimiento de la planta indicadora (*Solanum lycopersicum*) entre 5 y 50 días después de la germinación con las diferentes soluciones nutritivas, en los suelos del experimento de San Francisco para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); T6 (pachaco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón); T7 (arabisco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); y, T12 (arabisco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón).

### **4.1.3. Materia Seca de la Planta Indicadora**

En el cuadro 12 se exponen los valores concernientes al peso de materia seca de la planta indicadora *Solanum lycopersicum* Mill. después de 50 días de mantener las plantas bajo cubierta. Los resultados son el promedio de cuatro repeticiones por solución nutritiva. Se notan valores muy semejantes y con tendencia comparable con la variable altura. Los valores promedios se sitúan entre 0,44 g para la solución –B y 3,18 g para la SC; respecto a los tratamientos de suelo los valores oscilan entre 0,95 y 3,42 g para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón).

#### **4.1.3.1. Solución -N**

En la solución nutritiva –N los valores promedio de peso de materia seca de la planta fluctuaron entre 0,19 y 0,85 g para los tratamientos de los suelos T9 y T12 (arabisco, con fertilización, con 0 y 6 t/ha de biocarbón, respectivamente), en su orden.

Todas las plantas presentaron un menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre las soluciones SC y –N es 7,6:1.

Es preciso señalar que en los grupos de tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa menor peso (0,40 g) que en el arabisco T7-T12 (0,43 g).

En los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor peso (0,51 g) frente al resto (0,33 g).

Se nota mayor biomasa cuando se aplica carbón vegetal en los tratamientos correspondientes a pachaco T1-T6, sin embargo se evidencia discontinuidad en el peso por la aplicación de 3 y 6 t/ha de carbón.

#### **4.1.3.2. Solución -P**

En la solución nutritiva carente de fósforo los valores promedio de materia seca de planta oscilaron entre 0,27 y 2,93 g para los suelos de los tratamientos T8 (arabisco sin fertilización + 3 t/ha de biocarbón) y T11 (arabisco con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), respectivamente. Se observa igual tendencia que en el caso de la altura de las plantas.

En la solución –P la materia seca es menor en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –P es 2,0:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa valores prácticamente iguales (1,57 g) que en aquellos del arabisco T7-T12 (1,56 g).

No así, en los tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización, que presentan mayor peso (2,54 g) frente a los tratamientos sin enmienda ni fertilizante (0,59 g).

No se notan diferencias en cuanto a la aplicación del carbón vegetal.

#### **4.1.3.3. Solución -K**

En la solución nutritiva –K los valores promedio de peso de materia seca del tomate se ubicaron entre 0,60 y 27,3 g para los suelos de los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T11 (arabisco, con fertilización, con 3 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Todos los tratamientos presentaron menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –K es 2,1:1.

En los tratamientos T1-T6 del pachaco se observan valores similares (1,51 g) a aquellos del arabisco T7-T12 (1,52 g).

En los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor peso (1,88 g) en relación a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (1,15 g).

Se nota mayor peso cuando se aplica carbón vegetal en dosis de 3 t/ha para las dos especies.

#### **4.1.3.4. Solución -Mg**

En la solución sin magnesio los valores promedio de materia seca se encontraron entre 0,36 y 4,90 g para los suelos del tratamiento T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T4 (pachaco, con fertilización y sin biocarbón), en su orden.

En la solución –Mg todos los tratamientos presentaron menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –Mg es 1,2:1.

En los grupos de tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa diferencia (3,08 g) respecto al arabisco T7-T12 (2,38 g). Es importante mencionar que en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor materia seca (4,13 g) en relación a los tratamientos sin enmienda ni fertilizante (1,33 g).

Cuando se aplica 3 t/ha de carbón vegetal en los tratamientos concernientes a pachaco y arabisco se distinguen mayores valores de materia seca.

#### **4.1.3.5. Solución -S**

En la solución nutritiva –S los valores promedio de materia seca oscilaron entre 0,21 y 4,23 g para los suelos de los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Todos los tratamientos presentaron menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –S es 1,5:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa una ligera diferencia (2,17 g) respecto al arabisco T7-T12 (2,03 g).

Así también, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor peso (3,54 g) frente a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (0,65 g).

Se nota mayor peso cuando se aplica carbón vegetal en los tratamientos correspondientes a pachaco T1-T6. Se observa que no hay regularidad en el peso por la aplicación de 3 y 6 t/ha de carbón.

#### **4.1.3.6. Solución -Fe**

En la solución nutritiva sin hierro los valores promedio de materia seca se ubicaron entre 0,64 y 4,40 g para los suelos de los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T6 (pachaco, con fertilización y sin biocarbón), en su orden.

Todos los tratamientos presentaron un menor peso en relación a la solución completa, la proporción entre la SC y –Fe es 1,2:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa una ligera diferencia (2,81 g) respecto al arabisco T7-T12 (2,66 g).

Así mismo, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor peso, 3,94 g frente a 1,53 g de los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes.

Se divisa diferencia de peso al aplicar 6 t/ha de carbón para los tratamientos de pachaco.

#### **4.1.3.7. Solución -Mn**

En la solución nutritiva carente de manganeso los valores promedio de materia seca de la planta oscilaron entre 0,79 y 4,18 g para los suelos de los tratamientos T2

(pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Todos los tratamientos en solución –Mn presentaron un menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –Mn es 1,2:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa mayor peso (2,98 g) que en el arabisco T7-T12 (2,37 g).

Así mismo, en los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor biomasa seca (3,53 g) en relación a los tratamientos sin enmienda ni fertilizante (1,82 g).

Se notan diferencias en el peso cuando se aplican 6 t/ha de carbón para los tratamientos de pachaco. Es independiente la materia seca por la aplicación de 3 ó 6 t/ha de carbón vegetal.

#### **4.1.3.8. Solución -B**

En la solución nutritiva carente de boro los valores promedio de peso de materia seca se encontraron entre 0,02 g para los suelos de los tratamientos T1, T2 (pachaco, sin fertilización, con 3 y 6 t/ha de carbón, respectivamente) y T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón); y, 1,83 g para el T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de carbón).

Las plantas en solución –B presentaron menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y –B es 7,2:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observan valores casi iguales (0,44 g) que en aquellos del arabisco T7-T12 (0,45 g).

Al hacer contraste entre los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización, y los que no se encalaron ni fertilizaron se evidencian diferencias, los valores están entre 0,26 y 0,63 g, en su orden.

No se notan diferencias en cuanto a la aplicación de 3 ó 6 t/ha de carbón vegetal.

#### **4.1.3.9. Solución -Zn**

En la solución nutritiva -Zn los valores promedio de materia seca se ubicaron entre 0,98 y 5,83 g para los suelos de los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón) y T6 (pachaco, con fertilización y sin carbón), respectivamente. Similar tendencia se observó en la altura de planta.

Todos los tratamientos presentaron un menor peso en relación a la solución completa. La proporción entre la SC y -Zn es 1,1:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa mayor peso (3,23 g) que en el arabisco T7-T12 (2,61 g).

En los grupos de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia elevado peso (3,94 g) en relación a los tratamientos sin enmiendas y fertilizantes (1,90 g).

Se advierten diferencias en la biomasa seca cuando se aplica dosis de 6 t/ha de carbón vegetal.

#### **4.1.3.10.Solución -Cu**

En la solución nutritiva carente de cobre los valores promedio de materia seca oscilaron entre 0,77 y 4,53 g para los suelos del tratamiento T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente.

Los tratamientos en la solución -Cu presentan un menor peso frente a la solución completa, la proporción entre la SC y -Cu es 1,3:1.

En los tratamientos T1-T6 que corresponden al pachaco se observa una ligera diferencia no considerable de materia seca (2,55 g) respecto al arabisco T7-T12 (2,52 g).

Es válido puntualizar que en el grupo de tratamientos T4-T6 y T10-T12 que recibieron cal y fertilización se evidencia mayor peso 3,63 g respecto a 1,44 g de los tratamientos sin enmienda ni fertilizante.

En relación a los tratamientos correspondientes al pachaco, se observa diferencias en el peso de la planta indicadora por aplicación de 6 t/ha de carbón vegetal. Para el caso del arabisco la materia seca es independiente de la aplicación de 3 ó 6 t.

**Cuadro 12.** Materia seca (g) de la planta indicadora después de los 50 días, en las soluciones nutritivas y suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, 2013.

Solución	Tratamiento de suelo												$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>SC</b>	3,03	2,70	3,37	4,35	4,33	5,00	2,84	2,34	1,75	2,60	3,30	2,50	<b>3,18</b>
<b>-N</b>	0,26	0,46	0,46	0,36	0,48	0,41	0,31	0,28	0,19	0,55	0,41	0,85	<b>0,42</b>
<b>-P</b>	0,54	0,37	0,72	2,65	2,63	2,53	1,02	0,27	0,60	2,40	2,93	2,14	<b>1,56</b>
<b>-K</b>	0,60	1,40	1,32	1,85	2,25	1,66	1,07	1,20	1,30	1,90	2,05	1,58	<b>1,51</b>
<b>-Mg</b>	0,70	1,55	1,06	4,90	5,58	4,68	0,36	2,32	2,00	2,78	4,07	2,78	<b>2,73</b>
<b>-S</b>	0,33	0,48	0,84	3,43	4,23	3,70	0,21	0,91	1,13	4,00	3,78	2,13	<b>2,10</b>
<b>-Fe</b>	1,44	0,64	3,06	4,15	3,18	4,40	1,13	1,14	1,75	4,05	4,15	3,78	<b>2,74</b>
<b>-Mn</b>	1,77	0,79	3,67	3,78	3,70	4,18	1,09	2,39	1,20	3,03	3,20	3,33	<b>2,68</b>
<b>-B</b>	0,02	0,02	0,71	0,24	0,95	0,69	0,02	0,05	0,72	0,03	0,05	1,83	<b>0,44</b>
<b>-Zn</b>	0,98	1,88	2,64	4,93	3,15	5,83	2,00	1,91	2,01	3,58	2,40	3,75	<b>2,92</b>
<b>-Cu</b>	0,77	0,82	1,54	3,95	3,70	4,53	1,38	1,44	2,72	2,20	4,08	3,30	<b>2,53</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>0,95</b>	<b>1,01</b>	<b>1,76</b>	<b>3,14</b>	<b>3,10</b>	<b>3,42</b>	<b>1,04</b>	<b>1,29</b>	<b>1,40</b>	<b>2,47</b>	<b>2,76</b>	<b>2,54</b>	<b>2,07</b>

En el cuadro 13 se presenta el resumen del ADEVA de los valores de la biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días desde la germinación. Al igual que en el caso de la altura de planta, en éste se evidencia diferencia significativa para los factores: A (soluciones nutritivas), B (tratamientos de suelo) y para la interacción de los factores A y B (Solución x Suelo). El coeficiente de variación corresponde a 34,4 %, lo cual indica dispersión muy heterogénea de los valores de la variable en relación con su media.

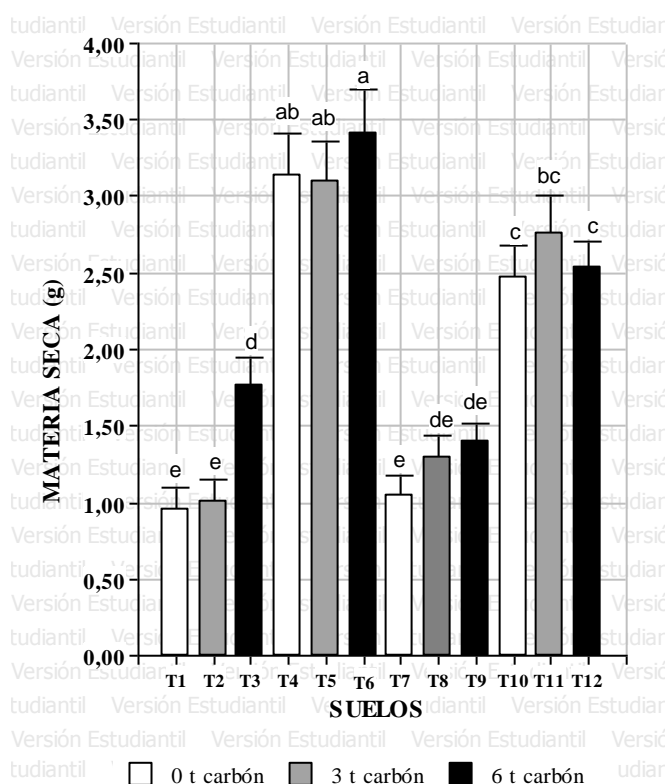
**Cuadro 13.** Resumen del análisis de varianza para los valores de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días, 2013.

Fuentes de Variación	Cuadrados medios
Factor A	37,94**
Factor B	44,85**
Factor A*Factor B	2,35**
Error	0,51
Coeficiente de variación (%)	34,4

La figura 5 muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con una probabilidad del 5 %, para los valores de materia seca de la planta indicadora.

Se observa que el grupo de tratamientos T4, T5 y T6 (pachaco, con fertilización, con 0, 3 y 6 t de carbón vegetal, respectivamente) y T10, T11 y T12 son estadísticamente iguales, pero diferentes al resto de tratamientos que no incluyeron el paquete de fertilización.

Del grupo de tratamientos T1, T2, T3, T7, T8 y T9 que no recibieron fertilización, únicamente el T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón) difiere del resto, mostrando mayor materia seca.

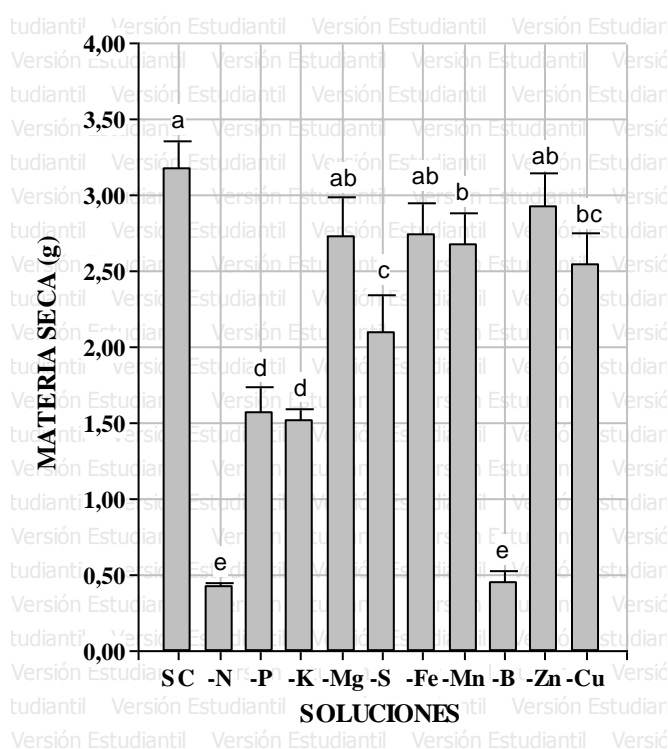


**Figura 5.** Prueba de Tukey para la materia seca de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor tratamiento de suelo, 2013.

La figura 6 muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 % para los valores de peso de la materia seca la planta indicadora. Se evidencia que las soluciones SC, -Mg, -Fe y -Zn no difieren entre sí, pero muestran diferencias estadísticas respecto a las demás. Las soluciones -Mg, -Fe, -Mn, -Zn y -Cu son estadísticamente iguales en la variable materia seca. Las soluciones -S y -Cu no difieren entre sí. No se observaron diferencias estadísticas entre



las soluciones -P y -K. La solución -N y -B son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con los valores más bajos de materia seca.

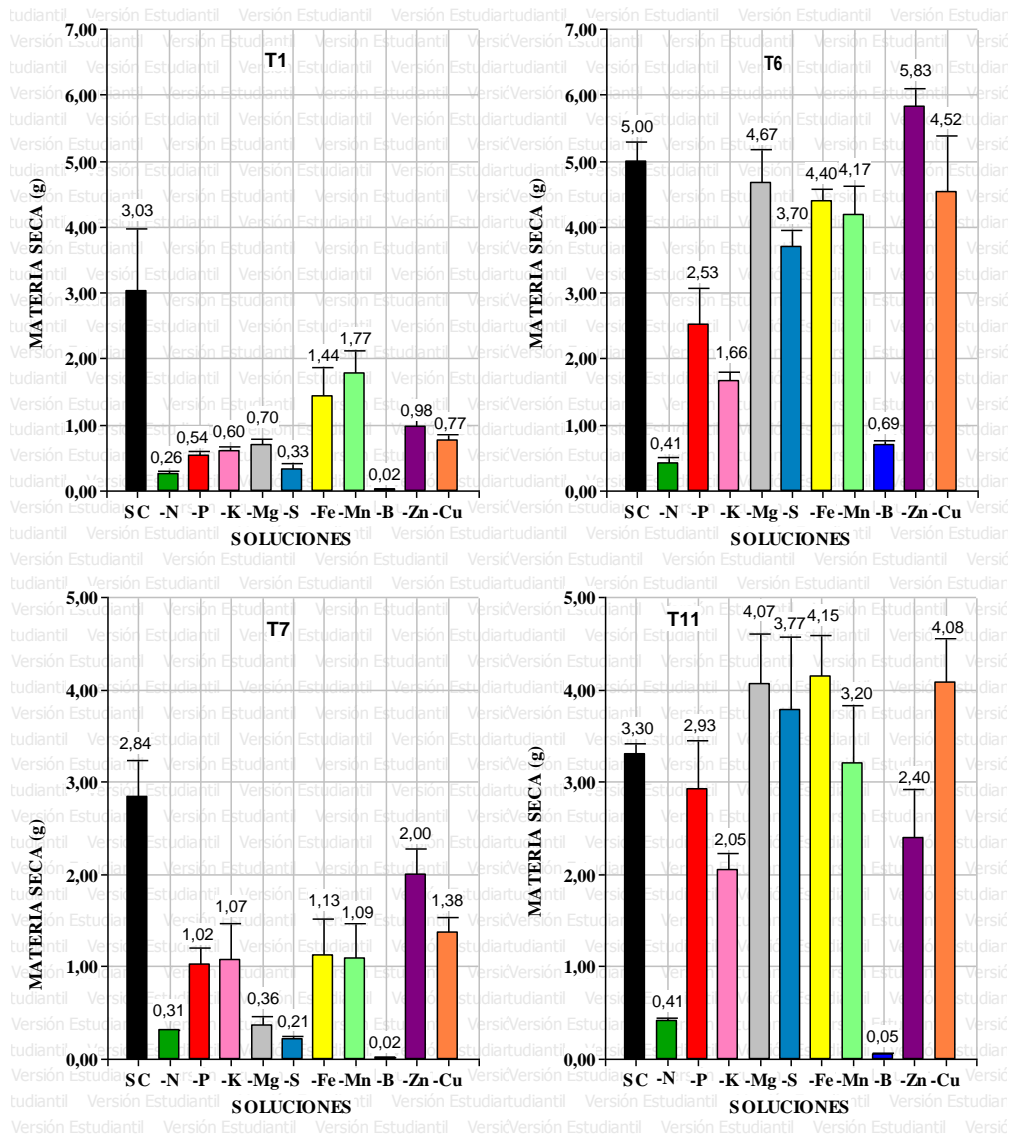


**Figura 6.** Prueba de Tukey para la materia seca de la planta indicadora a los 50 días de edad para el factor soluciones, 2013.

En la Figura 7, se ilustra los resultados de producción de biomasa seca de la planta indicadora a los 50 días con las diferentes soluciones nutritivas, en los suelos del experimento de San Francisco para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón vegetal), T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T12 (arabisco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón).

Los tratamientos T1 y T7 presentan los menores valores de materia seca, frente a los tratamientos T6 y T11. En los tratamientos que no recibieron fertilización T1 y T7 se evidencia deficiente materia seca en las soluciones nutritivas -N, -P, -K, -Mg, -S, -B, -Zn y -Cu, con respecto a la solución SC.

Las soluciones que presentan menores valores de materia seca en los tratamientos fertilizados T6 y T11 son el -N, -B, -K y -P.



