

**OBTENCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE UN FERTILIZANTE FOLIAR A  
PARTIR DE GALLINAZAS Y SU EVALUACIÓN EN UN CULTIVO DE  
RÁBANO (*Raphanus sativus L.*)**

**LUIS CARLOS LOSADA BENAVIDES**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
POPAYÁN 2011**

**OBTENCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE UN FERTILIZANTE FOLIAR A  
PARTIR DE GALLINAZAS Y SU EVALUACIÓN EN UN CULTIVO DE  
RÁBANO (*Raphanus sativus L.*).**

**LUIS CARLOS LOSADA BENAVIDES**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Químico**

**DIRECTORA:  
M. Sc. ISABEL BRAVO REALPE  
PROFESORA TITULAR DEPARTAMENTO DE QUIMICA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
POPAYÁN  
2011**

## Nota de Aceptación

---

---

---

Director

\_\_\_\_\_  
M.Sc ISABEL BRAVO

Jurado

\_\_\_\_\_  
Doctor Edier Humberto Pérez

Jurado

\_\_\_\_\_  
Ing OSWALDO COLLAZOS

**Fecha de sustentación: Popayán, 8 de Abril de 2011**

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi abuela Teodolinda Jurado por que fue y será siempre un ejemplo incuestionable de fortaleza, sabiduría y responsabilidad.*

*A María Luisa Benavides y Pablo Antonio Losada porque sólo la superación de mis ideales me han permitido comprender cada día más la difícil posición de ser padres, mis conceptos, mis valores morales y mi superación se las debe a ustedes, este será la mejor de las herencias, lo reconozco y lo agradeceré eternamente. En adelante pondré en práctica mis conocimientos y el lugar que en mi mente ocuparon los libros ahora será de ustedes, esto por todo el tiempo que les robe pensando en mí.*

*A mi hermana Piedad Rocío Losada. Porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de mis anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mí depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.*

*A mis hermanas Yina, Sandra y Cristina. Porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas.*

*A la familia Fernández Losada por brindarme el calor de su hogar durante toda mi carrera por los buenos ratos que pase con todos y cada uno de ustedes.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos aquellos profesores que contribuyeron en mi formación académica y profesional, en especial a mi directora de tesis Isabel Bravo Realpe por su apoyo y paciencia en la elaboración de este trabajo.

A Oscar Huaca, Oscar Lucero y Francisco Solis, por su apoyo en las buenas y en las malas experiencias que vivimos juntos. Una amistad como la de ustedes perdurara para toda la vida.

A mis compañeros de la universidad, Paola, Anderson, Sarita, Cristian, Gabriel, Viviana, Lisbeth, Carolina, Leidy, Roberto y Claudia con quienes compartí momentos inolvidables, gracias por brindarme su amistad.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	20
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	21
<b>2. OBJETIVOS</b>	22
<b>2.1</b> OBJETIVO GENERAL	22
<b>2.2</b> OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
<b>3. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	23
<b>3.1 GALLINAZA</b>	23
<b>3.2</b> GALLINAZA: RESIDUO ORGÁNICO	23
<b>3.3</b> CALIDAD DE LA GALLINAZA	23
<b>3.4</b> PRODUCCIÓN DE GALLINAZA	24
<b>3.5</b> FÓSFORO EN LA GALLINAZA	25
<b>3.6</b> ESTRUCTURA QUÍMICA Y PROPIEDADES DEL ACIDO FÍTICO (AF)	25
<b>3.7</b> FIJACIÓN DE FÓSFORO	28
<b>3.8</b> ALOFANOS	28
<b>3.9</b> FERTILIZANTE LÍQUIDO	29
<b>3.9.1</b> SOLUBILIDAD Y FACTORES QUE AFECTAN LOS FERTLIZANTES LIQUIDOS	30
• INCOMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES EN SOLUCIÓN	30
• PÉRDIDAS DE FERTLIZANTES	31
• FORMACIÓN DE PRECIPITADOS	31
• DISMINUCIÓN DE LA SOLUBILIDAD	31
• PRESENCIA DE UN ION COMÚN	32
• INESTABILIDAD DE COMPLEJOS	32
<b>3.10</b> FERTILIZACIÓN FOLIAR	32
<b>3.10.1</b> CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES FOLIARES	34
<b>3.10.2</b> VÍAS DE ABSORCIÓN FOLIAR	34
<b>3.10.3</b> EFECTIVIDAD DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR	34