**Figura 7.** Biomasa seca total de la planta indicadora (*Solanum lycopersicum*) entre 5 y 50 días después de la germinación con las diferentes soluciones nutritivas, en los suelos del experimento de San Francisco para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); T6 (pachaco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón); T7 (arabisco, sin fertilización + 0,0 t/ha de biocarbón); y, T11 (arabisco, con fertilización + 6,0 t/ha de biocarbón).

#### 4.1.4. Aspecto de la Planta Indicadora

La figura 8 presenta las fotografías del estado de crecimiento de cuatro tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, el T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón), el T6 (pachaco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), el T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y el T12 (arabisco, con fertilización y 6

t/ha de biocarbón). Cada imagen incluye de izquierda a derecha las siguientes soluciones: SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -B, -Zn y -Cu.

La figura evidencia que los tratamientos sin fertilización y cal muestran el menor desarrollo vegetativo frente a los que se encalaron y fertilizaron, de forma general se observan plantas más pequeñas por la carencia de los elementos nutritivos en las soluciones.

Las soluciones completas muestran buena apariencia en todos los tratamientos. Además, es común en todos los suelos la deficiencia de N, B, P, K y S (Figura 10).



**Figura 8.** Vista general de cuatro tratamientos de suelo referentes del experimento San Francisco evaluados biológicamente, 2013.



**Figura 9.** Síntomas de deficiencia de N, B, P, K y S en la planta indicadora (*Solanum lycopersicum*) con los suelos del experimento de San Francisco, 2013.

#### **4.2. EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DEL SUELO**

Seguidamente se presentan los resultados de la evolución de las condiciones químicas del suelo y de la disponibilidad de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu) a los ocho meses desde la plantación en los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, por efecto de la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes en pachaco y arabisco.

##### **4.2.1. Reacción del Suelo y Acidez Cambiable**

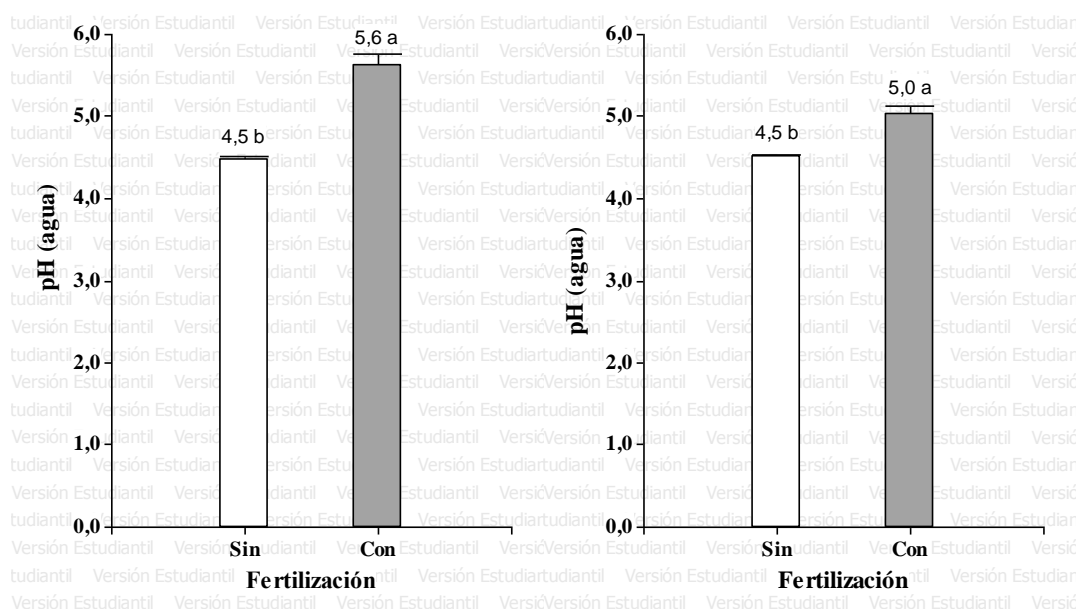
En el Cuadro 14 se encuentran los valores promedio de  $pH_{H_2O}$  de los doce tratamientos del experimento de San Francisco.

El  $pH_{H_2O}$  para la capa de 00 a 25 cm se ubica entre 4,4 para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón); y 5,9 para el T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón).

Para la capa de 25 a 50 cm el  $pH_{H_2O}$  oscila entre 4,4 para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón); y, 5,3 para el T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal).

En el cuadro 15 se exponen los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm. Se evidencia diferencia altamente significativa para el factor fertilización en las dos capas. Los valores del coeficiente de variación (CV) para el pH son de 7,9 y 6,0 % para las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm, respectivamente.

La figura 10 ilustra los valores promedio de  $pH_{H_2O}$  en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm, en relación al factor fertilización. Se observan valores de pH similares (4,5) cuando no se fertiliza y encala el suelo, los mismos que se encuentran en el rango calificado como muy ácido. Por otra parte, cuando el suelo ha recibido encalado y fertilización los valores de pH se elevan; particularmente más en la capa de 0 a 25 cm, ubicándose en el rango medianamente ácido.



**Figura 10.** Prueba de Tukey del  $pH_{H_2O}$  en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

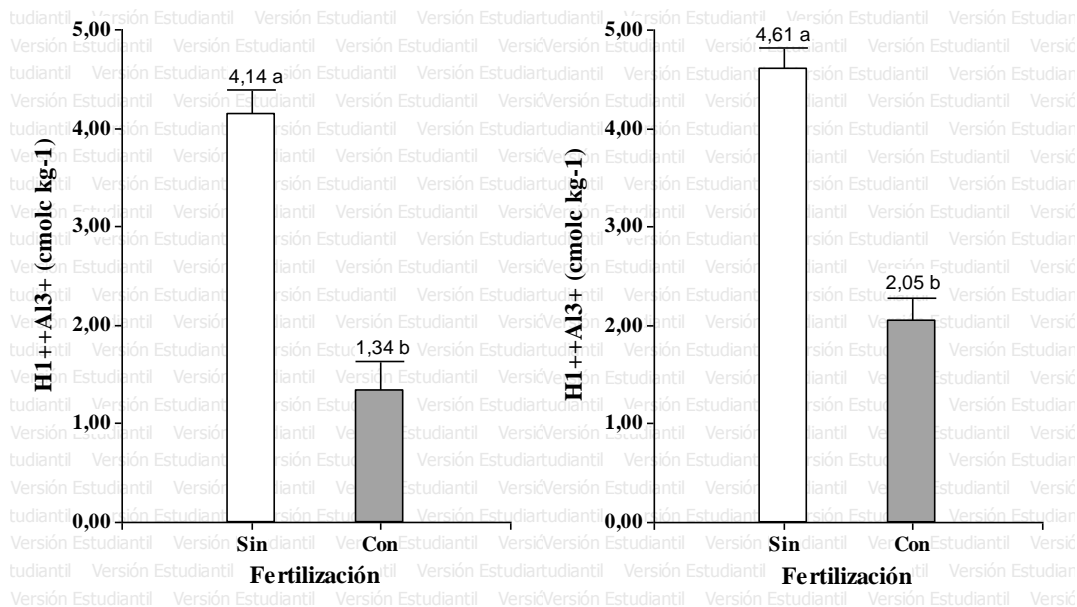
En el Cuadro 14 se ilustran los valores promedio de acidez cambiante ( $H^+ + Al^{3+}$ ) de los doce tratamientos del experimento de San Francisco.

Los valores promedio de la acidez cambiante ( $H^+ + Al^{3+}$ ), en la capa de 00 a 25 cm, se encuentran en el rango de 0,55 y 5,03  $cmol_c kg^{-1}$  para los tratamientos T12 (arabisco, con fertilización y 6 t de biocarbón) y T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm la acidez cambiante varía entre 1,07 y 2,20  $cmol_c kg^{-1}$  para los tratamientos T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal) y T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón), en su orden.

En el cuadro 15 se evidencia diferencia altamente significativa para el factor fertilización en la capa de 00 a 25 cm. En la capa de 25 a 50 cm hay diferencia estadística altamente significativa en la interacción entre fertilización y carbón; y, entre especie arbórea, fertilización y carbón. El CV para la acidez cambiante es de 44,2 y 22,1 % para las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm, de forma respectiva.

La figura 11 muestra los valores promedio de acidez cambiante de 00 a 25 cm y de 25 a 50 cm, en relación al factor fertilización. Se observa un aumento de la acidez con el incremento de la profundidad. Los valores más bajos de acidez se dan en los tratamientos con fertilización que incluyó la aplicación de cal.



**Figura 11.** Prueba de Tukey de la acidez cambiante en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

#### 4.2.2. Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Cambiables

En el Cuadro 14 se observan los valores correspondientes a la CIC y bases cambiables como el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  de los doce tratamientos del experimento de San Francisco.

##### 4.2.2.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC en la capa de 00 a 25 cm oscila entre 24,3 y 31,9  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T10 (arabisco, con fertilización y sin biocarbón).

Para la capa de 25 a 50 cm la CIC fluctúa entre 26,94  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  y 36,44  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de carbón vegetal), respectivamente.

Se observa que hay aumento de la CIC con la profundidad. Estos valores se ubican en el rango de medio en los dos casos. (Véase cuadro 14).

##### 4.2.2.2. Calcio cambiante ( $\text{Ca}^{2+}$ )

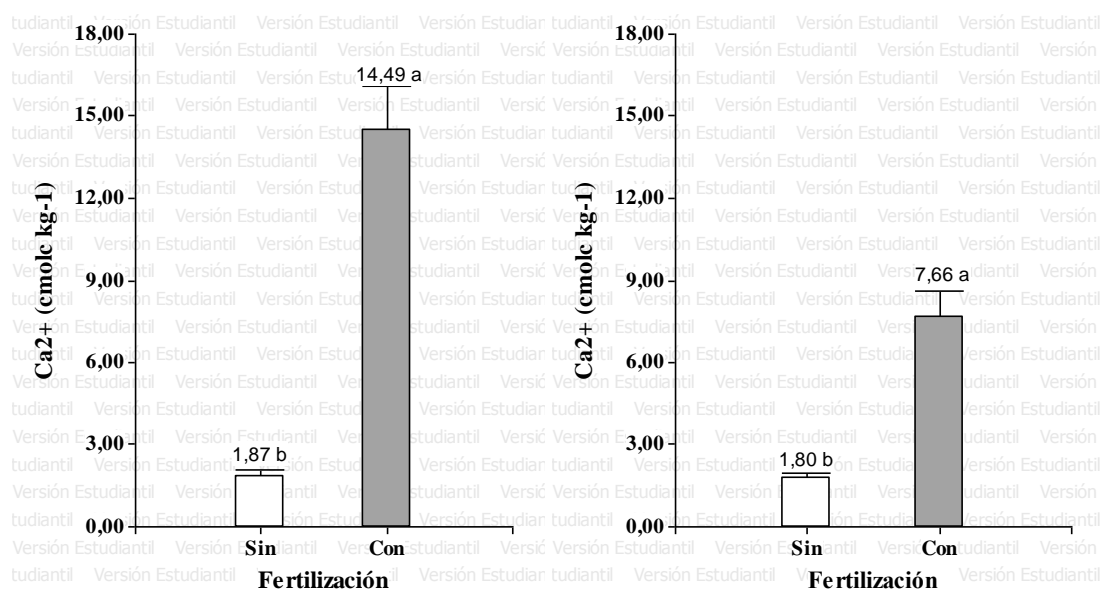
El contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  oscila entre 1,5 y 20,6  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón vegetal) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), respectivamente en la capa de 00 a 25 cm.

En la capa de 25 a 50 cm el  $\text{Ca}^{2+}$  varía entre 1,23 y 12,01  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal), en su orden. Estos valores se ubican en el rango de alto en los dos casos. (Véase cuadro 14).

Los resultados del análisis de varianza para  $\text{Ca}^{2+}$  a los ocho meses para la capas de 00-25 y 25-50 cm, evidencian diferencia altamente significativa para el factor fertilización; también se evidencia diferencia significativa para la interacción especie arbórea, fertilización y carbón. El CV para el  $\text{Ca}^{2+}$  de 0 a 25 cm es de 63,1 %, mientras que de 25 a 50 cm es de 62,4 % (Véase cuadro 15).

La figura 12 ilustra los resultados de la prueba de Tukey del factor fertilización para los valores de  $\text{Ca}^{2+}$  cambiante en las capas de 00 a 25 cm y de 25 a 50 cm. Se observa una disminución del calcio con la profundidad.

Los valores más bajos de calcio se dan cuando no se ha fertilizado y encalado el suelo. Los valores se encuentran en el rango bajo. Por el contrario, cuando se fertiliza y encala el suelo el calcio cambiante está en el rango alto.



**Figura 12.** Prueba de Tukey del calcio cambiante en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

#### 4.2.2.3. Magnesio cambiante ( $\text{Mg}^{2+}$ )

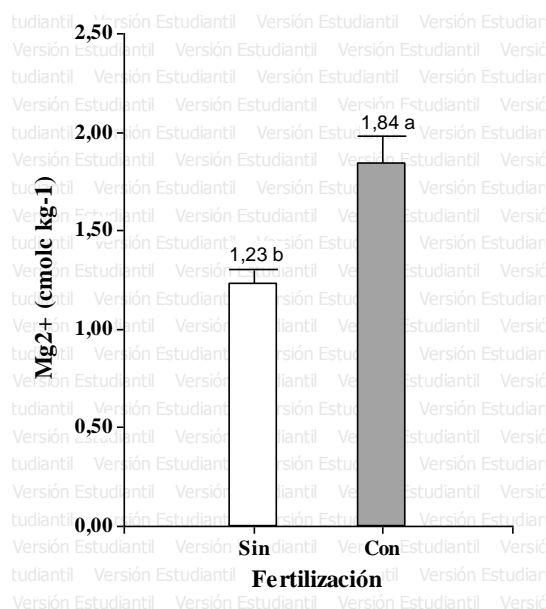
El  $\text{Mg}^{2+}$  en la capa de 00 a 25 cm se encuentra entre 0,99 y 2,30  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

Los valores de  $\text{Mg}^{2+}$  de 25 -50 cm variaron entre 0,83 y 1,93  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para los tratamientos T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), respectivamente. Estos valores se ubican en el rango de bajo y alto, en su orden. (Véase cuadro 14).

Los resultados del ADEVA para  $\text{Mg}^{2+}$  a los ocho meses para la capa de 00-25, evidencia diferencia altamente significativa para el factor fertilización. El CV para el  $\text{Mg}^{2+}$  de 0 a 25 cm es de 31,3 %. (Véase cuadro 15).



La figura 13 ilustra la prueba de Tukey de los valores promedio de magnesio cambiante de 00 a 25 cm, respecto al factor fertilización. El magnesio cambiante es más alto cuando el suelo ha recibido fertilización; el promedio se interpreta como medio en los dos casos.



**Figura 13.** Prueba de Tukey del magnesio cambiante en la capa de 00 a 25 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

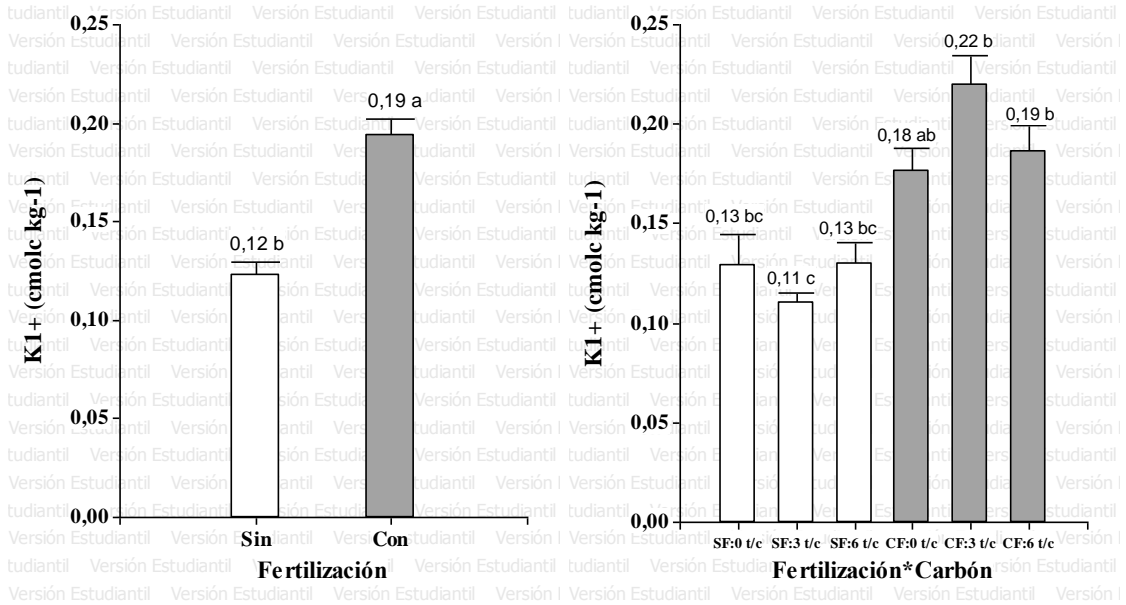
#### 4.2.2.4. Potasio cambiante (K<sup>+</sup>)

El contenido de K<sup>+</sup> en la capa de 00 a 25 cm oscila entre 0,15 y 0,23 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T9 (arabisco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden.

En la capa de 25 a 50 cm el K<sup>+</sup> varía entre 0,11 y 0,23 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón), en su orden. Estos valores se ubican en el rango de bajo y medio, para los tratamientos sin y con fertilización, respectivamente (Véase cuadro 14).

Los resultados del ADEVA para el K<sup>+</sup> en la capa de 25-50 cm, evidencia diferencia altamente significativa para el factor fertilización; y, diferencia significativa para la interacción fertilización y carbón. El CV para el K<sup>+</sup> de 00 a 25 cm es de 20,4 %, mientras que de 25 a 50 cm es de 19,7 % (Véase cuadro 15).

La figura 14 ilustra la prueba de Tukey para los valores promedio de potasio cambiante de 25 a 50 cm, referida al factor fertilización; y, entre fertilización y carbón. Hay diferencias de la concentración de potasio cambiante con la fertilización, a medida que se fertiliza los valores crecen. Además, cuando se fertilizó, se observaron diferencias estadísticas al aplicar biocarbón.



**Figura 14.** Prueba de Tukey del potasio cambiante de 25 a 50 cm para los factores fertilización y la interacción fertilización por carbón, en el experimento de San Francisco, 2013.

**Cuadro 14.** Valores promedio de pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, acidez cambiante (H<sup>+</sup> y Al<sup>3+</sup>), CIC y bases cambiables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) en cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de suelo, a los 8 meses de muestreo (después de la fertilización y plantación), en las capas de 00-25 y 25-50 cm del experimento San Francisco, 2013.

Tratamientos	pH		H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>		CIC		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		K <sup>+</sup>	
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>											
	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm
<b>1</b>	4,37	4,42	3,96	4,62	28,39	28,88	1,54	1,57	0,99	1,12	0,16	0,12
<b>2</b>	4,49	4,57	3,88	4,66	26,65	35,36	1,83	1,57	1,63	1,29	0,18	0,11
<b>3</b>	4,58	4,69	3,57	3,72	25,78	30,28	2,25	2,92	1,37	1,04	0,16	0,14
<b>4</b>	5,45	4,95	1,17	2,20	25,94	29,57	11,49	7,83	1,62	1,28	0,20	0,17
<b>5</b>	6,02	5,33	1,66	1,07	27,50	27,54	20,64	12,01	2,30	1,93	0,23	0,23
<b>6</b>	5,29	4,67	1,59	3,31	26,50	29,79	11,63	4,03	1,68	1,31	0,19	0,16
<b>7</b>	4,48	4,42	5,03	5,13	27,11	26,94	1,48	1,23	1,11	0,89	0,18	0,14
<b>8</b>	4,41	4,47	4,42	4,61	24,26	27,64	1,68	1,68	1,25	0,83	0,16	0,12
<b>9</b>	4,47	4,47	3,97	4,93	28,95	27,73	2,44	1,80	1,01	0,97	0,15	0,12
<b>10</b>	5,63	4,89	1,25	2,07	31,89	32,26	12,58	6,32	1,79	1,22	0,19	0,18
<b>11</b>	5,51	5,24	1,85	1,90	25,71	28,98	14,94	6,84	1,90	1,23	0,22	0,21
<b>12</b>	5,85	5,10	0,55	1,76	26,20	36,44	15,67	8,92	1,75	1,33	0,22	0,21

**Cuadro 15.** ANOVAS de los valores de pH<sub>H2O</sub>, acidez cambiante (H<sup>+</sup> y Al<sup>3+</sup>), CIC, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> para las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013.

Fuentes de Variación	Cuadrados medios											
	pH <sub>H2O</sub>		H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>		CIC		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		K <sup>+</sup>	
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm
<b>Bloque</b>	0,43 ns	0,05 ns	10,22 *	3,5 ns	74,91 ns	56,62 ns	19,23 ns	16,14 ns	0,76 ns	0,88 ns	0,0022 ns	0,01 *
<b>Especie arbórea</b>	0,01 ns	0,00021 ns	0,52 ns	0,22 ns	3,77 ns	0,69 ns	0,12 ns	3,31 ns	0,21 ns	0,75 ns	0 ns	0,0013 ns
<b>Error experimental (a)</b>	0,53	0,08	0,83	2,3	70,81	119,55	87,07	13,88	0,88	0,33	0,0027	0,00037
<b>Fertilización</b>	15,87**	3,36**	93,74**	78,77**	2,24 ns	20,12 ns	1911,8**	412,78**	4,5**	1,56 ns	0,02 ns	0,06**
<b>Fertilización x Esp. Arb.</b>	0,05 ns	0,13 ns	2,56 ns	2,1 ns	6,33 ns	175,87 ns	0,11 ns	0,07 ns	0,07 ns	0,0003 ns	0,00053 ns	0,00075 ns
<b>Error experimental (b)</b>	0,35	0,08	0,97	1,22	13,53	41,28	48,98	14,08	0,32	0,26	0,0039	0,00052
<b>Carbón</b>	0,06 ns	0,25 ns	1,27 ns	0,91 ns	21,76 ns	11,52 ns	36,33 ns	7,76 ns	0,7 ns	0,16 ns	0,0012 ns	0,00063 ns
<b>Fertilización x Carbón</b>	0,06 ns	0,23 ns	0,81 ns	1,94 *	6,27 ns	62,76 ns	35,47 ns	13,65 ns	0,02 ns	0,08 ns	0,0011 ns	0,0046 *
<b>Esp. Arb. x Carbón</b>	0,35 ns	0,08 ns	0,87 ns	0,32 ns	21,84 ns	28,11 ns	26,56 ns	19,93 ns	0,28 ns	0,34 ns	0,00048 ns	0,00054 ns
<b>Esp. Arb. x Fertilización x Carbón</b>	0,28 ns	0,18 ns	0,3 ns	3,34 *	29,06 ns	6,91 ns	23,42 ns	32,61 *	0,06 ns	0,05 ns	0,0011 ns	0,0022 ns
<b>Error experimental (c)</b>	0,16	0,05	1,47	0,54	19,67	38,37	26,61	8,71	0,23	0,12	0,0014	0,00097
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	7,92	6,01	44,18	22,09	16,38	20,57	63,05	62,44	31,33	29,3	20,36	19,66

**Cuadro 16.** Valores promedio de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, y Zn disponibles en las capas de 00-25 y 25-50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013.

Tratamientos	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm	00-25 cm	25-50 cm
<b>1</b>	7,46	5,89	10,17	8,11	0,22	0,20	1,52	1,23	0,82	1,35	252,58	174,05	12,72	8,60	0,67	0,59	2,65	2,53
<b>2</b>	7,76	6,01	8,01	4,18	0,21	0,15	1,45	0,70	1,67	0,88	250,94	185,73	10,71	7,51	0,63	0,58	2,42	2,36
<b>3</b>	7,57	6,66	5,77	2,41	0,21	0,16	1,78	1,63	1,82	0,97	168,71	125,62	10,18	9,38	0,64	0,55	2,07	2,02
<b>4</b>	10,30	5,52	53,57	34,65	0,24	0,21	6,96	4,33	1,43	1,56	135,64	140,44	5,58	6,40	5,11	2,18	2,08	2,25
<b>5</b>	8,18	7,39	83,89	48,38	0,28	0,29	8,07	6,14	2,80	1,88	125,53	148,93	5,62	7,38	5,38	3,50	1,85	2,30
<b>6</b>	7,51	7,51	74,28	36,07	0,23	0,19	6,24	2,76	1,34	1,58	210,70	230,72	6,40	4,73	3,16	1,22	2,25	2,36
<b>7</b>	5,49	4,50	10,39	3,27	0,21	0,15	1,10	0,72	0,87	0,98	249,31	217,14	11,63	5,95	0,65	0,51	2,70	2,47
<b>8</b>	6,52	7,93	7,87	2,63	0,20	0,15	1,20	1,09	0,81	1,10	242,39	225,81	11,51	7,36	0,62	0,54	2,70	2,42
<b>9</b>	10,30	5,52	7,37	4,26	0,19	0,15	1,77	1,08	1,14	1,15	227,60	247,47	7,66	5,62	0,59	0,53	2,36	2,30
<b>10</b>	14,76	5,53	88,50	41,01	0,23	0,22	8,31	4,31	1,88	1,29	177,34	193,99	3,68	4,74	6,12	2,06	2,02	2,13
<b>11</b>	8,50	5,52	56,39	49,45	0,24	0,26	6,89	5,54	1,57	1,04	193,90	217,22	4,06	5,27	8,27	3,45	2,13	2,36
<b>12</b>	8,37	6,69	96,08	57,11	0,28	0,25	7,49	4,74	2,33	1,87	202,46	200,48	3,93	3,66	7,04	3,26	2,42	2,47

**Cuadro 17.** ANOVAS de los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu disponibles para la capa de 00 a 25 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013.

Fuentes de Variación	Cuadrados medios								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm	00-25 cm
<b>Bloque</b>	24,93 ns	1677,16 ns	0,01 ns	18,51 ns	15,05 *	3922,49 ns	93,20 *	43,58 ns	0,82 ns
<b>Especie arbórea</b>	8,89 ns	318,37 ns	0,00083 ns	0,18 ns	0,54 ns	7390,65 ns	25,46 ns	19,78 ns	0,35 ns
<b>Error experimental (a)</b>	41,95	3170,76	0,0015	15,10	1,02	2575,85	4,66	33,84	0,18
<b>Fertilización</b>	52,21 *	54172,61 **	0,03 *	411,72 **	5,91 ns	39895,53 **	412,31 **	325,89 *	1,55 *
<b>Fertilización x Esp. Arb.</b>	12,55 ns	253,18 ns	0,0003 ns	1,46 ns	0,99 ns	999,46 ns	3,23 ns	20,61 ns	0,02 ns
<b>Error experimental (b)</b>	7,18	2305,65	0,0029	15,25	2,45	2719,41	16,19	37,89	0,15
<b>Carbón</b>	12,61 ns	204,26 ns	0,00031 ns	0,09 ns	1,01 ns	7,45 ns	7,75 ns	3,15 ns	0,04 ns
<b>Fertilización x Carbón</b>	52,02 ns	393,48 ns	0,002 ns	1,78 ns	0,38 ns	13157,94 *	14,89 ns	3,12 ns	0,67 ns
<b>Esp. Arb. x Carbón</b>	5,53 ns	1114,25 ns	0,0019 ns	2,13 ns	2,11 *	115,29 ns	4,50 ns	2,11 ns	0,09 ns
<b>Esp. Arb. x Fertilización x Carbón</b>	17,45 ns	1054,34 ns	0,0022 ns	2,06 ns	1,05 ns	5722,63 ns	1,49 ns	2,16 ns	0,0047 ns
<b>Error experimental (c)</b>	20,55	481,51	0,0019	4,27	0,42	2653,54	13,10	3,72	0,37
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	52,97	52,43	18,98	47,00	42,08	25,36	46,36	59,51	26,24

**Cuadro 18.** ANOVAS de los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu disponibles para la capa de 25 a 50 cm, a los ocho meses después de la fertilización y plantación en los doce tratamientos de suelo del experimento de San Francisco, 2013.

Fuentes de Variación	Cuadrados medios								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm	25-50 cm
<b>Bloque</b>	3,66 ns	1027,65 ns	0,01 ns	2,98 ns	7,87 ns	7266,80 ns	24,47 ns	0,81 ns	0,82 ns
<b>Especie arbórea</b>	3,6 ns	190,96 ns	0,0000021 ns	0,16 ns	0,21 ns	29327,31 ns	43,43 ns	0,99 ns	0,04 ns
<b>Error experimental (a)</b>	2,27	117,32	0,0045	1,82	3,25	6862,71	32,98	1,62	0,02
<b>Fertilización</b>	0,91 ns	19493,11**	0,07**	152,26**	2,59 ns	645,99 ns	49,86 ns	51,01**	0,74 ns
<b>Fertilización x Esp. Arb.</b>	1,41 ns	363,11 ns	0,0039 ns	1,36 ns	0,23 ns	4287,47 ns	0,98 ns	1,33 ns	0,02 ns
<b>Error experimental (b)</b>	9,00	483,50	0,0012	2,61	0,47	2941,74	21,95	1,49	0,27
<b>Carbón</b>	8,53 ns	82,86 ns	0,002 ns	3,18 ns	0,12 ns	1601,25 ns	4,28 ns	2,29 ns	0,02 ns
<b>Fertilización x Carbón</b>	2,29 ns	205,10 ns	0,01 ns	6,61 *	0,16 ns	4006,20 ns	5,15 ns	2,21 ns	0,32 ns
<b>Esp. Arb. x Carbón</b>	1,06 ns	167,88 ns	0,0021 ns	1,09 ns	0,40 ns	73,87 ns	1,84 ns	1,56 ns	0,08 ns
<b>Esp. Arb. x Fertilización x Carbón</b>	7,53 ns	68,77 ns	0,0028 ns	3,12 ns	0,45 ns	9874,28**	5,47 ns	1,45 ns	0,01 ns
<b>Error experimental (c)</b>	3,45	358,75	0,0029	1,66	0,64	1244,89	4,96	1,80	0,27
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	29,85	77,96	26,95	45,02	61,06	18,35	34,88	84,87	22,41 ns

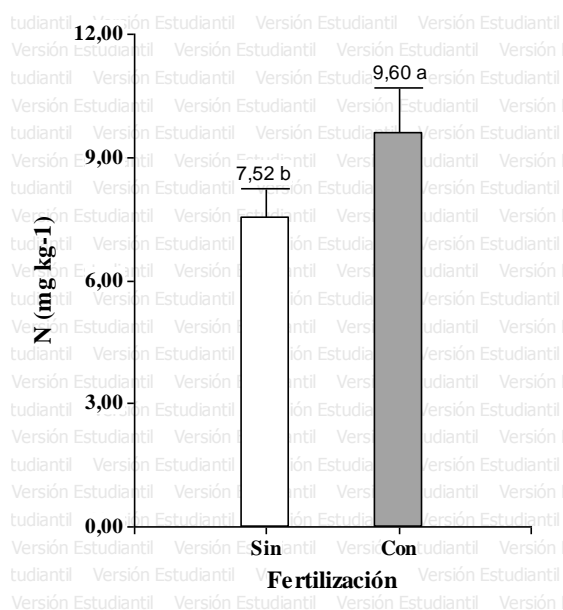
### 4.2.3. Nitrógeno Disponible

El nitrógeno disponible en la capa de 00 a 25 cm oscila entre 5,5 y 14,8 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T10 (arabisco, con fertilización y sin carbón vegetal), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm el N fluctúa entre 4,50 y 7,93 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal). (Véase cuadro 16).

Según los cuadros 17 y 18, hay diferencia altamente significativa sólo para el factor fertilización en la capa de 00 a 25 cm. El CV para el N es de 53,0 %.

En la figura 15 se ilustra la prueba de Tukey para los valores promedio de nitrógeno disponible de 00 a 25 cm, respecto al factor fertilización. El valor más alto de nitrógeno disponible corresponde a los suelos que recibieron fertilización, mostrando diferencia estadística con el valor de los tratamientos sin fertilización. No obstante, los valores se califican como bajos en las dos condiciones.



**Figura 15.** Prueba de Tukey del nitrógeno disponible de 00 a 25 cm para el factor fertilización, a los ocho meses de la fertilización y plantación del experimento de San Francisco, 2013.



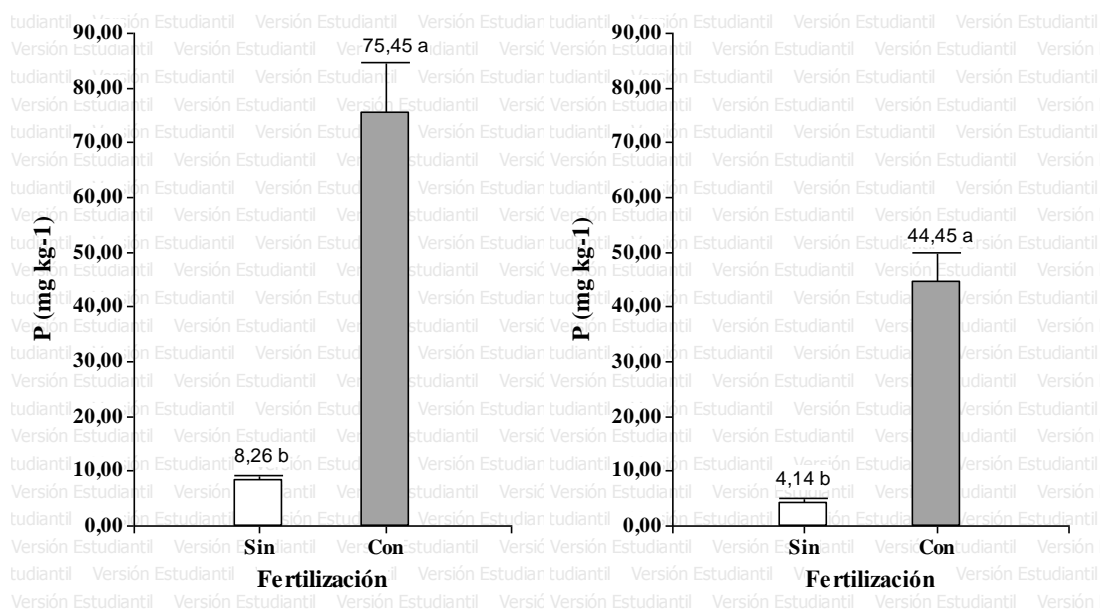
#### 4.2.4. Fósforo Disponible

El fósforo disponible en la capa de 00 a 25 cm se ubica entre 5,8 y 96,1 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), en su orden.

Para la capa de 25 a 50 cm el P oscila entre 2,4 y 57,1 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente. (Véase cuadro 16).

Según los cuadros 17 y 18, existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización en las dos capas. El CV para el P es de 52,4 y 78,0 % en las capas de 00 a 25 y de 25 a 50 cm, en su orden.

En la figura 16 se ilustra la diferencia estadística para los valores de fósforo disponible de 00 a 25 y de 25 a 50 cm para el factor fertilización. Se observa disminución del fósforo aprovechable con la profundidad. Los valores menores se dan en los tratamientos que no han recibido fertilización, los valores se encuentran en el rango bajo. Por el contrario, en los tratamientos fertilizados el fósforo disponible está en término alto para las dos capas.



**Figura 16.** Prueba de Tukey del fósforo disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

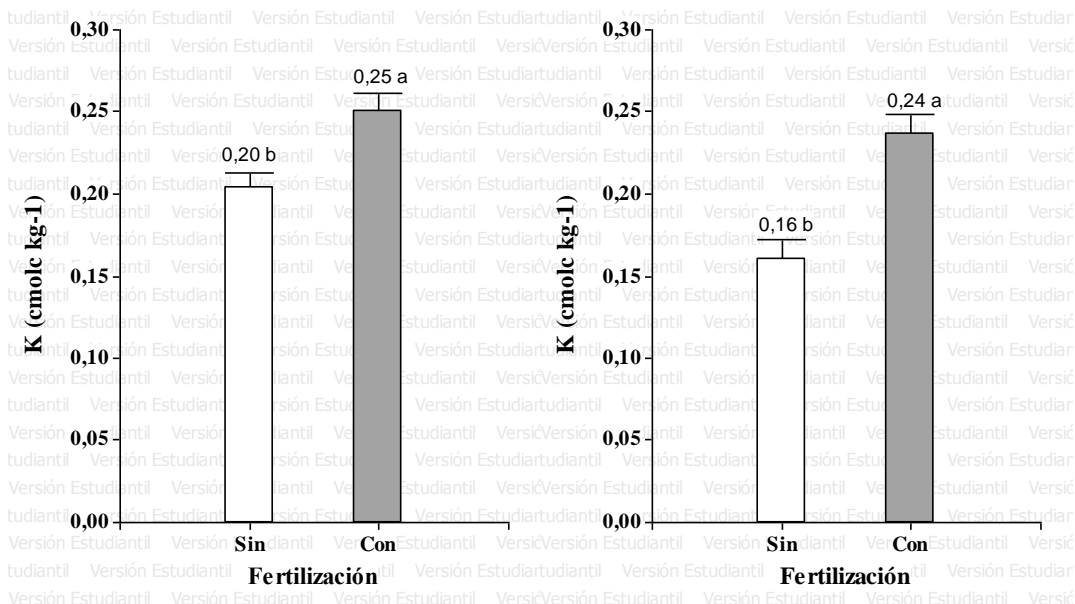
#### 4.2.5. Potasio Disponible

En la capa de 00 a 25 cm el potasio disponible oscila entre 0,19 y 0,28 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm el K fluctúa entre 0,15 y 0,29 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal) y los T7, T8 y T9 (arabisco, sin fertilización, con 0, 3 y 6 t/ha de carbón vegetal, en su orden). (Véase cuadro 16).

Según los cuadros 17 y 18, hay diferencia estadística del K<sup>+</sup> para el factor fertilización en las dos capas. El CV es de 19,0 y 27,0 % en las capas de 00 a 25 y de 25 a 50 cm, en su orden.

En la figura 17 se presenta la prueba de Tukey para los valores de potasio disponible en las capas de 00 a 25 y de 25 a 50 cm para el factor fertilización. Los valores menores se dan en los tratamientos que no han recibido fertilización, calificándose en el rango bajo, mientras que en los tratamientos fertilizados de las dos capas el potasio disponible está en el rango medio.



**Figura 17.** Prueba de Tukey del potasio disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

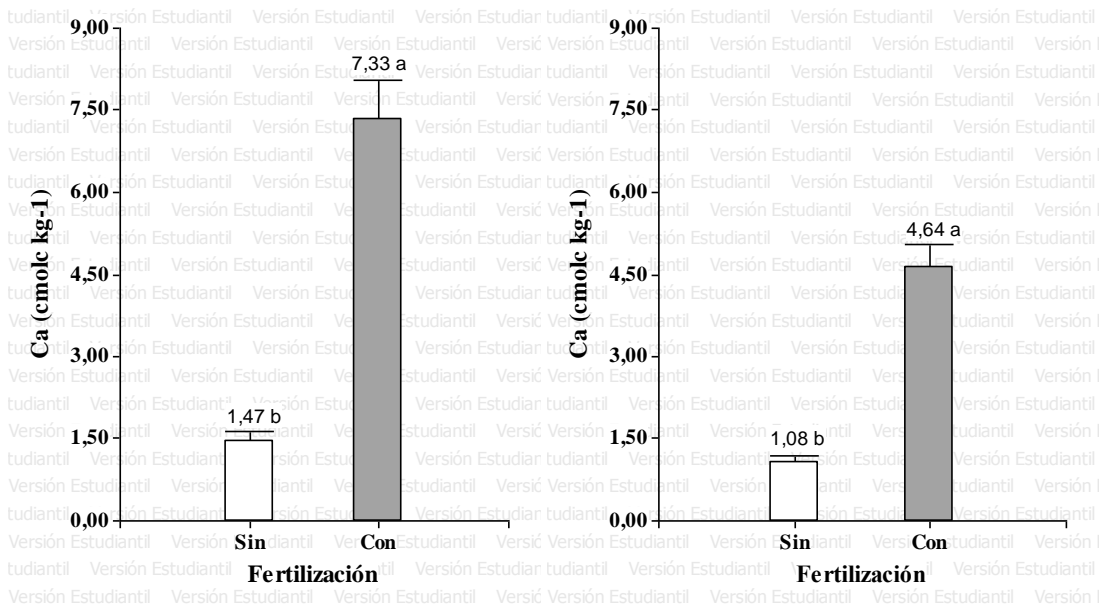
#### 4.2.6. Calcio Disponible

El calcio disponible en la capa de 00 a 25 cm se ubica entre 1,10 y 8,31  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T10 (arabisco, con fertilización y sin carbón vegetal), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm el Ca varía entre 0,70 y 6,14  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t de carbón vegetal), en su orden. (Véase cuadro 16).