	<b>Pág.</b>	
<b>3.10.4</b>	VENTAJAS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR	35
<b>3.10.5</b>	DESVENTAJAS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR	35
<b>3.10.6</b>	LA FERTILIZACIÓN FOLIAR COMO COMPLEMENTO	36
<b>3.11</b>	<b>FERTILIZACION EN PLANTAS</b>	36
<b>3.12</b>	<b>RABANO (<i>Raphanus sativus L.</i>)</b>	38
<b>3.12.1</b>	ORIGEN	39
<b>3.12.2</b>	CLASIFICACION TAXONOMICA	39
<b>3.12.3</b>	MORFOLOGIA	39
	• RAÍZ	39
	• TALLO	39
	• HOJAS	39
	• FLOR	40
	• FRUTO	40
	• SEMILLA	40
	• VALOR NUTRICIONAL	40
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	41
<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	41
<b>4.2</b>	<b>OBTENCIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE FÓSFORO</b>	42
<b>4.3</b>	<b>AJUSTE DE pH A LOS EXTRACTOS CON ÁCIDO NÍTRICO</b>	43
<b>4.4</b>	<b>ESTABILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR</b>	43
<b>4.4.1</b>	ENSAYO CON HIPOCLORITO DE SODIO	43
<b>4.4.2</b>	ENSAYOS CON ACIDO BENZOICO	43
<b>4.5</b>	<b>CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL FERTILIZANTE FOLIAR</b>	44
<b>4.5.1</b>	DETERMINACIÓN DE AZUFRE	44
<b>4.5.2</b>	DETERMINACIÓN DE FÓSFORO	44
<b>4.5.3</b>	DETERMINACIÓN DE BORO	45

	<b>Pág.</b>
4.5.4	DETERMINACIÓN K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Fe y Zn 45
4.6	<b>EVALUACION DEL FERTILIZANTE FOLIAR EN EL CULTIVO DEL RABANO 45</b>
4.7	<b>FORMULACION DEL FERTILIZANTE 47</b>
4.8	<b>APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE EN EL CULTIVO 47</b>
4.9	<b>EVALUACION DE LOS FERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRONOMICO DEL CULTIVO DEL RABANO 47</b>
4.9.1	NÚMERO DE HOJAS 47
4.9.2	LONGITUD DE LA PLANTA 48
4.9.3	PRODUCCIÓN DE BIOMASA 48
4.9.4	PRODUCCIÓN DEL RÁBANO 48
4.10	<b>ANÁLISIS DEL SUELO 48</b>
4.11	<b>TOMA DE MUESTRAS 48</b>
4.12	<b>ANÁLISIS FÍSICOS 49</b>
4.12.1	HUMEDAD 49
4.12.2	TEXTURA 49
4.13	<b>ANÁLISIS QUÍMICOS 49</b>
4.13.1	pH 49
4.13.2	ÁCIDEZ INTERCAMBIABLE 50
4.13.3	ACIDEZ TITULABLE 50
4.13.4	MATERIA ORGÁNICA 50
4.13.5	DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO DE KJELDAHL 50
4.13.6	DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE 51
4.13.7	DETERMINACIÓN DE AZUFRE 51
4.13.8	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) 52
4.13.9	DETERMINACIÓN DE LAS BASES INTERCAMBIABLES 52
4.13.10	DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS 52



	<b>Pág.</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>53</b>
<b>5.1 OBTENCIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE FÓSFORO</b>	<b>53</b>
<b>5.2 EVALUACIÓN DEL pH A LOS EXTRACTOS CON ÁCIDO NÍTRICO</b>	<b>56</b>
<b>5.3 ESTABILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR</b>	<b>59</b>
<b>5.3.1 ENSAYO CON HIPOCLORITO DE SODIO</b>	<b>59</b>
<b>5.3.2 ENSAYOS DE ESTABILIZACIÓN CON ACIDO BENZOICO</b>	<b>61</b>
• ENSAYO 1	61
• ENSAYO 2	64
<b>5.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL FERTILIZANTE FOLIAR</b>	<b>66</b>
<b>5.5 EVALUACION DE LOS FERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRONOMICO DEL CULTIVO DEL RABANO</b>	<b>67</b>
<b>5.5.1 MEDIDA 2 (SIEMBRA 1)</b>	<b>69</b>
• CRECIMIENTO	68
• BIOMASA	72
• NÚMERO DE HOJAS	72
<b>5.5.2 MEDIDA 3 (SIEMBRA 2)</b>	<b>74</b>
• CRECIMIENTO	75
• BIOMASA	75
• NÚMERO DE HOJAS	75
<b>5.6 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCION DE RABANO EN LAS DOS SIEMBRAS</b>	<b>80</b>
<b>5.7 ANALISIS DEL SUELO</b>	<b>81</b>
<b>5.8 ANÁLISIS DEL SUELO ANTES DEL CULTIVO</b>	<b>81</b>
<b>5.9 ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DEL CULTIVO</b>	<b>85</b>