Se evidencia que hay diferencia altamente significativa para el factor fertilización en las dos profundidades; y, diferencia en la combinación fertilización y carbón de 25 a 50 cm. El CV para el Ca es de 47,0 y 45,0 %, respectivamente. (Véase cuadros 17 y 18).

En la figura 18 se ilustra la prueba de Tukey para los valores de calcio disponible en las capas de 00 a 25 y de 25 a 50 cm para el factor fertilización. Los valores menores se dan en los tratamientos que no han recibido fertilización, ubicándose en el rango bajo, mientras que en los tratamientos fertilizados de las dos capas el calcio disponible está en el rango medio. Se observa disminución del  $\text{Ca}^{2+}$  en la capa de 25 a 50 cm.



**Figura 18.** Prueba de Tukey del calcio disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

#### **4.2.7. Magnesio Disponible**

En la capa de 00 a 25 cm el magnesio disponible se encuentra entre 0,81 y 2,80  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón); los valores se califican como bajo y alto, en su orden.

En la capa de 25 -50 cm los valores de  $\text{Mg}^{2+}$  varían entre 0,88 y 1,88  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para los tratamientos T2 (pachaco, sin fertilización y 3 t/ha de biocarbón) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón); los valores se interpretan como bajo y medio, respectivamente. (Véase cuadro 16).

Según los cuadros 17 y 18 hay diferencia estadística significativa con un nivel de significación del 5 % para la combinación especie arbórea y carbón vegetal en la capa de 0 a 25 cm. En la capa de 25 a 50 cm no se observan diferencias estadísticas para los factores estudiados. El CV para el Mg es de 42,1 y 61,1 %, en su orden.

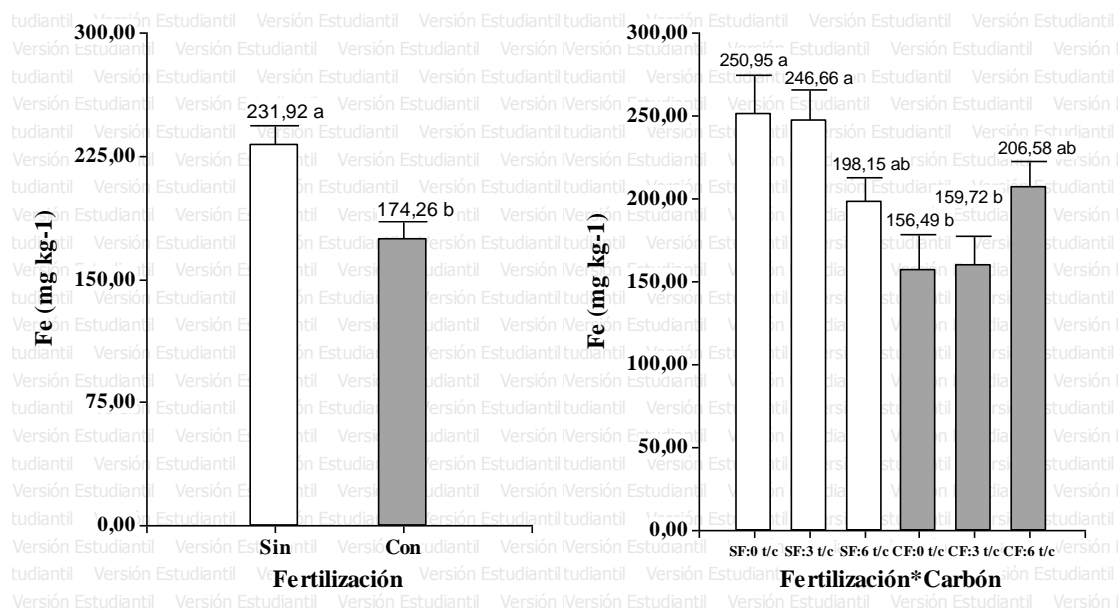
#### **4.2.8. Hierro Disponible**

El contenido de hierro disponible en la capa de 00 a 25 cm oscila entre 125,5 y 253,0  $\text{mg kg}^{-1}$  para los tratamientos T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de biocarbón) para el tratamiento T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón).

En la capa de 25 a 50 cm el Fe varía entre 125,6 y 247,5  $\text{mg kg}^{-1}$  para los tratamientos T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón) y T9 (arabisco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón). (Véase cuadro 16).

El ADEVA evidencia diferencia estadística altamente significativa para el factor fertilización y diferencia significativa para la interacción fertilización y carbón en la capa de 00 a 25 cm. También hay diferencia altamente significativa en la profundidad de 25 a 50 cm en la interacción especie arbórea, fertilización y carbón. El CV para el Fe es de 25,4 de 0 a 25 cm y 18,4 % de 25 a 50 cm. (Véase cuadro 17 y 18).

En la figura 19 se observa las diferencias respecto a la fertilización y la interacción fertilización con carbón. Los valores más altos de hierro se dan cuando no se ha fertilizado y encalado el suelo. Los valores se interpretan como altos en todos los casos. En relación a la fertilización y carbón, se ve que en los tratamientos sin fertilizar el Fe desciende gradualmente con el incremento de carbón vegetal. En los tratamientos fertilizados el hierro aumenta cuando se incrementa el carbón en el suelo.



**Figura 19.** Prueba de Tukey del hierro disponible de 00 a 25 cm para los factores fertilización y la interacción fertilización por carbón, en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

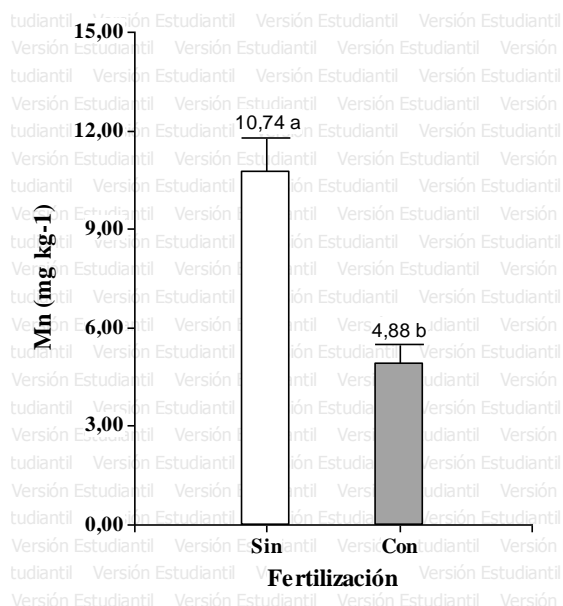
#### 4.2.9. Manganeso Disponible

En la capa de 00 a 25 cm, el manganeso disponible fluctúa entre 3,68 y 12,72 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T10 (arabisco, con fertilización y sin biocarbón) y T1 (pachaco, sin fertilización y sin biocarbón), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm el Mn fluctúa entre 3,66 y 9,38 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T12 (arabisco, con fertilización y 6 t/ha de biocarbón) y T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de biocarbón), en su orden. (Véase cuadro 16).

El ADEVA evidencia diferencia altamente significativa únicamente para el factor fertilización en la capa de 00 a 25 cm. No hay diferencias estadísticas para los factores estudiados en la capa de 25 a 50 cm. El CV para el Mn es de 46,4 y 34,9 % para las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, respectivamente. (Véase cuadros 17 y 18).

En la figura 20 se observan las diferencias respecto a la fertilización. El valor más alto de manganeso ocurre cuando no se ha fertilizado y encalado el suelo, valor que se califica como medio. Cuando se fertiliza y encala el suelo, el valor está en el rango de bajo.



**Figura 20.** Prueba de Tukey del manganeso disponible de 00 a 25 cm para el factor fertilización, a los ocho meses de la fertilización y plantación del experimento de San Francisco, 2013.

#### 4.2.10. Zinc Disponible

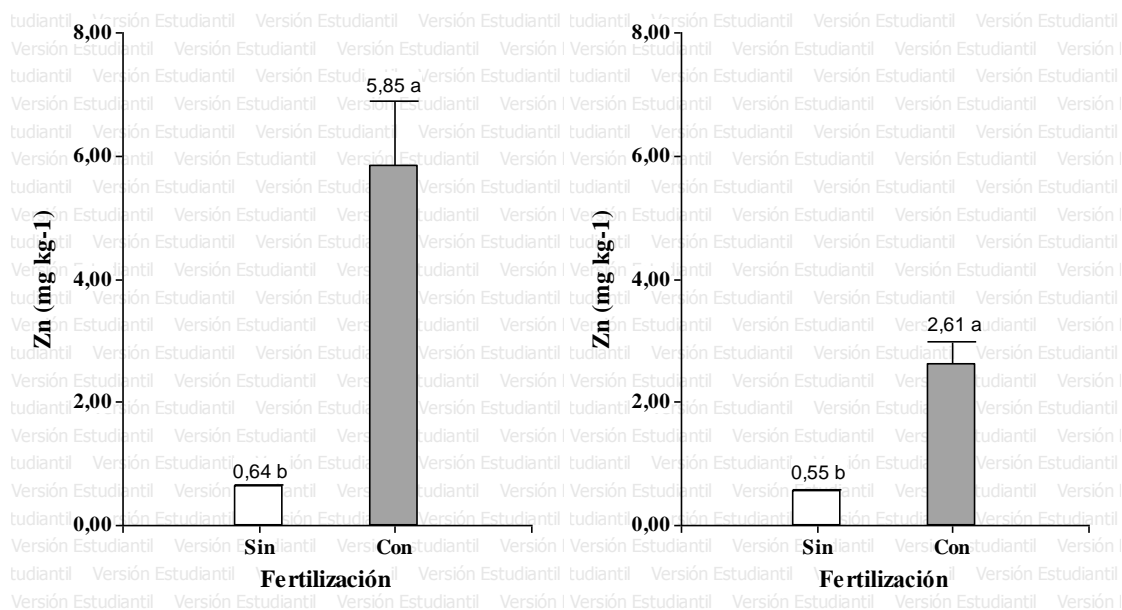
El zinc disponible en la capa de 00 a 25 cm varía entre 0,62 y 8,27 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T8 (arabisco, sin fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal) y T10 (arabisco, con fertilización y sin carbón vegetal), respectivamente.

En la capa de 25 a 50 cm el Zn fluctúa entre 0,51 y 3,50 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T7 (arabisco, sin fertilización y sin carbón vegetal) y T5 (pachaco, con fertilización y 3 t de carbón vegetal), en su orden. (Véase cuadro 16).

El ADEVA indica diferencia significativa para el factor fertilización en las dos capas. El CV para el Zn es de 59,5 y 84,9 % en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, respectivamente. (Véase cuadros 17 y 18).

En la figura 21 se observa una disminución del zinc entre las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm. Los menores valores (rango bajo) se dan Zn se dan cuando no se ha

fertilizado y encalado el suelo, mientras que cuando se fertiliza y encala el suelo el zinc está en el rango medio en las dos capas.



**Figura 21.** Prueba de Tukey del zinc disponible en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, a los ocho meses de la fertilización y plantación, 2013.

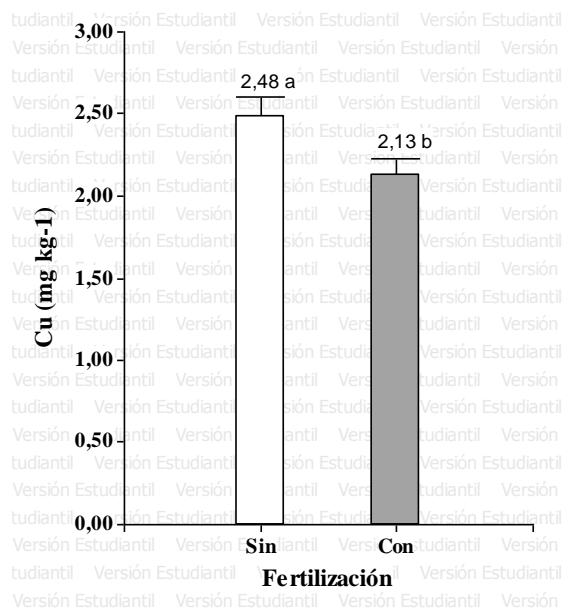
#### 4.2.11. Cobre Disponible

En la capa de 00 a 25 cm el cobre disponible fluctúa entre 1,85 y 2,70 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T5 (pachaco, con fertilización y 3 t/ha de carbón vegetal) y, T7 y T8 (arabisco, sin fertilización, con 0 y 3 t/ha de carbón vegetal, respectivamente), en su orden.

En la capa de 25 a 50 cm el Cu varía entre 2,02 y 2,53 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos T3 (pachaco, sin fertilización y 6 t/ha de carbón vegetal) y T1 (pachaco, sin fertilización y sin carbón vegetal), respectivamente. (Véase cuadro 16).

El ADEVA evidencia diferencia significativa sólo para el factor fertilización en la capa de 00 a 25 cm. No hay diferencias para los factores estudiados en la capa de 25 a 50 cm (Véase cuadros 17 y 18). El CV para el Cu es de 26,2 y 22,4 % en las capas de 00 a 25 cm y 25 a 50 cm, en su orden.

En la figura 22 se observan las diferencias de Cu disponible respecto a la fertilización. El valor más alto de cobre ocurre cuando no se ha fertilizado y encalado el suelo, valor que se califica como medio. En los tratamientos fertilizados que incluyeron la aplicación de cal, el Cu disponible está en el rango bajo.



**Figura 22.** Cobre disponible de 0 a 25 cm para el factor fertilización en el experimento de San Francisco, 2013.

#### 4.3 CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y LA EVALUACIÓN QUÍMICA

En el Cuadro 19 se presentan los valores del coeficiente de correlación( $r$ ) entre los contenidos de biomasa seca de la planta indicadora obtenidos en los suelos de los doce tratamientos del experimento de San Francisco para las diferentes soluciones carentes de uno de los nutrientes y los correspondientes contenidos de la forma disponible del elemento extraído con la solución de Olsen Modificada y analizado en el laboratorio siguiendo los procedimientos rutinarios establecidos por la RELASE. Además, se muestra la probabilidad (valor  $p$ ) asociado a la prueba de hipótesis de correlación nula entre las variables analizadas.

Se observan valores de correlación positivos para nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y zinc; mientras que los valores negativos aparecen para el hierro, manganeso y cobre.

Los valores de correlación lineal positivos con probabilidades aceptables hasta el 11 % varían entre 0,49 ( $p= 0,11$ ) para el Zn y 0,88 ( $p= 0,00018$ ) para el P. Los valores negativos de  $r$  fluctúan entre -0,59 ( $p= 0,04$ ) para el Cu y -0,73 ( $p= 0,01$ ) para el Fe. La correlación del N (0,21) se juzga no significativa, pues la probabilidad 0,51 es muy alta para considerarla en concluir lo contrario.



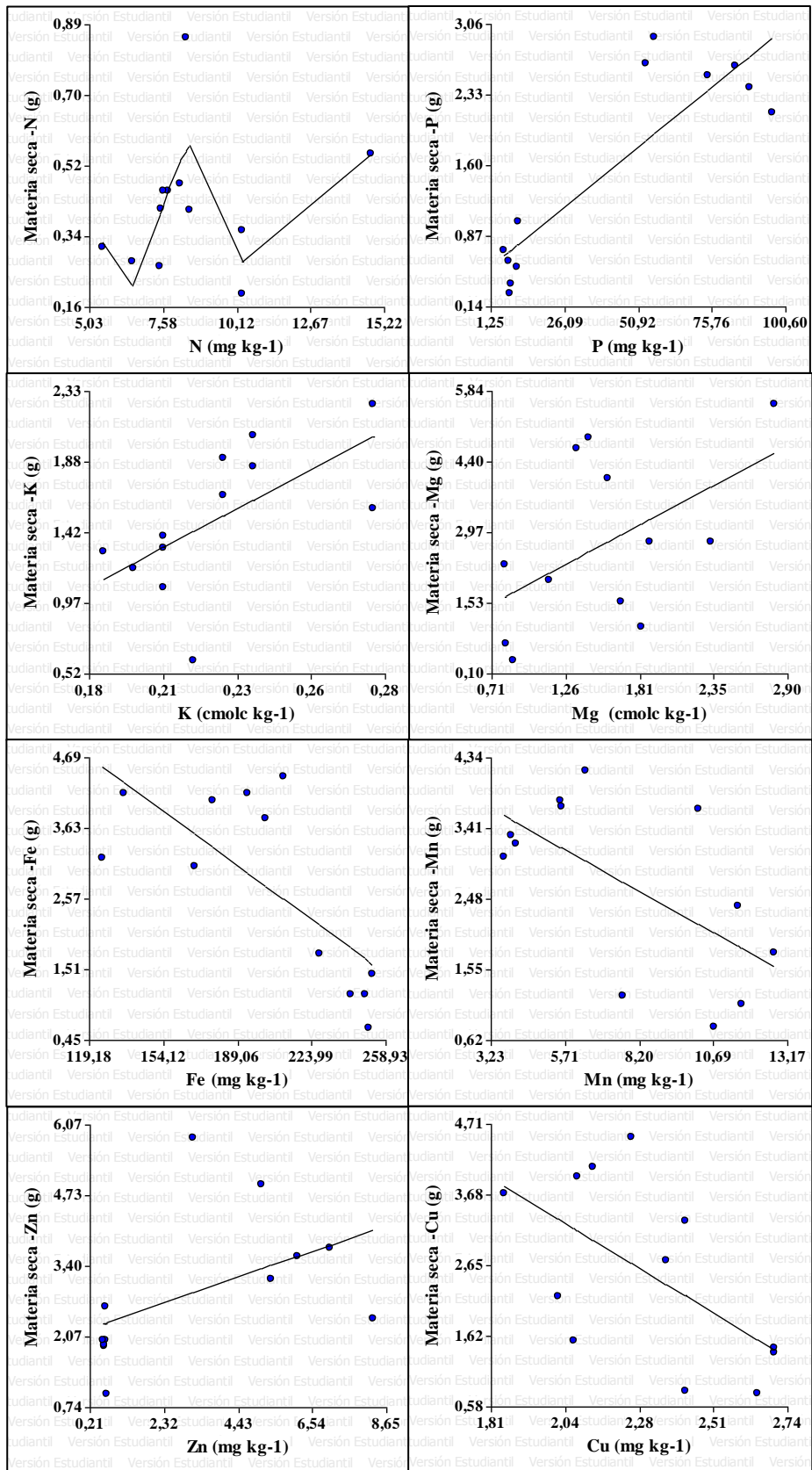
**Cuadro 19.** Valores del coeficiente de correlación (r) entre la biomasa total de la planta indicadora en las diferentes soluciones nutritivas y los contenidos de nutrientes (solución Olsen Modificada) de los doce tratamientos del experimento de San Francisco, 2013.

<b>Análisis Biológico</b> <b>Peso de la Materia</b> <b>Seca</b>	<b>Análisis Químico</b> <b>Concentración del</b> <b>Nutriente Disponible</b>	<b>Valor</b> <b>p</b>	<b>Coeficiente de</b> <b>correlación (r)</b>
- N	Nitrógeno	0,51	0,21
- P	Fósforo	0,00018	0,88
- K	Potasio	0,03	0,63
- Mg	Magnesio	0,08	0,52
- Fe	Hierro	0,01	-0,73
- Mn	Manganeso	0,03	-0,62
- Zn	Zinc	0,11	0,49
- Cu	Cobre	0,04	-0,59

En el cuadro 20 se presenta el análisis de regresión para la variable independiente: concentración del nutriente disponible extraído con la solución de Olsen Modificada; y, para la variable dependiente: peso de la materia seca de la planta indicadora, como resultado de la evaluación biológica de los suelos de los doce tratamientos del experimento de San Francisco, en el Panguí.

**Cuadro 20.** Análisis de regresión para el peso de materia seca del análisis biológico y el nutriente disponible del análisis químico, en los diferentes tratamientos de suelo del experimento San Francisco, 2013.

<b>Análisis Biológico</b> <b>Peso de la Materia</b> <b>Seca</b>	<b>Análisis Químico</b> <b>Concentración del</b> <b>Nutriente Disponible</b>	<b>Modelo de la</b> <b>regresión</b>	<b>p (&gt;0,05)</b>	<b>Coeficiente de</b> <b>determinación</b> <b>(R<sup>2</sup>)</b>
- N	Nitrógeno	Pol. grado 4	0,0784	0,53
- P	Fósforo	lineal	0,0002	0,77
- K	Potasio	lineal	0,0296	0,39
- Mg	Magnesio	lineal	0,054	0,58
- Fe	Hierro	lineal	0,0074	0,53
- Mn	Manganeso	lineal	0,0312	0,39
- Zn	Zinc	lineal	0,0238	0,71
- Cu	Cobre	lineal	0,0425	0,35



**Figura 23.** Diagramas de dispersión para el contenido de materia seca de la evaluación biológica y el nutriente extraído por Olsen Modificado en la evaluación química del suelo del experimento de San Francisco, 2013.

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ASPECTO DE LA PLANTA INDICADORA**

#### **5.1.1. Altura de la Planta y Materia Seca a los 50 Días**

##### **5.1.1.1. Solución –N**

Al observar con detalle los resultados e interpretación de altura de la planta indicadora y el peso de la materia seca, hay igual tendencia en los resultados. Los análisis de varianza muestran diferencias significativas con igual inclinación tanto para los tratamientos de suelo como para las soluciones estudiadas. Es por ello que se discutirá el análisis de la materia seca como variable más precisa y estudiada al momento de evaluar la fertilidad del suelo por el método biológico.

La altura y el peso de materia seca de la planta indicadora por ausencia del nitrógeno son muy bajos en relación a la solución completa, se observan claras limitaciones en todos los tratamientos de suelos del experimento de San Francisco incluyendo los que inicialmente recibieron 200 kg/ha de N.

Este limitado crecimiento de la planta indicadora en la solución sin nitrógeno conduce a señalar que una parte ha sido retenido en forma aprovechable por el carbón vegetal (posiblemente en forma de ión amonio  $\text{NH}_4^+$ ), una buena parte del elemento habría sido tomado por las especies arbóreas indicadoras; y, además se podría haber lixiviado o volatilizado, sosteniendo que con la urea es necesario tener en cuenta el alto potencial de volatilización del material (Bernal and Espinoza, 2008).

La mayor producción de biomasa en la evaluación biológica observada en los suelos de los tratamientos correspondientes a pachaco frente aquellos del arabisco, indicaría que el pachaco absorbió menos N; y, por ello se justifican los valores altos, respecto al arabisco.

##### **5.1.1.2. Solución –P**

El deficiente crecimiento y limitada producción de biomasa de la planta indicadora en la solución -P en los tratamientos sin fertilizar frente a los tratamientos encalados y fertilizados con 150 kg/ha de P, orienta a puntualizar que cuando se incorporó el fertilizante fosforado. De igual forma, hay estudios que demuestran que la

disponibilidad del P del suelo ha sido incrementada por el encalado (Kamprath and Smyth, 2005).

El limitado crecimiento de la planta indicadora en la solución sin fósforo frente a la solución completa en los suelos de los tratamientos fertilizados del experimento de San Francisco que inicialmente recibieron 150 kg/ha de P, conduce a presumir que una buena parte del elemento habría sido tomado por las especies arbóreas indicadoras; y, otra parte se podría haber cristalizado o fijado, si se considera que la velocidad de liberación es muy lenta para el P, que los suelos con altos contenidos de hierro y aluminio absorben el fosfato aplicado disminuyendo así la disponibilidad para las plantas (Buol, 2005). Consecuentemente, la cantidad de fósforo aplicada ha sido insuficiente para mantener el experimento de San Francisco.

Además, es posible que se haya producido contaminación del suelo al momento de hacer el muestreo, por tal razón los valores en la capa de 25 a 50 cm tiene un alto contenido de P.

#### **5.1.1.3. Solución –K**

El menor crecimiento de la planta indicadora en la solución sin potasio en los suelos de los tratamientos del experimento de San Francisco que recibieron 200 kg/ha de K, conlleva a afirmar que una parte ha sido retenido en forma aprovechable por el carbón vegetal (en forma iónica K<sup>+</sup>), una buena parte del elemento habría sido tomado por las especies arbóreas indicadoras. Además, cabe suponer que existió pérdida de K por lixiviación, por lo que el K habría migrado a la capa de 25 a 50 cm a causa de la intensa y frecuente precipitación, principalmente (INSTITUTE, 1997).

El incremento de la materia seca cuando se aplica 3 t/ha de carbón vegetal hace sospechar que este material estaría aportando K al suelo, ya que el carbón que se aplicó se constituye en un reservorio de K disponible (1726 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).

#### **5.1.1.4. Solución -Mg**

No se observó diferencia estadística en el contenido de materia seca entre la solución completa y la solución –Mg, pero sí se evidenció diferencias en los tratamientos fertilizados con Mg (118 kg/ha de Mg) y los que no se fertilizaron. Esto conduce a puntualizar que no hubo mayores pérdidas, ni se lixivió este nutriente. El encalado hizo disponible el magnesio al elevar el pH del suelo (Wood *et al.*, 2005); y,

adicionalmente el suministro de magnesio a través de la fertilización permitió que este elemento esté más aprovechable para las plantas.

Los mayores valores de biomasa de la planta indicadora en los tratamientos correspondientes al pachaco, indicarían que el arabisco ha sido más exigente en Mg.

#### **5.1.1.5. Solución -S**

El menor crecimiento de la planta indicadora en la solución sin azufre en relación con la solución completa en los suelos de los tratamientos del experimento de San Francisco que recibieron 184 kg/ha de azufre, conlleva a considerar que una parte del elemento aplicado ha sido retenido en forma aprovechable por el carbón vegetal (en forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y una buena parte habría sido tomado por las especies arbóreas indicadoras.

También, es posible que el carbón vegetal esté aportando  $\text{SO}_4^{2-}$ , pues se observan mayores pesos con la aplicación de 3 ó 6 t/ha de biocarbón.

Los mayores valores de materia seca que se observan en los tratamientos correspondientes al pachaco, indicarían que el arabisco ha sido ligeramente más exigente en S que el pachaco.

#### **5.1.1.6. Solución -Fe**

En el ANOVA de la materia seca no se observa diferencia entre la SC y –Fe. Pero sí se evidencia diferencia entre los tratamientos fertilizados y los no fertilizados, por cuanto hay mayor materia seca cuando se encala y fertiliza el suelo, ello conduce a afirmar que el encalado bajó su contenido a un nivel más cercano al óptimo para el aprovechamiento de las plantas (Mengel and Kosegarten, 2005).

#### **5.1.1.7. Solución -Mn**

Existe diferencia estadística entre la SC y la solución –Mn. Este hecho se debe a que en los suelos ácidos como San Francisco con altos contenidos de óxidos de Fe y Al frecuentemente contienen grandes cantidades de Mn soluble y disponible para las plantas (Kamprath and Smyth, 2005).

La diferencia que muestra mayor peso de materia seca entre los tratamientos con fertilización, se debería a que el  $\text{Mn}^{2+}$  estaría causando toxicidad en el suelo y que al corregir la acidez se estaría superando este problema (Adriano *et al.*, 2005), e incrementando el peso de la materia seca en la planta indicadora.

#### **5.1.1.8. Solución -B**

Las plantas en la solución –B presentan un contenido de materia seca considerablemente bajo en relación a la solución completa, con una proporción entre la SC y –B de 7,2:1. Es una de las deficiencia más acentuadas en los suelos de los doce tratamientos del experimento de San Francisco; al respecto el nutriente no está disponible en suelos lixiviados naturalmente ácidos, en condiciones de alta pluviosidad y alto grado de pérdidas por mineralización, consecuentemente la deficiencia en los suelos de los tratamientos de San Francisco es muy acentuada (Fageria and Baligar, 2005; Aparecida *et al.*, 2007).

Los mayores pesos con la aplicación de 3 ó 6 t/ha de biocarbón hace suponer que el carbón vegetal esté aportando B al suelo.

#### **5.1.1.9. Solución -Zn**

No se observó diferencia estadística en el contenido de materia seca entre la solución completa y la solución –Zn, pero sí se evidenció diferencias en los tratamientos fertilizados con Zn (40 kg/ha de Zn) y los que no se fertilizaron. Es pertinente puntualizar que no hubo mayores pérdidas de Zn en los suelos de los tratamientos del experimento de San Francisco a los cuales se les fertilizó. Es posible que existió contaminación del suelo al momento de hacer el muestreo, por tal razón los valores en la capa de 25 a 50 cm tiene un buen contenido de Zn.

Los mayores valores de materia seca de la planta indicadora que se observan en los tratamientos correspondientes al pachaco, indicarían que el arabisco ha sido ligeramente más ávido en Zn que el pachaco.

#### **5.1.1.10. Solución -Cu**

En el ANOVA de la materia seca se observa diferencia entre la solución SC y –Cu, con una proporción de 1,3:1. Se evidencia diferencia entre los tratamientos con y sin fertilización en la capa de 00 a 25 cm, hay mayor materia seca cuando se encaló y fertilizó el suelo, ello conduce a considerar que el encalado hizo disponible el Cu presente en el suelo (Mengel and Kosegarten, 2005).

Los mayores pesos con la aplicación de 3 ó 6 t/ha de biocarbón conlleva a suponer que el carbón vegetal esté aportando algo de Cu al suelo, pues el carbón incorporado tiene 0,20 mg kg<sup>-1</sup> de Cu.

### **5.1.2. Aspecto de la Planta Indicadora**

Se observó deficiencia de N en la planta indicadora en la solución nutritiva -N, que se caracterizó por un crecimiento pequeño; hojas bajas de color amarillento, tornándose luego azuladas para dar lugar a un posterior necrosamiento. Se concuerda con (Fageria and Baligar, 2005) en que el amarillamiento es una característica de esta deficiencia.

La deficiencia de boro fue la más grave, en la mayoría de plantas detuvo tempranamente el crecimiento y causó necrosis de las hojas; pues, se menciona que es esencial para la división celular y desarrollo (Fageria and Baligar, 2005).

La baja disponibilidad de fósforo en la solución -P produjo plantas de altura pequeña, hojas púrpuras y azuladas; y con arrugamientos en las hojas más viejas.

La deficiencia de potasio mostró crecimiento reducido y hojas amarillentas desde los ápices (Fageria and Baligar, 2005).

Los síntomas por deficiencia de azufre fueron muy particulares, crecimiento reducido, al inicio hubo una clorosis general, luego las hojas se tornaron de color púrpura intensificándose el color en el haz. Esto coincide con la descripción para la deficiencia de azufre hecha por Wood *et al.* (2005).

## **5.2. EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS Y DE FERTILIDAD DEL SUELO**

### **5.2.1. Reacción del Suelo y Acidez Cambiable**

La diferencia altamente significativa de los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  para el factor fertilización (que incluye la aplicación de 5 t/ha de cal) indica que el encalado ha tenido un incremento de una unidad en la reacción del suelo para la capa de 00 a 25 cm y 0,5 unidades en la capa de 25 a 50 cm. El incremento del pH hasta 5,6 en la capa de 0 a 25 cm, permitió neutralizar la acidez del suelo y prevenir la toxicidad de Al (Havlin, 2005).

En los tratamientos que no recibieron cal, los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  se mantienen en el rango de muy ácido (4,5), con presencia de aluminio soluble.

La diferencia altamente significativa para los valores de acidez cambiante ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ) a los ocho meses después de la plantación, para el factor fertilización en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm posibilitan sugerir que el encalado permitió superar los problemas químicos asociados con la acidez del suelo que incluyen altas concentraciones de iones ácidos ( $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ ).

El encalado permitió convertir los valores de acidez intercambiable del rango tóxico a medio para la capa de 00 a 25 cm. Para la capa de 25 a 50 cm se logró reducir a la mitad ( $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), aún así no fue posible bajar la acidez cambiante hasta un nivel de medio, por lo menos.

### **5.2.2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Respecto a la CIC de los suelos estudiados, ésta se ubicó en el rango de medio para los tratamientos fertilizados y para los que no recibieron fertilización; sin embargo, se observó una diferencia menor en los tratamientos sin cal y sin fertilizante, por lo que hace deducir que la cal elevó en algo la carga dependiente del pH.

### **5.2.3. Calcio Cambiable ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

En las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm de los tratamientos sin fertilización los valores promedio de  $\text{Ca}^{++}$  a los ocho meses después de la plantación se encuentran en el rango bajo; mientras que, en los tratamientos con fertilización los valores se ubican en el rango alto, lo cual se explica por la aplicación de cal en los tratamientos con fertilización ( $5 \text{ t/ha CaCO}_3$ ). El contenido alto de calcio en la capa de 25-50 cm permite afirmar que una parte del calcio aplicado de 00 a 25 cm, migró hacia la capa inferior.

### **5.2.4. Magnesio cambiante ( $\text{Mg}^{2+}$ )**

Los resultados del análisis de varianza para el  $\text{Mg}^{++}$ , indican diferencia altamente significativa para el factor fertilización en la capa de 00-25 cm, lo cual es explicable por la adición de este elemento en el paquete de fertilización empleado.

### **5.2.5. Potasio cambiante ( $\text{K}^+$ )**

En la capa de 00 a 25 no se muestra diferencia significativa para el potasio cambiante, pero es evidente el mayor contenido cuando se incorpora la fertilización.

En la capa de 25 a 50 cm hay diferencia altamente significativa entre los tratamientos con y sin fertilización a los ocho meses después de la plantación. En ambos casos los valores se encuentran en el rango bajo. El aumento de K se debe a la fertilización del suelo que logró disponer el potasio en el complejo de cambio. Si bien, no se logró elevar los valores a un nivel medio, se aumentó en parte la concentración de este elemento. Probablemente existió pérdida de K por lixiviación por estar



condicionado el suelo condiciones de intensa y frecuente precipitación (PPI, 1997), y además lo podrían haber tomado las especies arbóreas indicadoras.

Los mayores valores de potasio en los tratamientos fertilizados en interacción con carbón vegetal conllevan a considerar que el carbón vegetal ha retenido el  $K^+$ .

### **5.3. CORRESPONDENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y LA EVALUACIÓN QUÍMICA**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de correlación (Cuadro 19) entre los contenidos de biomasa seca de la planta indicadora de la evaluación biológica y los correspondientes contenidos de la forma disponible del elemento extraído con la solución de Olsen Modificada, se establece que únicamente el P presentó una interrelación fuerte; el K, Mg y Zn mostraron una moderada correlación; el N presentó débil correlación; y, finalmente las correlaciones para el Fe, Mn y Cu fueron negativas.

Estos valores indican que la solución de Olsen Modificada alcanzó a extraer los nutrientes en buena proporción en relación con la producción de biomasa del P de la planta indicadora. En el caso del K, Mg y Zn, en los cuales el valor del coeficiente de correlación oscila entre 0,49 y 0,63, considerada como moderada, la solución de Olsen Modificada explicaría en su orden el 39, 58 y 71% de los valores de producción de biomasa de la planta indicadora.

En todo caso merece mención especial el hecho de que los valores de biomasa en las soluciones -Fe, -Mn y -Cu, fueron mayores en los suelos fertilizados (aplicación de nutrientes y cal) que en los no fertilizados, para lo cual no se tiene una explicación contundente, sino más bien el entorno favorable de pH generado por el encalado.

Sin embargo, la solución de Olsen Modificada al parecer no extrae eficientemente el N, Fe, Mn y Cu del suelo en proporción similar al crecimiento de la planta indicadora en la evaluación biológica, por lo que la correlación es negativa.

## VI. CONCLUSIONES

- Las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) que crecieron en los doce tratamientos de suelo y en las diez soluciones carentes de los nutrientes disponibles, mostraron menor altura y peso de materia seca, respecto a la solución nutritiva completa.
- La altura y materia seca de la planta indicadora en la evaluación biológica fueron considerablemente mayores en los suelos tratados con cal y nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Zn), en relación a los tratamientos no tratados.
- El carbón vegetal independientemente de la dosis de 3 ó 6 t/ha ejerció efecto positivo en el desarrollo de la planta indicadora, en contraste con los tratamientos donde éste no se incorporó.
- El N, B, K y P resultaron ser los elementos deficientes en los suelos de todos los tratamientos del experimento de San Francisco (inclusive en aquellos que se aplicó N, P y K), con proporciones de biomasa del N, B, K y P en relación a la solución completa de: 7,6:1; 7,2:1; 2,1:1; y, 2,0:1, respectivamente. No resultaron deficientes el Zn, Fe, Mg, Mn y Cu, en su orden; el S se mostró en un nivel medio.
- El encalado en los suelos del experimento de San Francisco incrementó el pH de 4,5 a 5,6; redujo la acidez intercambiable de 4,1 a 1,3  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ; y, elevó los contenidos intercambiables de  $\text{Ca}^{2+}$  de 1,9 a 14,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  de 1,23 a 1,84  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  y  $\text{K}^+$  de 0,12 a 0,19  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .
- Los contenidos disponibles de N, P, K, Ca, Mg y Zn se incrementaron con el encalado y fertilización; por el contrario, aquellos del Fe, Mn y Cu disminuyeron.
- El N no presentó correlación significativa ( $r= 0,21$ ) entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada; mientras que el fósforo manifestó una fuerte correlación ( $r= 0,88$ );

el K, Mg y Zn mostraron una moderada correlación ( $r= 0,63; 0,52$  y  $0,49$ , respectivamente); y, finalmente las correlaciones para el Fe, Mn y Cu fueron negativas, en el orden de  $-0,73, -0,62$  y  $-0,59$ .

- El método biológico de la fertilidad fue sensible en la precisión de 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.
- La utilización de la solución extractora de Olsen Modificada merece ser revisada para el caso de los análisis de laboratorio de los elementos disponibles en los suelos del sur de la Amazonía Ecuatoriana.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Continuar los estudios orientados a evaluar biológicamente la fertilidad actual del suelo en las condiciones del trópico húmedo y otras regiones del país, para correlacionar los resultados obtenidos con los contenidos de la forma disponible del elemento extraído con la solución de Olsen Modificada del análisis químico.
- Investigar con técnicas de laboratorio que se adapten en reflejar datos lo suficientemente correlacionados con la técnica del elemento faltante o evaluación biológica de la fertilidad de los suelos, especialmente para los nutrientes Fe, Mn, Cu y N que mostraron correlación negativa y débil en esta investigación.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ABREU, C.; NOVAIS, R.; RAIJ, B.; RIBEIRO, A. 1994. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extractores químicos. R. Bras. Ci. Solo 18, 81-90.
- ADRIANO, D.; BOLAN, N.; VANGRONSVELD, J.; WENZEL, W. 2005. Heavy metals. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 181.
- ALVARADO, S.; CÓRDOVA, J.; LÓPEZ, M. 2000. Metodologías de análisis físico químico de suelos, aguas y foliares. INIAP, Quito, Ecuador. pp. 1-43.
- APARECIDA, C.; SCHEID, A.; GABRIELLI, G. 2007. Micronutrientes. In: Ferreira, R.; Álvarez, V.; Felix de Barros, N.; Fontes, R.; Bertola, R.; Lima, J. (Eds.), Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-Minas Gerais, p. 658.
- AUCATOMA, B. 2012. Intercomparación en matrices de suelos y tejido vegetal de los laboratorios de RELASE. SECS, Cuenca, Ecuador. pp. 1-8.
- BARIOGLO, C. 2006. Diccionario de las ciencias agropecuarias. Brujas, Argentina. p. 192.
- BERNAL, J.; ESPINOZA, J. 2008. Manual de nutrición y fertilización de pastos. INPOFOS, Quito, Ecuador. p. 8.
- BERTONI, J.; HOLANDA, F.; CARVALHO, J.; FURTINI, A. 2000. Efeito de cobre no crescimento de arroz inundado por inundação e eficiência do extractor DTPA na predição da disponibilidade de cobre. Ciência Agrotec 24, 62-73.
- BOLAN, N.; CURTIN, D.; ADRIANO, A. 2005a. Acidez. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 11-17.
- BOLAN, N.; KANDASWAMY, K. 2005. pH. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 197-202.
- BOLAN, N.; LOGANATHAN, P.; SAGGAR, S. 2005b. Calcium y magnesium in soils. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom, pp. 149-154.
- BUOL, S. 2005. Tropical soils: Humid tropical. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom, p. 190.
- BURNEO, 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 Ing. Agr. Loja, Ec., Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. pp. 22-25.