		<b>Pág.</b>
<b>5.9.1</b>	<b>HUMEDAD HIGROSCÓPICA</b>	85
<b>5.9.2</b>	<b>pH</b>	88
<b>5.9.3</b>	<b>CIC</b>	90
<b>5.9.4</b>	<b>MATERIA ORGÁNICA</b>	91
<b>5.9.5</b>	<b>ACIDEZ INTERCAMBIABLE</b>	93
<b>5.9.6</b>	<b>ALUMINIO INTERCAMBIABLE</b>	94
<b>5.9.7</b>	<b>ACIDEZ TITULABLE</b>	96
<b>5.9.8</b>	<b>NITRÓGENO</b>	98
<b>5.9.9</b>	<b>FÓSFORO</b>	100
<b>5.9.10</b>	<b>POTASIO</b>	102
<b>5.9.11</b>	<b>AZUFRE SOLUBLE Y DISPONIBLE</b>	104
<b>5.9.12</b>	<b>CALCIO</b>	106
<b>5.9.13</b>	<b>MAGNESIO</b>	108
<b>5.9.14</b>	<b>SODIO</b>	110
<b>5.9.15</b>	<b>COBRE</b>	112
<b>5.9.16</b>	<b>HIERRO</b>	114
<b>5.9.17</b>	<b>MANGANESO</b>	116
<b>5.9.19</b>	<b>ZINC</b>	118
<b>5.10</b>	<b>CORRELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE FERTILIDAD DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO</b>	120
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	124
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	126
	<b>ANEXOS</b>	131

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> ANOVA para extracciones de gallinazas calcinadas y gallinazas secas	131
<b>Anexo 2.</b> ANOVA en extracciones con diferentes gramos de gallinaza	131
<b>Anexo 3.</b> Duncan para pH en extractos con hipoclorito de sodio	132
<b>Anexo 4.</b> ANOVA para pH de extractos con ácido nítrico	131
<b>Anexo 5.</b> ANOVA para Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1%	131
<b>Anexo 6.</b> ANOVA para Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1% (variable de agrupación tiempo)	134
<b>Anexo 7.</b> ANOVA para el Crecimiento y Biomasa en la medida 2 (siembra 1)	134
<b>Anexo 8.</b> Correlaciones bivariadas de Pearson para la siembra 1	134
<b>Anexo 9.</b> Correlaciones de Rho Spearman para el No de hojas de la siembra1	135
<b>Anexo 10.</b> ANOVA para el Crecimiento y Biomasa en la medida 3 (siembra 2)	136
<b>Anexo 11.</b> Correlaciones bivariadas de Pearson para la siembra 2	136
<b>Anexo 12.</b> Correlaciones de Rho Spearman para el No de hojas de la siembra1	136
<b>Anexo 13.</b> ANOVA para la producción de las siembras	137
<b>Anexo 14.</b> ANOVA para la producción de las siembras 1 y 2 (Factor Tratamiento)	137
<b>Anexo 15.</b> Parámetros de comparación para niveles de fertilidad en suelos de clima medio (SCCS. 2000)	138
<b>Anexo 16.</b> Prueba Shapiro-Wilk para todos los parámetros del suelo en las medidas 1, 2 y 3	139

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 17.</b> ANOVA para todos los parámetros del suelo en las medidas 1, 2 y 3	146
<b>Anexo 18.</b> Relación Ca/Mg y Ca+Mg/K en las medidas	147
<b>Anexo 19.</b> Correlaciones de Pearson para la medida 2	148
<b>Anexo 20.</b> Correlaciones de Pearson para la medida 2	149