- CANCELA, R.; FREIRE, A.; ABREU, C.; PAZ, A. 2001. Eficacia de cuatro extractantes en la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. *Bragantia* 60, 205-212.
- CANTARELLA, H. 2007. Nitrogênio. In: Ferreira, R.; Álvarez, V.; Felix de Barros, N.; Fontes, R.; Bertola, R.; Lima, J. (Eds.), *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-Minas Gerais. pp. 432-437.
- CARRERA, G. 2008. Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELEASE). XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS, Quito. pp. 1-7.
- CARRERA, G.; AUCATOMA, B.; VICUÑA, E. 2010. Ejercicio de intercomparación de la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS, Santo Domingo, Ecuador. pp. 1-9.
- CASANOVA, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela, Caracas. pp. 198-199.
- COYNE, M.; FRYE, W. 2005. Nitrogen in soils: Cycle. In: Hillel, D. (Ed.), *Soils in the environment*. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 13.
- FAGERIA, N.; BALIGAR, V. 2005. Nutrient Availability. In: Hillel, D. (Ed.), *Soils in the environment*. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 63-71.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 1957. Informe de la reunión latinoamericana sobre fertilidad del suelo y fertilizantes. Turrialba, Costa Rica. p. 111.
- FRANCIS, C. 2005. Organic farming. In: Hillel, D. (Ed.), *Soils in the environment*. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 79.
- GLASER B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERG, G.; ZECH, W. 2001. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humids tropics. *Naturwissenschaften*. 88: 37-41.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*: 35:219-230.
- GUAYLLAS, J. 1988. Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarín, mediante un método biológico. Tesis Ing. Agr. Loja, Ec., Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencias Agrícolas. pp. 22-25.
- HARSH, J. 2005. Amorphous materials. In: Hillel, D. (Ed.), *Soils in the environment*. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 70.
- HAVLIN, J. 2005. Fertility. In: Hillel, D. (Ed.), *Soils in the environment*. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 10-19.

- HODGE, A. 2005. Nitrogen in soils: Plant uptake. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 39-40.
- PHOSPHORUS & POTASH INSTITUTE. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. PPI, México. p. 118.
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. 2010. Conozca la deficiencia de zinc. IPNI, Quito, Ecuador. pp. 48-100.
- JAMES, B. 2005. Buffering capacity. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 142.
- KAFKAFI, U.; KANT, S. 2005. Fertigation. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 6.
- KAMPRATH, E.; SMYTH, T. 2005. Liming. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 350-358.
- KARLEN, D. 2005. Productivity. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 335.
- KASS, D. 2001. Fertilidad de suelos. EUNED, Costa Rica. pp. 22, 44-47.
- KISSEL, D.; CABRERA, M. 2005. Ammonia. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 56.
- KRETZSCHMAR, R. 2005. Colloid-Facilitated sorption and transport. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 277.
- LADYGINA, N.; RINEAU, F. 2013. Biochar and soil biota. Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA. p. 2.
- LOPEZ, N. 2008. Biología y Geología. EDITEX, España. pp. 111 -112.
- MALLARINO, A. 2005. Testing of soils. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 143-149.
- MCDONALD, L.; EVANGELOU, V.; CHAPPELL, M. 2005. Cation exchange In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 181.
- MENGEL, K.; KOSEGARTEN, H.; 2005. Iron nutrition. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 266.
- MULLEN, M. 2005. Phosphorus in soils: Biological interactions. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 211.
- OWENS, P.; RUTLEDGE, E. 2005. Morphology. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 518.

- PARKER, D. 2005. Aluminum speciation. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 50.
- POWLSON, D.; ADDISCOTT, T. 2005. Nitrogen in soils: Nitrates. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 21.
- QADIR, M.; SCHUBERT, S.; STEFFENS, D. 2005. Phytotoxic substances in soils. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 219.
- RIBEIRO, G.; ROQUE, A. 2007. Elementos requeridos à nutrição de plantas In: Ferreira, R.; Álvarez, V.; Felix de Barros, N.; Fontes, R.; Bertola, R.; Lima, J. (Eds.), Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-Minas Gerais. p. 104.
- RODRIGUES, M.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. 2001. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 36, 143-149.
- SCHEINOST, A. 2005. Metal oxides. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 426.
- SCHULZE, D. 2005. Clay minerals. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 248.
- SHAINBERG, I.; LEVY, G. 2005. Flocculation and dispersion. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 27.
- SHERER, H. 2005. Fertilizers and fertilization. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 20-26.
- SHUMAN, L. 2005. Micronutrients. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 479-486.
- SIMS, J.; VADAS, P. 2005. Phosphorus in soils: Overview. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 202-209.
- SOHI, S. LOEZ - CAPEL, E., KRULL, E., BOL, R. 2009. "Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs". CSIRO Land and Water Science Report. pp. 64
- SORIANO, M. 2004. Prácticas de diagnóstico y fertilidad de suelos. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. p. 123.
- SPAARGAREN, O.; DECKERS, J. 2005. Factores of soil formation: Climate. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 514.
- TABATABAI, M. 2005a. Sulfur in soils: Nutrition. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. p. 92.



- TABATABAI, M. 2005b. Sulfur in soils: Overview. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 76-84.
- ULERY, A. 2005. Edaphology. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 421-425.
- VALAREZO, C. 2004. Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la región amazónica ecuatoriana y bajo sistemas agroforestales. UNL-PROMSA, Loja, Ecuador. pp. 3-43.
- VALAREZO, C.; MAZA, H.; CHAMBA, C.; VALAREZO, L.; MERINO, B.; VILLAMAGUA, M.; MORA, M.; GONZÁLEZ, R. 2010a. 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. Editorial Universitaria, Loja, Ec. pp. 65-80.
- VALAREZO, C.; MORA, M.; GONZÁLEZ, E. 2010b. Descripción de perfiles de suelos en San Francisco Alto. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. *s.p.*
- VAN DIEST, A. 1983. A biological method for the assesment on the nutritional status of a soil International course on vegetable growing International Agriculture Centre, Wageningen, The Netherlands. pp. 1-10.
- VARGAS, M.; BERTSH, F.; CORDERO, A. 1992. Comparación de métodos de extracción de fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible en vertisoles de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 1, 115-193.
- VILANOVA, J. s.f. Manual de geología aplicada. Imprenta Nacional, Madrid, España. p. 282.
- WIENHOLD, B.; VARVEL, G.; DORAN, J. 2005. Quality of soil. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 349-353.
- WOOD, C.; ADAMS, J.; WOOD, D. 2005. Macronutrients. In: Hillel, D. (Ed.), Soils in the environment. Elsevier, Oxford, United Kingdom. pp. 387-393.

## IX. ANEXOS

**Anexo 1.** Altura (cm) de la planta indicadora a los 50 días de edad, en las cuatro repeticiones de suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, para cada solución nutritiva, 2013.

TRATAMIENTO	SOLUCIONES										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Fe	-Mn	-B	-Zn	-Cu
<b>1</b>	<b>31,5</b>	<b>10,9</b>	<b>12,4</b>	<b>13,6</b>	<b>14,3</b>	<b>11,3</b>	<b>18,8</b>	<b>20,0</b>	<b>3,1</b>	<b>22,0</b>	<b>16,9</b>
T1_P1	49,0	10,0	12,4	12,7	10,8	15,8	25,1	17,3	4,1	22,0	16,9
T1_P2	19,0	10,9	13,6	15,8	14,3	12,5	16,8	19,8	3,1	27,1	13,6
T1_P3	31,5	11,8	12,4	11,1	18,1	8,6	19,4	22,9	2,1	16,9	16,9
T1_P4	26,4	10,9	11,2	14,8	14,0	8,2	14,0	20,0	3,1	22,0	20,2
<b>2</b>	<b>30,6</b>	<b>13,0</b>	<b>13,7</b>	<b>23,0</b>	<b>20,3</b>	<b>14,1</b>	<b>15,7</b>	<b>15,5</b>	<b>2,9</b>	<b>23,3</b>	<b>18,2</b>
T2_P1	26,5	13,5	13,7	23,0	20,3	13,5	20,0	15,5	2,5	22,0	17,3
T2_P2	28,5	13,0	12,0	23,0	20,3	11,0	15,7	14,0	3,3	18,0	19,5
T2_P3	33,5	12,5	17,0	24,5	15,0	15,7	14,0	14,0	2,9	27,5	19,9
T2_P4	34,0	13,0	12,0	21,5	25,5	16,0	13,0	18,5	2,9	25,5	16,0
<b>3</b>	<b>33,5</b>	<b>16,0</b>	<b>17,0</b>	<b>22,3</b>	<b>26,0</b>	<b>19,9</b>	<b>29,8</b>	<b>29,0</b>	<b>16,1</b>	<b>27,9</b>	<b>21,1</b>
T3_P1	39,0	18,0	22,0	21,5	26,0	18,0	29,0	30,4	16,1	20,5	21,1
T3_P2	33,0	14,0	17,0	23,0	31,5	27,5	32,5	29,0	19,2	29,0	25,4
T3_P3	25,0	16,0	14,3	22,3	20,4	18,6	29,8	24,3	16,1	33,7	21,1
T3_P4	37,0	16,0	14,8	22,3	26,0	15,4	27,9	32,4	13,0	28,2	16,8
<b>4</b>	<b>31,3</b>	<b>14,2</b>	<b>28,7</b>	<b>22,0</b>	<b>33,2</b>	<b>32,9</b>	<b>32,0</b>	<b>30,3</b>	<b>7,9</b>	<b>33,2</b>	<b>30,5</b>
T4_P1	33,5	13,2	27,3	22,0	39,5	36,0	32,0	32,5	8,0	25,5	32,8
T4_P2	35,6	16,0	30,5	20,2	30,0	38,8	35,3	32,0	10,0	33,2	32,9
T4_P3	34,5	13,9	30,0	22,8	32,2	32,9	30,2	32,5	5,6	40,9	25,6
T4_P4	21,4	13,5	26,8	22,9	31,0	23,9	30,5	24,3	7,9	33,2	30,5
<b>5</b>	<b>32,8</b>	<b>15,4</b>	<b>28,6</b>	<b>26,0</b>	<b>33,8</b>	<b>34,4</b>	<b>30,2</b>	<b>30,5</b>	<b>19,8</b>	<b>24,8</b>	<b>30,6</b>
T5_P1	33,0	18,0	39,0	33,0	34,5	33,0	33,0	41,0	21,0	19,0	38,2
T5_P2	41,0	15,0	20,0	25,0	36,0	41,5	30,6	32,0	19,8	21,5	24,5
T5_P3	31,0	15,0	29,5	23,0	32,0	31,4	31,5	17,5	19,8	31,0	33,0
T5_P4	26,0	13,5	26,0	23,0	32,5	31,5	25,5	31,5	18,5	27,8	26,5
<b>6</b>	<b>35,0</b>	<b>15,1</b>	<b>27,4</b>	<b>22,3</b>	<b>31,4</b>	<b>33,6</b>	<b>33,6</b>	<b>32,1</b>	<b>15,9</b>	<b>35,0</b>	<b>29,7</b>
T6_P1	38,5	18,0	32,9	23,5	33,5	40,0	30,5	30,0	15,9	37,0	22,2
T6_P2	39,5	14,7	21,0	25,0	32,0	34,0	35,3	38,3	15,9	32,5	37,6
T6_P3	33,0	17,0	28,3	19,0	32,7	33,5	33,5	32,6	19,5	34,0	29,0
T6_P4	29,0	10,8	27,4	21,5	27,5	27,0	35,0	27,5	12,3	36,5	30,0
<b>7</b>	<b>32,2</b>	<b>8,1</b>	<b>18,4</b>	<b>14,7</b>	<b>8,8</b>	<b>9,2</b>	<b>16,2</b>	<b>15,2</b>	<b>1,9</b>	<b>26,1</b>	<b>20,4</b>
T7_P1	35,4	8,1	19,0	18,6	8,8	9,2	23,5	15,2	1,8	23,4	20,4
T7_P2	36,6	8,1	23,1	11,3	5,9	9,2	13,6	22,6	1,9	26,8	17,4
T7_P3	29,7	8,2	13,2	17,2	11,7	9,4	16,2	9,9	1,9	26,1	20,4
T7_P4	27,0	7,9	18,4	11,8	8,8	9,0	11,5	13,1	2,0	28,2	23,4
<b>8</b>	<b>27,2</b>	<b>9,9</b>	<b>12,0</b>	<b>18,2</b>	<b>25,0</b>	<b>17,3</b>	<b>19,3</b>	<b>27,9</b>	<b>3,5</b>	<b>24,0</b>	<b>20,1</b>
T8_P1	33,5	9,9	12,0	18,0	18,2	17,4	18,4	33,2	2,8	22,8	20,1
T8_P2	26,2	9,5	12,0	17,5	28,0	20,3	18,6	23,3	3,5	23,7	16,9

Continuación...

<b>T8_P3</b>	27,2	10,4	14,5	17,0	23,2	17,3	19,3	27,9	3,5	25,5	23,3
<b>T8_P4</b>	21,8	9,7	9,5	20,3	30,5	14,2	21,0	27,2	4,2	24,0	20,2
<b>9</b>	<b>27,3</b>	<b>9,5</b>	<b>16,9</b>	<b>20,0</b>	<b>23,5</b>	<b>17,1</b>	<b>28,3</b>	<b>19,9</b>	<b>16,1</b>	<b>25,5</b>	<b>30,4</b>
<b>T9_P1</b>	25,4	11,5	16,9	20,0	23,5	17,1	36,0	14,5	17,6	24,1	30,4
<b>T9_P2</b>	29,6	3,8	19,4	21,4	23,5	13,8	24,4	19,9	15,2	26,4	30,4
<b>T9_P3</b>	27,1	13,3	14,3	22,5	20,1	20,4	28,3	26,8	17,2	25,3	31,8
<b>T9_P4</b>	27,2	9,5	16,9	16,1	26,8	17,1	24,4	18,3	14,3	26,2	28,9
<b>10</b>	<b>32,5</b>	<b>16,0</b>	<b>32,1</b>	<b>27,3</b>	<b>30,3</b>	<b>34,0</b>	<b>36,8</b>	<b>34,5</b>	<b>4,0</b>	<b>33,5</b>	<b>28,5</b>
<b>T10_P1</b>	35,5	21,0	25,0	28,7	34,3	33,5	39,5	34,0	3,5	33,5	31,5
<b>T10_P2</b>	28,0	18,5	32,1	29,0	30,0	28,0	36,0	39,3	4,5	39,5	33,5
<b>T10_P3</b>	35,0	14,3	35,2	25,0	26,0	39,0	38,5	34,5	4,0	24,0	20,5
<b>T10_P4</b>	31,5	10,0	36,2	26,5	31,0	35,5	33,0	30,2	4,0	37,0	28,5
<b>11</b>	<b>30,8</b>	<b>14,3</b>	<b>33,9</b>	<b>27,1</b>	<b>36,1</b>	<b>35,6</b>	<b>36,5</b>	<b>34,0</b>	<b>3,8</b>	<b>28,0</b>	<b>34,2</b>
<b>T11_P1</b>	30,8	15,2	36,0	32,8	40,4	44,4	38,2	27,7	3,8	30,5	38,0
<b>T11_P2</b>	30,9	14,5	34,2	28,6	36,1	35,3	40,8	33,3	3,9	29,5	36,4
<b>T11_P3</b>	32,0	12,8	33,0	21,0	37,8	35,9	31,6	38,0	4,1	34,5	32,0
<b>T11_P4</b>	29,4	14,6	32,4	25,9	30,0	26,8	35,3	37,1	3,3	17,5	30,5
<b>12</b>	<b>30,2</b>	<b>19,6</b>	<b>27,0</b>	<b>26,2</b>	<b>33,1</b>	<b>25,6</b>	<b>35,9</b>	<b>34,1</b>	<b>27,3</b>	<b>33,2</b>	<b>34,7</b>
<b>T12_P1</b>	30,3	22,5	29,8	28,0	32,0	16,0	33,0	32,0	30,8	33,2	33,6
<b>T12_P2</b>	26,0	22,0	19,0	28,5	38,0	32,6	35,4	31,8	26,2	34,5	32,8
<b>T12_P3</b>	33,5	18,5	30,0	26,2	29,0	31,4	41,4	37,4	23,4	35,0	42,0
<b>T12_P4</b>	31,0	15,5	29,1	22,0	33,3	22,5	33,7	35,2	28,8	30,0	30,2
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>31,2</b>	<b>13,5</b>	<b>22,3</b>	<b>21,9</b>	<b>26,3</b>	<b>23,7</b>	<b>27,7</b>	<b>26,9</b>	<b>10,2</b>	<b>28,0</b>	<b>26,3</b>

**Anexo 2.** Materia seca (g) de la planta indicadora en las cuatro repeticiones de suelos de los diferentes tratamientos del experimento de San Francisco, para cada solución nutritiva, 2013.

TRATAMIENTO	SOLUCIONES										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Fe	-Mn	-B	-Zn	-Cu
<b>1</b>	<b>3,03</b>	<b>0,26</b>	<b>0,54</b>	<b>0,60</b>	<b>0,70</b>	<b>0,33</b>	<b>1,44</b>	<b>1,77</b>	<b>0,02</b>	<b>0,98</b>	<b>0,77</b>
T1_P1	2,30	0,16	0,54	0,60	0,51	0,42	2,55	0,74	0,02	0,98	0,77
T1_P2	1,20	0,26	0,41	0,75	0,70	0,54	1,24	2,17	0,02	1,24	0,57
T1_P3	3,03	0,37	0,54	0,41	0,88	0,20	1,50	2,39	0,02	0,72	0,77
T1_P4	5,60	0,26	0,67	0,64	0,72	0,17	0,48	1,77	0,02	0,98	0,97
<b>2</b>	<b>2,70</b>	<b>0,46</b>	<b>0,37</b>	<b>1,40</b>	<b>1,55</b>	<b>0,48</b>	<b>0,64</b>	<b>0,79</b>	<b>0,02</b>	<b>1,88</b>	<b>0,82</b>
T2_P1	1,47	0,52	0,37	1,40	1,55	0,53	1,01	0,79	0,02	2,03	0,80
T2_P2	2,18	0,46	0,25	1,40	1,55	0,35	0,64	0,70	0,02	0,98	0,59
T2_P3	3,50	0,40	0,49	1,70	0,45	0,49	0,40	0,54	0,02	3,10	0,97
T2_P4	3,65	0,46	0,36	1,10	2,66	0,57	0,50	1,12	0,02	1,42	0,90
<b>3</b>	<b>3,37</b>	<b>0,46</b>	<b>0,72</b>	<b>1,32</b>	<b>1,06</b>	<b>0,84</b>	<b>3,06</b>	<b>3,67</b>	<b>0,71</b>	<b>2,64</b>	<b>1,54</b>
T3_P1	3,85	0,50	1,24	1,38	1,06	0,75	3,32	4,11	0,71	1,82	1,54
T3_P2	3,92	0,41	0,72	1,34	1,38	1,39	3,46	3,67	1,07	2,11	2,26
T3_P3	1,81	0,46	0,50	1,32	0,74	0,77	3,06	3,98	0,71	3,33	1,54
T3_P4	3,93	0,46	0,43	1,25	1,06	0,44	2,40	2,92	0,35	3,32	0,82
<b>4</b>	<b>4,35</b>	<b>0,36</b>	<b>2,65</b>	<b>1,85</b>	<b>4,90</b>	<b>3,43</b>	<b>4,15</b>	<b>3,78</b>	<b>0,24</b>	<b>4,93</b>	<b>3,95</b>
T4_P1	4,90	0,19	1,50	1,20	4,80	3,50	2,80	3,90	0,41	4,80	5,20
T4_P2	4,50	0,56	3,20	2,10	5,50	4,90	4,20	3,10	0,23	4,90	5,60
T4_P3	5,40	0,24	3,50	2,20	5,00	3,43	5,00	4,20	0,08	5,10	2,00
T4_P4	2,60	0,44	2,40	1,90	4,30	1,90	4,60	3,90	0,24	4,93	3,00
<b>5</b>	<b>4,33</b>	<b>0,48</b>	<b>2,63</b>	<b>2,25</b>	<b>5,58</b>	<b>4,23</b>	<b>3,18</b>	<b>3,70</b>	<b>0,95</b>	<b>3,15</b>	<b>3,70</b>
T5_P1	4,10	0,66	2,80	2,70	6,60	4,10	3,70	6,70	0,86	2,50	4,00
T5_P2	5,50	0,46	1,50	1,20	5,90	5,80	3,20	4,00	0,95	1,90	2,70
T5_P3	4,00	0,42	4,00	2,90	5,70	3,80	3,50	1,60	0,95	3,50	4,60
T5_P4	3,70	0,36	2,20	2,20	4,10	3,20	2,30	2,50	1,04	4,70	3,50
<b>6</b>	<b>5,00</b>	<b>0,41</b>	<b>2,53</b>	<b>1,66</b>	<b>4,68</b>	<b>3,70</b>	<b>4,40</b>	<b>4,18</b>	<b>0,69</b>	<b>5,83</b>	<b>4,53</b>
T6_P1	4,80	0,39	3,30	1,80	4,40	4,30	3,90	2,90	0,69	5,70	2,50
T6_P2	5,70	0,40	0,98	2,00	6,10	3,10	4,70	4,80	0,69	5,60	6,20
T6_P3	5,20	0,66	3,30	1,35	4,50	3,90	4,40	4,70	0,86	5,40	3,70
T6_P4	4,30	0,19	2,53	1,50	3,70	3,50	4,60	4,30	0,53	6,60	5,70
<b>7</b>	<b>2,84</b>	<b>0,31</b>	<b>1,02</b>	<b>1,07</b>	<b>0,36</b>	<b>0,21</b>	<b>1,13</b>	<b>1,09</b>	<b>0,02</b>	<b>2,00</b>	<b>1,38</b>
T7_P1	3,34	0,31	1,08	1,47	0,36	0,21	2,22	1,02	0,01	1,34	1,38
T7_P2	3,35	0,31	1,43	0,29	0,10	0,21	0,73	2,15	0,02	2,02	0,98
T7_P3	1,70	0,30	0,56	2,01	0,61	0,31	1,13	0,50	0,02	2,00	1,38
T7_P4	2,98	0,33	1,02	0,52	0,36	0,12	0,43	0,70	0,03	2,65	1,77
<b>8</b>	<b>2,34</b>	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>	<b>1,20</b>	<b>2,32</b>	<b>0,91</b>	<b>1,14</b>	<b>2,39</b>	<b>0,05</b>	<b>1,91</b>	<b>1,44</b>
T8_P1	2,35	0,28	0,27	1,01	1,22	0,77	1,50	2,35	0,01	0,96	1,44
T8_P2	2,07	0,21	0,27	1,08	2,78	1,38	0,98	1,87	0,05	2,12	0,69
T8_P3	2,34	0,33	0,35	1,47	2,35	0,91	1,14	2,39	0,05	2,64	1,78
T8_P4	2,59	0,28	0,18	1,22	2,93	0,59	0,93	2,95	0,10	1,91	1,85

Continuación...

<b>9</b>	<b>1,75</b>	<b>0,19</b>	<b>0,60</b>	<b>1,30</b>	<b>2,00</b>	<b>1,13</b>	<b>1,75</b>	<b>1,20</b>	<b>0,72</b>	<b>2,01</b>	<b>2,72</b>
T9_P1	1,62	0,12	0,60	1,30	2,00	1,13	2,47	0,34	0,80	1,90	2,72
T9_P2	2,01	0,03	0,59	1,38	2,00	0,96	1,32	1,20	0,70	2,13	2,72
T9_P3	1,56	0,43	0,61	1,68	1,40	1,31	1,75	1,89	0,80	2,00	3,74
T9_P4	1,81	0,19	0,60	0,85	2,59	1,13	1,45	1,37	0,60	2,03	1,69
<b>10</b>	<b>2,60</b>	<b>0,55</b>	<b>2,40</b>	<b>1,90</b>	<b>2,78</b>	<b>4,00</b>	<b>4,05</b>	<b>3,03</b>	<b>0,03</b>	<b>3,58</b>	<b>2,20</b>
T10_P1	2,20	0,80	1,70	1,70	3,20	3,20	5,30	3,40	0,03	3,70	1,70
T10_P2	1,80	0,72	2,40	1,90	3,00	3,80	4,10	4,00	0,04	4,20	2,00
T10_P3	3,60	0,51	2,90	1,80	2,90	4,20	4,20	3,03	0,03	1,70	2,00
T10_P4	2,80	0,19	2,60	2,20	2,00	4,80	2,60	1,70	0,03	4,70	3,10
<b>11</b>	<b>3,30</b>	<b>0,41</b>	<b>2,93</b>	<b>2,05</b>	<b>4,07</b>	<b>3,78</b>	<b>4,15</b>	<b>3,20</b>	<b>0,05</b>	<b>2,40</b>	<b>4,08</b>
T11_P1	3,30	0,45	4,40	2,40	5,50	5,20	4,00	1,80	0,05	2,00	4,50
T11_P2	3,00	0,35	2,30	1,90	4,07	2,70	4,60	2,50	0,04	3,10	5,00
T11_P3	3,60	0,32	2,10	1,60	3,80	5,10	3,00	4,50	0,08	3,40	4,00
T11_P4	3,30	0,51	2,90	2,30	2,90	2,10	5,00	4,00	0,05	1,10	2,80
<b>12</b>	<b>2,50</b>	<b>0,85</b>	<b>2,14</b>	<b>1,58</b>	<b>2,78</b>	<b>2,13</b>	<b>3,78</b>	<b>3,33</b>	<b>1,83</b>	<b>3,75</b>	<b>3,30</b>
T12_P1	2,60	0,49	2,10	1,50	2,80	1,60	4,00	3,00	1,50	4,00	2,10
T12_P2	3,50	1,16	2,40	1,70	2,80	1,90	4,50	2,90	2,10	3,20	4,60
T12_P3	2,00	1,11	1,35	1,70	3,80	4,20	3,30	2,90	1,60	3,90	3,10
T12_P4	1,90	0,65	2,70	1,40	1,70	0,81	3,30	4,50	2,10	3,90	3,40
	<b>3,18</b>	<b>0,42</b>	<b>1,56</b>	<b>1,51</b>	<b>2,73</b>	<b>2,10</b>	<b>2,74</b>	<b>2,68</b>	<b>0,44</b>	<b>2,92</b>	<b>2,53</b>

**Anexo 3.** Análisis químico de los 12 tratamientos de suelo del Experimento San Francisco en las capas de 00 a 25 y 25 a 50 cm y el biocarbón aplicado.



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y  
BROMATOLOGIA  
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Zamora Chinchipe	FECHA DE INGRESO:	16 de enero de 2012
Cantón:	El Pangui	FECHA DE EGRESO:	28 de mayo de 2013
Parroquia:	El Pangui	RESPONSABLE:	Orly Milton Mendoza Aguirre
Sector o Proyecto:	San Francisco Alto		

N° CAMPO	N° LAB.	pH	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CIC	NUTRIENTES DISPONIBLES								
									N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
									cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
B1 T1 25	97	4,1	3,33	0,27	0,11	0,08	0,85	24,37	6,06	2,62	69,48	0,55	0,21	204,25	5,8	1,79	0,52
B1 T2 25	98	4,4	2,47	1,01	0,17	2,04	1,66	18,93	5,80	0,20	84,22	1,48	0,54	177,58	12,6	1,79	0,69
B1 T3 25	99	4,4	3,88	1,82	0,13	1,42	1,52	18,23	7,80	3,74	77,91	0,99	0,52	170,14	7,7	2,24	0,56
B1 T4 25	100	5,6	0,46	0,34	0,15	7,39	1,23	21,81	5,57	35,83	86,33	5,64	1,93	90,52	4,9	1,56	5,66
B1 T5 25	101	5,7	4,44	4,28	0,24	15,86	1,68	24,29	12,37	93,28	150,56	10,37	4,60	110,70	12,3	2,25	6,31
B1 T6 25	102	5,2	1,37	1,09	0,17	7,78	2,12	26,44	9,02	76,77	84,22	4,39	1,77	271,10	4,6	2,48	3,05
B1 T7 25	103	4,4	4,37	1,45	0,13	1,36	1,75	24,75	10,74	10,11	65,27	0,82	0,94	257,73	8,2	2,25	0,69
B1 T8 25	104	4,4	4,15	1,37	0,13	1,49	1,30	20,16	7,76	6,79	72,64	1,04	0,83	251,14	7,7	2,93	0,65
B1 T9 25	105	4,3	4,12	1,26	0,12	1,44	1,12	29,10	9,72	10,47	66,32	1,11	1,04	217,70	6,9	2,48	0,62
B1 T10 25	106	6,6	0,41	0,34	0,22	20,74	2,55	26,97	5,91	152,12	104,23	14,10	3,01	163,81	4,1	1,79	13,70
B1 T11 25	107	6,5	0,56	0,47	0,32	32,32	3,58	25,42	6,37	119,50	118,97	12,37	2,98	137,17	4,5	1,34	21,72
B1 T12 25	108	6,5	0,37	0,29	0,30	19,20	2,63	28,22	5,77	201,47	140,03	9,98	3,30	177,43	3,0	2,25	16,91
B1 T1 50	109	4,4	4,57	1,45	0,13	1,38	1,66	24,09	5,92	22,05	138,98	1,08	2,61	184,12	3,4	2,25	0,71
B1 T2 50	110	4,6	3,15	0,91	0,10	1,71	2,24	34,79	5,41	7,15	55,79	0,79	0,77	164,00	9,2	1,56	0,78
B1 T3 50	111	4,6	3,26	1,00	0,11	2,46	1,23	26,44	5,05	0,98	57,90	1,12	0,90	123,87	8,5	2,25	0,54
B1 T4 50	112	5,1	2,04	0,82	0,13	8,05	1,58	40,74	5,17	35,48	61,06	4,48	2,78	137,23	10,2	2,25	1,11
B1 T5 50	113	5,6	0,39	0,31	0,26	14,07	1,54	28,34	7,41	38,23	122,13	6,21	1,70	117,06	14,0	2,70	3,94
B1 T6 50	114	4,6	3,38	1,34	0,16	2,16	1,65	27,72	11,22	21,93	92,65	1,87	1,27	284,58	5,8	2,25	0,82
B1 T7 50	115	4,5	4,13	1,17	0,08	1,06	0,99	27,64	6,21	1,85	38,94	0,72	0,81	203,92	4,3	1,56	0,50
B1 T8 50	116	4,5	4,10	1,28	0,09	1,65	0,94	25,72	5,30	1,89	45,26	1,15	2,93	230,71	5,9	2,02	0,44
B1 T9 50	117	4,4	4,21	1,13	0,11	1,46	1,30	35,95	6,47	1,81	53,69	1,08	2,75	224,30	4,6	1,79	0,51



Continuación...



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA  
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

B1 T10 50	118	4,7	2,80	0,92	0,19	1,79	1,82	31,54	4,34	20,94	82,12	3,13	2,78	157,07	6,2	1,79	1,48
B1 T11 50	119	5,9	0,49	0,43	0,16	3,75	2,12	34,98	6,28	61,76	77,91	7,19	1,79	150,82	5,1	1,34	4,97
B1 T12 50	120	4,9	2,03	0,75	0,23	6,88	2,12	40,65	4,92	31,81	107,39	4,08	5,39	156,88	3,5	2,01	2,88
B2 T1 25	121	4,7	1,85	0,75	0,22	3,19	1,52	26,67	7,89	2,82	128,45	3,51	2,20	223,85	20,9	2,24	0,86
B2 T2 25	122	4,4	4,13	1,45	0,17	1,35	1,68	26,54	9,00	6,24	92,65	1,97	4,92	350,90	15,6	3,61	0,66
B2 T3 25	123	4,9	2,15	0,89	0,18	3,09	1,63	28,04	7,74	5,28	91,59	3,04	5,57	150,82	16,3	2,25	0,75
B2 T4 25	124	6,3	0,41	0,35	0,28	22,80	2,32	23,01	6,75	58,06	132,66	12,00	2,12	97,20	8,3	2,48	8,77
B2 T5 25	125	5,8	0,55	0,49	0,20	13,07	1,47	26,14	5,59	43,55	101,07	6,80	4,28	104,01	3,3	1,57	3,10
B2 T6 25	126	5,2	0,54	0,34	0,23	10,30	1,74	26,24	8,22	59,94	110,55	4,86	1,96	130,55	14,9	2,70	4,27
B2 T7 25	127	4,7	4,28	1,70	0,22	1,53	0,95	26,71	31,86	6,33	93,70	1,02	1,51	297,96	18,4	3,39	0,70
B2 T8 25	128	4,4	3,61	1,23	0,18	2,29	1,42	25,72	9,07	5,86	82,12	1,62	1,43	217,27	22,2	2,47	0,68
B2 T9 25	129	4,9	1,38	0,54	0,20	5,70	1,48	26,10	6,12	3,69	93,70	4,10	2,66	217,62	8,8	2,48	0,69
B2 T10 25	130	5,8	0,34	0,24	0,21	13,72	2,35	27,01	5,71	134,69	97,91	8,71	3,06	183,90	4,1	2,25	7,14
B2 T11 25	131	6,0	0,38	0,32	0,19	13,83	1,63	26,26	9,20	38,81	88,44	9,10	2,02	203,92	3,9	2,25	6,69
B2 T12 25	132	5,6	0,76	0,72	0,20	14,66	1,49	25,33	21,48	44,21	104,23	6,22	4,43	217,44	6,9	3,61	4,95
B2 T1 50	133	4,6	3,21	1,01	0,13	2,33	1,22	28,59	7,03	2,43	65,27	2,07	2,03	177,50	19,8	2,48	0,72
B2 T2 50	134	4,7	4,29	1,13	0,11	1,39	1,22	32,05	8,63	0,21	45,26	0,12	1,83	230,99	9,3	3,85	0,58
B2 T3 50	135	4,8	2,39	0,97	0,13	2,95	1,30	26,28	5,96	2,92	64,22	2,65	1,95	117,29	18,2	2,25	0,67
B2 T4 50	136	5,1	1,29	0,55	0,15	7,97	1,22	26,73	4,52	12,43	70,53	4,48	1,82	90,60	6,2	2,25	2,07
B2 T5 50	137	4,9	1,68	0,88	0,21	6,46	1,77	24,68	5,76	16,91	133,71	4,10	3,79	150,76	7,0	2,02	1,10
B2 T6 50	138	4,7	3,11	1,59	0,15	3,66	1,35	32,78	3,99	10,08	53,69	3,03	3,62	137,17	6,1	2,47	1,04
B2 T7 50	139	4,4	5,36	1,92	0,14	1,32	0,58	27,71	5,80	1,61	65,27	0,67	2,39	216,92	7,3	2,92	0,58
B2 T8 50	140	4,5	4,26	1,54	0,11	2,05	0,72	37,57	4,62	0,46	49,47	1,19	0,56	137,34	7,3	2,02	0,60
B2 T9 50	141	4,7	4,76	2,46	0,11	2,76	0,58	29,59	4,24	1,91	49,47	1,57	0,98	164,07	6,2	2,48	0,56
B2 T10 50	142	5,0	1,60	0,80	0,18	6,23	0,70	50,32	3,38	41,89	77,91	4,00	0,86	197,32	3,7	2,47	1,67
B2 T11 50	143	5,4	1,10	0,68	0,26	12,61	0,74	33,33	10,96	32,48	127,40	6,88	0,83	230,43	4,2	2,47	3,36
B2 T12 50	144	4,9	1,77	0,73	0,18	7,55	0,64	36,39	6,11	44,75	78,96	2,84	0,60	210,59	3,6	3,38	5,15
B3 T1 25	145	4,5	4,92	1,90	0,14	1,30	0,54	31,52	18,02	14,92	61,06	0,90	0,41	190,80	9,9	2,48	0,64
B3 T2 25	146	4,9	3,50	1,24	0,24	2,45	2,13	39,35	8,58	8,60	73,69	1,32	0,54	210,85	6,7	1,79	0,56



Continuación...



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y  
BROMATOLOGIA  
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

B3 T3 25	147	4,5	4,13	1,49	0,18	2,34	1,27	35,00	6,72	5,89	75,80	1,57	0,65	203,35	9,0	1,79	0,65
B3 T4 25	148	5,2	0,55	0,51	0,19	8,33	1,45	31,40	6,36	81,25	76,85	6,60	1,01	110,48	4,0	1,79	4,71
B3 T5 25	149	6,2	0,79	0,75	0,20	28,49	3,09	32,38	6,47	93,77	84,22	12,25	1,26	156,82	3,7	1,79	2,77
B3 T6 25	150	6,2	0,45	0,42	0,20	25,12	1,36	27,14	6,26	94,81	88,44	12,49	0,99	197,56	2,9	1,57	4,20
B3 T7 25	151	4,4	5,12	1,68	0,13	1,26	0,80	24,98	7,75	9,36	55,79	1,40	0,46	211,02	5,2	2,02	0,54
B3 T8 25	152	4,4	4,60	1,48	0,19	1,73	1,12	27,87	9,78	6,88	87,38	1,27	0,57	284,24	10,6	3,16	0,65
B3 T9 25	153	4,3	4,83	1,39	0,14	1,36	0,83	27,98	9,22	6,66	67,38	1,07	0,49	270,99	10,4	2,25	0,55
B3 T10 25	154	5,5	0,49	0,41	0,17	11,55	1,22	25,55	4,24	29,97	74,75	6,80	0,82	124,07	3,4	1,57	2,51
B3 T11 25	155	4,4	4,46	1,34	0,17	2,64	1,02	27,63	5,73	40,54	69,48	1,68	0,54	243,87	4,8	2,93	1,38
B3 T12 25	156	5,6	0,41	0,33	0,18	12,93	1,60	26,25	5,47	35,54	94,75	6,60	0,93	177,29	3,1	1,79	2,38
B3 T1 50	157	4,3	4,05	0,99	0,11	1,25	0,82	29,26	6,00	7,11	51,58	0,91	0,38	157,13	6,7	2,24	0,49
B3 T2 50	158	4,7	4,79	1,57	0,11	1,75	0,79	28,37	9,59	5,38	60,00	1,14	0,51	157,07	6,4	1,79	0,39
B3 T3 50	159	4,8	4,13	1,33	0,12	1,81	0,80	38,28	13,68	1,95	68,43	1,55	0,56	150,82	5,0	1,79	0,46
B3 T4 50	160	5,0	1,38	0,58	0,17	11,11	1,36	25,58	5,81	60,20	87,38	5,15	0,83	117,01	4,2	2,02	4,01
B3 T5 50	161	5,1	1,47	0,65	0,17	7,78	1,21	29,40	5,70	34,83	75,80	4,77	0,90	150,76	3,1	2,02	1,78
B3 T6 50	162	4,8	2,55	1,07	0,15	7,48	1,16	36,89	5,62	50,46	61,06	3,31	0,80	270,13	3,3	2,70	1,71
B3 T7 50	163	4,4	5,54	1,40	0,10	1,03	0,95	26,17	5,57	2,54	30,52	0,53	0,27	264,10	4,5	2,47	0,47
B3 T8 50	164	4,5	4,55	1,07	0,14	1,58	0,99	25,59	5,69	2,25	62,11	1,04	0,52	311,34	10,1	3,62	0,58
B3 T9 50	165	4,4	5,05	1,39	0,12	1,55	1,26	21,44	8,53	5,63	58,95	0,85	0,46	357,72	5,7	2,25	0,51
B3 T10 50	166	4,7	2,82	0,90	0,15	3,71	1,20	22,36	5,18	27,89	74,75	2,94	0,70	237,39	5,7	2,25	2,30
B3 T11 50	167	4,7	3,67	1,53	0,20	3,60	1,03	24,76	8,97	81,62	90,54	2,55	0,57	316,88	7,2	3,61	3,08
B3 T12 50	168	4,8	2,61	1,13	0,18	4,35	1,28	44,00	3,96	44,41	87,38	3,42	0,70	230,53	4,4	2,70	1,82
B4 T1 25	169	4,2	5,73	1,67	0,18	1,56	1,05	30,98	9,21	20,31	84,22	1,09	0,48	391,44	14,4	4,07	0,68
B4 T2 25	170	4,4	5,44	1,76	0,13	1,48	1,05	21,78	9,33	16,99	69,48	1,03	0,70	264,41	8,0	2,48	0,62
B4 T3 25	171	4,6	4,13	1,69	0,17	2,15	1,05	21,87	7,78	8,18	75,80	1,52	0,52	150,52	7,7	2,02	0,59
B4 T4 25	172	4,7	3,25	1,41	0,17	7,46	1,48	27,54	11,17	39,13	86,33	3,62	0,65	244,36	5,2	2,48	1,30
B4 T5 25	173	6,3	0,85	0,81	0,27	25,14	2,94	27,17	6,62	104,95	103,18	2,84	1,04	130,60	3,2	1,79	9,33
B4 T6 25	174	4,6	4,00	1,66	0,16	3,33	1,50	26,19	6,77	65,60	70,53	3,22	0,62	243,58	3,3	2,24	1,12
B4 T7 25	175	4,4	6,35	2,81	0,24	1,79	0,92	32,02	8,70	15,75	111,60	1,15	0,57	230,53	14,7	3,15	0,57





Continuación...