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Acido Fítico	26
<b>Figura 2.</b> Mecanismo de interacción de AF a pH bajos.	27
<b>Figura 3.</b> Mecanismo de interacción de AF a pH intermedios.	27
<b>Figura 4.</b> Unión de AF a pH intermedios.	27
<b>Figura 5.</b> Ubicación geográfica	41
<b>Figura 6.</b> Obtención del fertilizante foliar.	42
<b>Figura 7.</b> Fotografía del cultivo del Rábano	45
<b>Figura 8.</b> Diseño experimental para la evaluación del efecto de la fertilización sobre el cultivo del rábano	46
<b>Figura 9.</b> Cantidad de fósforo en función de la cantidad de gallinaza calcinada y seca en la extracción	53
<b>Figura 10.</b> Optimización de la extracción de Fosforo.	61
<b>Figura 11.</b> pH en los extractos calcinados, ajustado el pH con al acido nítrico	59
<b>Figura 12.</b> Seguimiento al pH en los extractos con hipoclorito de sodio	61
<b>Figura 13.</b> Cambios de pH en extractos con diferentes concentraciones de acido benzoico.	62
<b>Figura 14.</b> Comportamiento del pH en los extractos con acido benzoico y acido fosfórico	66
<b>Figura 15.</b> Seguimiento fotográfico a la siembra 1	68
<b>Figura 16.</b> Numero de hojas, Biomasa y Crecimiento para la siembra 1	70
<b>Figura 17.</b> Seguimiento fotográfico a la siembra 2	74
<b>Figura 18.</b> Numero de hojas, Biomasa y Crecimiento para la siembra 2	77
<b>Figura 19.</b> Producción de rábanos de las siembras 1 y 2.	81

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 20.</b> Grupos quelatados por la MO que producen acidez	83
<b>Figura 21.</b> Humedad higroscópica para las medidas	85
<b>Figura 22.</b> pH para las medidas	89
<b>Figura 23.</b> CIC para las medidas	90
<b>Figura 24.</b> MO para las medidas	92
<b>Figura 25.</b> Acidez intercambiable para las medidas	93
<b>Figura 26.</b> Aluminio intercambiable para las medidas	95
<b>Figura 27.</b> Acidez titulable para las medidas	96
<b>Figura 28.</b> Nitrógeno en las medidas	98
<b>Figura 29.</b> Fosforo en las medidas	100
<b>Figura 30.</b> Potasio para las medidas	102
<b>Figura 31.</b> Azufre Soluble (A) y Disponible (B) para las medidas	104
<b>Figura 32.</b> Calcio para las medidas	107
<b>Figura 33.</b> Antagonismo de Calcio y Potasio	107
<b>Figura 34.</b> Magnesio para las medidas	109
<b>Figura 35.</b> Sodio para las medidas	111
<b>Figura 36.</b> Cobre para las medidas	112
<b>Figura 37.</b> Hierro para las medidas	114
<b>Figura 38.</b> Reacción de adsorción de fósforo sobre minerales de hierro	115
<b>Figura 39.</b> Manganeso para las medidas	116
<b>Figura 40.</b> Disponibilidad de micronutrientes en función del pH	117
<b>Figura 41</b> Cinc para las medidas	118

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 1</b>	Estimación de la producción de deyecciones de las ponedoras	25
<b>Tabla 2</b>	Grado de dificultad en la absorción de los nutrientes, de menor a mayor, en forma descendente	37
<b>Tabla 3</b>	Orden de movilidad de los elementos en el floema	38
<b>Tabla 4</b>	Valores nutricionales del rábano	40
<b>Tabla 5</b>	Extractos en ácido benzoico	44
<b>Tabla 6</b>	Seguimiento de pH a extractos estabilizados	44
<b>Tabla 7</b>	Descripción de los tratamientos para la evaluación del fertilizante	46
<b>Tabla 8</b>	Descripción de la forma de aplicación de los fertilizantes en cada tratamiento	47
<b>Tabla 9</b>	Fósforo en los extractos con gallinaza calcinada y seca	53
<b>Tabla 10</b>	Prueba Duncan para extracciones de gallinazas calcinadas y gallinazas secas.	54
<b>Tabla 11</b>	Extracciones con diferentes gramos de gallinaza calcinada y ácido cítrico 200 ppm.	55
<b>Tabla 12</b>	Prueba de Duncan para extracciones de P con diferentes gramos de gallinaza calcinada y ácido cítrico 200 ppm.	56
<b>Tabla 13</b>	Valores de pH para los extractos con ácido nítrico	58
<b>Tabla 14</b>	Prueba de Duncan para pH de extractos con ácido nítrico.	59
<b>Tabla 15</b>	Seguimiento de pH a los extractos realizados a partir de 20 g de gallinaza y adición de las diferentes cantidades de hipoclorito de sodio.	60
<b>Tabla 16</b>	Prueba Duncan para el extracto calcinado	61
<b>Tabla 17</b>	Cambios de pH en los diferentes extractos con ácido benzoico	63