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y  
BROMATOLOGIA  
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

B4 T8 25	176	4,4	5,32	2,08	0,13	1,21	1,17	23,30	7,40	11,94	63,16	0,88	0,39	216,92	5,5	2,24	0,52
B4 T9 25	177	4,5	5,56	1,96	0,13	1,26	0,60	32,60	8,41	8,64	67,38	0,79	0,38	204,08	4,7	2,25	0,50
B4 T10 25	178	4,7	3,76	1,70	0,18	4,32	1,04	48,02	6,10	37,22	76,85	3,61	0,65	237,58	3,1	2,48	1,11
B4 T11 25	179	5,1	1,99	1,07	0,21	10,94	1,36	23,53	4,77	26,70	98,97	4,38	0,73	190,65	2,9	2,02	3,30
B4 T12 25	180	5,8	0,68	0,46	0,19	15,88	1,26	25,00	8,48	103,10	90,54	7,19	0,67	237,67	2,7	2,02	3,93
B4 T1 50	181	4,3	6,65	2,55	0,11	1,31	0,80	33,59	3,11	0,84	49,47	0,84	0,38	177,43	4,5	3,16	0,44
B4 T2 50	182	4,3	6,42	2,32	0,10	1,44	0,89	46,22	5,95	3,97	68,43	0,77	0,43	190,88	5,1	2,25	0,58
B4 T3 50	183	4,6	5,11	2,13	0,20	4,46	0,82	30,11	5,34	3,79	66,32	1,20	0,49	110,48	5,8	1,79	0,54
B4 T4 50	184	4,6	4,09	1,89	0,21	4,21	0,94	25,25	8,06	30,50	102,12	3,22	0,80	216,92	5,0	2,47	1,53
B4 T5 50	185	5,8	0,74	0,58	0,27	19,73	3,19	27,77	5,16	103,56	121,08	9,48	1,12	177,15	5,5	2,47	9,19
B4 T6 50	186	4,5	4,18	1,48	0,19	2,84	1,08	21,79	5,83	61,81	87,38	2,84	0,64	230,99	3,8	2,02	1,34
B4 T7 50	187	4,4	5,50	1,72	0,23	1,52	1,03	26,26	4,56	7,09	101,07	0,98	0,44	183,60	7,7	2,92	0,51
B4 T8 50	188	4,4	5,51	2,05	0,12	1,44	0,66	21,67	6,48	5,92	69,48	0,99	0,39	223,85	6,1	2,02	0,53
B4 T9 50	189	4,4	5,70	1,86	0,14	1,42	0,73	23,94	7,52	7,68	76,85	0,82	0,41	243,77	5,9	2,70	0,55
B4 T10 50	190	5,2	1,04	0,62	0,23	13,58	1,16	24,82	5,09	73,30	108,44	7,19	0,82	184,19	3,4	2,02	2,78
B4 T11 50	191	5,0	2,34	1,12	0,23	7,39	1,02	22,85	5,49	21,95	113,71	5,54	0,98	170,75	4,6	2,02	2,39
B4 T12 50	192	5,9	0,63	0,57	0,25	16,88	1,28	24,73	7,11	107,50	122,13	8,62	0,80	203,92	3,1	1,79	3,20
Carbón SF	193	-	-	-	-	-	-	-	1,03	396,87	1726,75	15,19	1,80	-	21,5	0,20	-

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



**Anexo 4.** Tabla de interpretación de análisis utilizada en la actualidad por el INIAP, 2013.

**NIVELES PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS \***

COSTA Y SIERRA	Muy Acido	Acido	Median. Acido	Ligeram. Acido	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								



DISPONIBLES		COSTA				SIERRA			
Nutriente	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
N	ppm	< 20.0	20.0-40.0	> 40		< 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	> 1.0	< 1.0	1.0-2.0	> 2.0	> 4
Cl	ppm	< 17.0	17.0-34.0	> 34.0		< 17.0	17-34	> 34.0	
M.O.	%	< 3.0	3.0-5.0	> 5		< 3	3.0-5.0	> 5	
Siglas		B	M	A	T	B	M	A	T

		COSTA			SIERRA		
Nutriente	Unidad	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

		SIERRA							
Nutriente	Unidad	No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino	No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino
C.E	mmhos/cm	z	2.0-4.0	>4.0-8.0	>8.0	< 2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	> 8.0
Siglas		NS	LS	S	MS	NS	LS	S	MS

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

**Anexo 5.** Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.

<p>- <b>Secado y Desterronado.</b></p> <p>- <b>Pesado del Suelo:</b> se pesó 44 unidades de suelo de 200 g por cada tratamiento.</p> <p>- <b>Preparación de las Tarrinas, Vasos y Filtros:</b> se perforó las tapas de las tarrinas, así mismo la base de los vasos y se acopló un filtro de tela nylon en la base del vaso.</p> <p>- <b>Preparación de las Soluciones Nutritivas:</b> la concentración de sales en las soluciones nutritivas estuvo alrededor de 12,5 meq/l, las soluciones nutritivas que se prepararon fueron las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Solución nutritiva completa (SC)</li> <li>Solución nutritiva menos nitrógeno (- N)</li> <li>Solución nutritiva menos fósforo (- P)</li> <li>Solución nutritiva menos potasio (- K)</li> <li>Solución nutritiva menos magnesio (- Mg)</li> <li>Solución nutritiva menos azufre (- S)</li> <li>Solución nutritiva menos hierro (- Fe)</li> <li>Solución nutritiva menos manganeso (- Mn)</li> <li>Solución nutritiva menos boro (- B)</li> <li>Solución nutritiva menos zinc (- Zn)</li> <li>Solución nutritiva menos cobre (- Cu)</li> </ol> <p>- <b>Instalación del Experimento.</b></p> <p>- <b>Reposición de las Soluciones Nutritivas:</b> se hizo cada vez que las plantas perdían agua por transpiración y evaporación del suelo.</p> <p>- <b>Registro de Datos:</b> los datos de altura se registraron cada 5 días, paralelamente se observó el desarrollo de las plantas. Luego se cortarían las plantas y se tomará inmediatamente el peso fresco de cada una, por separado el follaje y raíz, al término de esto se llevarán las muestras a la estufa y seguido se determinará el peso de materia seca.</p> <p><b>3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Bifactorial en bloques al azar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de tratamientos:</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Número de réplicas:</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Número de plantas por tratamiento:</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>Número de unidades experimentales:</td> <td>528</td> </tr> </table>	Bifactorial en bloques al azar		Número de tratamientos:	12	Número de réplicas:	4	Número de plantas por tratamiento:	44	Número de unidades experimentales:	528	<p style="text-align: center;"><b>IV. RESULTADOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los tratamientos con menos altura de planta corresponden a aquellos que no recibieron fertilización y cal.</li> <li>Se evidencian mayores carencias de boro, nitrógeno y fósforo en las plantas de todos los tratamientos.</li> <li>El B es en elemento que presenta deficiencia en todos los tratamientos; en menor grado en el tratamiento que contiene 6 t de carbón.</li> <li>La deficiencia de nitrógeno y fósforo no difiere dentro de los tratamientos con y sin fertilización, por lo que no es dependiente de la dosis de carbón vegetal.</li> <li>No existen deficiencias de las plantas en cuanto a Fe, Zn, Mn, Mg, S, Cu y K.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>V. CONCLUSIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El método de evaluación biológica de la fertilidad del suelo permite conocer precisamente la disponibilidad de los macro y micronutrientes en el suelo.</li> <li>El suelo de San Francisco es deficiente en boro, nitrógeno y fósforo.</li> <li>Aparentemente el carbón vegetal está aportando boro al suelo.</li> <li>Posiblemente, el nitrógeno utilizado en la fertilización se lixivió desde la instalación del ensayo hasta la fecha, y el fósforo se cristalizó.</li> </ul>	<div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA</p> </div> <p style="text-align: center;"><b>DIA DE CAMPO DE LA TESIS:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE ARENISCA CUARZOSA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN SAN FRANCISCO – EL PANGUI”.</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>TESISTA:</b> Orly Milton Mendoza Aguirre <b>DIRECTOR:</b> Ing. Carlos Valarezo M. Sc.</p> <p style="text-align: right;">Loja – Ecuador 2012</p>
Bifactorial en bloques al azar												
Número de tratamientos:	12											
Número de réplicas:	4											
Número de plantas por tratamiento:	44											
Número de unidades experimentales:	528											

Continuación...

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2008 la Universidad Nacional de Loja, suscribió con la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) (en la actualidad SENESCYT) el convenio de co-financiamiento 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 fin es generar alternativas para mejorar sostenidamente la fertilidad de los suelos ácidos y pobres, mediante la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes. Tal macroproyecto incluye tres experimentos en la red fluvial Zamora-Nangaritza. Siendo uno de ellos el ensayo ubicado en San Francisco-El Pangui que contempla dos especies arbóreas (pachaco *Schizolobium parahybum* y arábisco *Jacaranda copaia*), dos niveles de fertilización (sin y con) y tres niveles de carbón vegetal (0, 3 y 6 t/ha), arreglado en un diseño de parcelas sub-subdivididas (2x2x3) en bloques al azar con 12 tratamientos y cuatro repeticiones.

Dentro del citado macroproyecto se enmarca la evaluación de la incidencia de la aplicación de carbón vegetal sobre las condiciones químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes y las reservas de C y de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn, en los terrenos de las especies arbóreas maderables. Partiendo de que ninguna solución extractora manifiesta la real condición de disponibilidad de los nutrientes en el suelo, se ha considerado pertinente evaluar la fertilidad de los suelos de los diferentes tratamientos del ensayo, mediante un método biológico desarrollado por Colwell (1980), adaptado por Valarezo (1985) y probado para las condiciones de los suelos de Cañicapac y Namarín por Guayllas (1988), en el cual se ha utilizado plantas de tomate *Solanum lycopersicum* Mill. como especie indicadora.



EXPERIMENTO EN SAN FRANCISCO-EL PANGUI

## II. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Generar información sobre la fertilidad actual de un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa, en San Francisco - El Pangui, después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación experimental de pachaco y arábisco, mediante un método biológico frente a la evaluación química de laboratorio.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar biológicamente la fertilidad en los doce tratamientos del experimento instalado en un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa en El Pangui, después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y arábisco, 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 San Francisco.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y química de la fertilidad actual del suelo en los doce tratamientos.
- Difundir los resultados obtenidos a los agricultores, estudiantes, técnicos y personas interesadas en la investigación.

## III. METODOLOGÍA

### 3.1. LUGAR DE TRABAJO

El muestreo de los suelos se realizó en San Francisco Alto del cantón El Pangui. La evaluación biológica se efectuó en un invernadero 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 Químico (CISAQ) de la UNL.

### 3.2. MATERIALES

- Muestras de suelo.
- Soluciones nutritivas.
- Semillas de tomate de mesa.
- 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).

### 3.3. METODOLOGÍA

- **Muestreo 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 1 kg de suelo por cada planta, se muestrearon cuatro plantas por tratamiento y por bloque dando un total de 16 kg de suelo por tratamiento, luego se separó la muestra en una funda plástica y se homogeneizó con la de los bloques restantes.



**Anexo 6.** Costos de producción para la evaluación biológica y química de la fertilidad del suelo del experimento de San Francisco, 2013.

CONCEPTO	MANO DE OBRA				MATERIALES					EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	NOMBRE	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CLASE	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>EVALUACIÓN BIOLÓGICA</b>														
Muestreo de suelo	Jornal	4	12	48						Sacos (trans.)		12	2,9167	35
Secado y desterronado del suelo	Jornal	2	12	24										
Pesado del suelo	Jornal	2	12	24										
Preparación de tarrinas, vasos y filtros	Jornal	6	12	72	Tarrinas		528	0,085	45					
					Vasos		528	0,015	7,92					
					Tela nylon	m <sup>2</sup>	10	1,5	15					
Preparación de soluciones nutritivas	Jornal	3	12	36	Agua dest.	l	20	0,5	10					
					Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	g	708	0,14	100,82					
					KNO <sub>3</sub>	g	202	0,07	14,83					
					KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	g	272	0,08	21,81					
					NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	g	120	0,08	9,3					
					K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	g	174	0,17	28,74					
					MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	g	246	0,17	41,97					
					MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	g	101	0,11	11,41					
					CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	g	436	0,07	31,31					
					NaCl	g	116	0,00	0,14					
					NaFe-EDTA	g	65,5	0,39	25,61					
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	g	3,62	0,10	0,35										

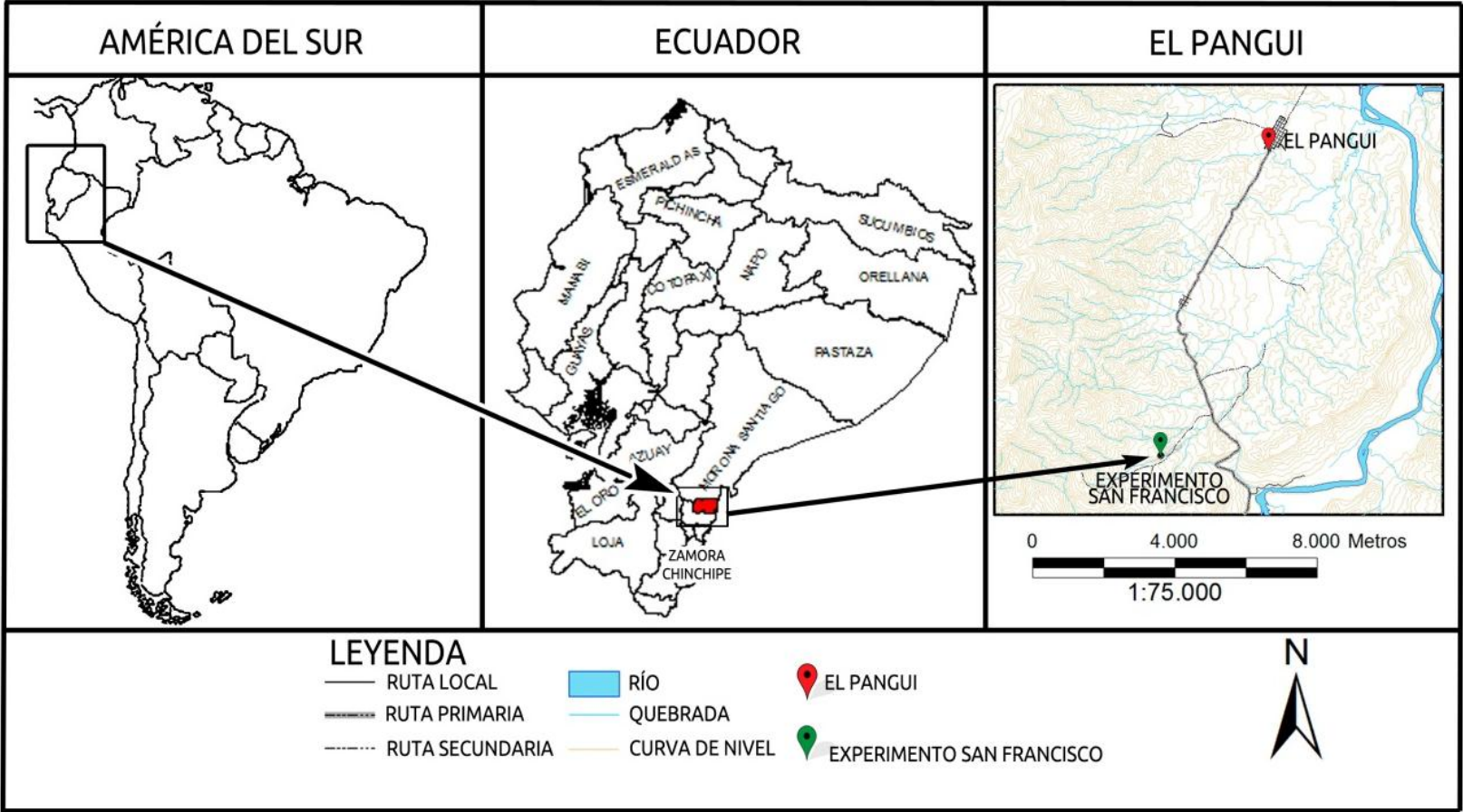
Continuación...

					H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	g	2,86	0,05	0,15				
					ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	g	0,22	0,06	0,014				
					CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	g	0,16	0,07	0,011				
					H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	g	0,2	0,08	0,015				
Instalación del experimento	Jornal	10	12	120	Invernadero	m <sup>2</sup>	25	7	175				
					Mesas								
					Listones		30	1,2	36				
					Tablillas		100	0,02	2				
					Clavos	lb	4	1,05	4,2				
					Agua dest.	l	320	0,5	160				
					Sem. Tomate		1000	0,085	85				
Reposición de las soluciones nutritivas y registro de datos	Jornal	15	12	180	Agua dest.	l	740	0,5	370				
Corte del follaje de la planta indicadora (tomate)	Jornal	1	12	12									
Secado de la materia verde	Jornal	0,2	12	2,4									
Pesado de la materia seca	Jornal	2	12	24									
										Herra.*			7
<b>EVALUACIÓN QUÍMICA</b>													
Determinación de pH										Análisis	96	1	96
Determinación de H <sup>1+</sup> + Al <sup>3+</sup>										Análisis	96	3,5	336
Determinación de CIC										Análisis	96	7,5	720
Determinación de Ca <sup>2+</sup>										Análisis	96	3	288
Determinación de Mg <sup>2+</sup>										Análisis	96	3	288

Continuación...

Determinación de K <sup>1+</sup>										Análisis		96	3	288
Determinación de N <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de P <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de K <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Ca <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Mg <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Fe <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Mn <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Cu <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
Determinación de Zn <sub>as</sub>										Análisis		96	3	288
<b>SUBTOTAL</b>				542,4								1196,6		4650
<b>TOTAL</b>														<b>6389</b>
* cuota de depreciación														

Anexo 7. Localización del experimento de San Francisco, 2013.





**Anexo 7.** Distribución de bloques y tratamientos en el experimento de San Francisco, 2013.