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 18</b> Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1%	65
<b>Tabla 19</b> Correlación de Pearson para extractos con ácido benzoico y ácido fosfórico	66
<b>Tabla 20</b> Caracterización de los fertilizantes foliares	67
<b>Tabla 21</b> Número de Hojas, Biomasa y Crecimiento en los tratamientos de la siembra 1	69
<b>Tabla 22</b> Prueba de Duncan para el crecimiento en la medida 2 (siembra 1)	71
<b>Tabla 23</b> Prueba Duncan para biomasa de la medida 2 (siembra 1)	73
<b>Tabla 24</b> Prueba de Tukey para número de hojas de la medida 2 (siembra 1)	73
<b>Tabla 25</b> Número de Hojas, Biomasa y Crecimiento en los tratamientos de la siembra 2	76
<b>Tabla 26</b> Prueba de Duncan para el crecimiento en la medida 3 (siembra 2)	78
<b>Tabla 27</b> Prueba Duncan para biomasa de la medida 3 (siembra 2)	79
<b>Tabla 28</b> Prueba de Tukey para número de hojas de la medida 3 (siembra 2)	79
<b>Tabla 29</b> Peso de los rábanos para las cosechas de las siembras 1 y 2	80
<b>Tabla 30</b> Prueba Duncan para los resultados de las cosechas 1 y 2	81
<b>Tabla 31</b> Descripción de las muestras de suelos	82
<b>Tabla 32</b> Análisis Físico y Químico del Suelo Antes de la Siembra (Medida1)	82
<b>Tabla 33</b> Caracterización de las muestras de suelo antes y después de la siembra del Rábano	86
<b>Tabla 34</b> Duncan de Humedad higroscópica promedio para las medidas	87



	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 35</b> Prueba de Duncan para la humedad higroscópica en los tratamientos	87
<b>Tabla 36</b> Prueba de Duncan para el promedio de pH en las medidas	88
<b>Tabla 37</b> Prueba de Duncan para el pH en los tratamientos	89
<b>Tabla 38</b> Prueba de Duncan para CIC promedio en las medidas	90
<b>Tabla 39</b> Prueba de Duncan para CIC en los tratamientos	91
<b>Tabla 40</b> ANOVA para MO promedio en las medidas	92
<b>Tabla 41</b> ANOVA para MO en los tratamientos	92
<b>Tabla 42</b> Prueba de Duncan para acidez intercambiable promedio en las medidas.	93
<b>Tabla 43</b> Prueba de Duncan para acidez intercambiable en los tratamientos	94
<b>Tabla 44</b> Prueba de Duncan para Aluminio intercambiable promedio en las medidas	95
<b>Tabla 45</b> Prueba de Duncan para Aluminio intercambiable en los tratamientos	96
<b>Tabla 46</b> Prueba de Duncan para acidez titulable promedio en las medidas	97
<b>Tabla 47</b> Prueba de Duncan para acidez titulable en los tratamientos	97
<b>Tabla 48</b> Prueba de Duncan para Nitrógeno promedio en las medidas	99
<b>Tabla 49</b> Prueba de Duncan para Nitrógeno en los tratamientos	99
<b>Tabla 50</b> Prueba de Duncan para Fosforo en los tratamientos	101
<b>Tabla 51</b> Prueba de Duncan para Fosforo promedio en las medidas	101
<b>Tabla 52</b> Prueba de Duncan para Potasio promedio en las medidas	102
<b>Tabla 53</b> Prueba de Duncan para Potasio en los tratamientos	103

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 54</b> Prueba de Duncan para Azufre Soluble (A) y Disponible (B), promedios en las medidas	105
<b>Tabla 55</b> Prueba de Duncan para Azufre Soluble (A) y Disponible (B), en los tratamientos	105
<b>Tabla 56</b> Prueba de Duncan para Calcio promedio en las medidas	107
<b>Tabla 57</b> Prueba de Duncan para Calcio en los tratamientos	108
<b>Tabla 58</b> Prueba de Duncan para Magnesio promedio en las medidas	109
<b>Tabla 59</b> Prueba de Duncan para Magnesio en los tratamientos	110
<b>Tabla 60</b> Prueba de Duncan para Sodio en los tratamientos	111
<b>Tabla 61</b> Prueba de Duncan para Sodio promedio en las medidas	112
<b>Tabla 62</b> Prueba de Duncan para Cobre promedio en las medidas	112
<b>Tabla 63</b> Prueba de Duncan para Cobre en los tratamientos	113
<b>Tabla 64</b> Prueba de Duncan para Hierro promedio en las medidas	114
<b>Tabla 65</b> Prueba de Duncan para Hierro en los tratamientos	116
<b>Tabla 66</b> Prueba de Duncan para Manganeso promedio en las medidas	117
<b>Tabla 67</b> Prueba de Duncan para Manganeso en los tratamientos	118
<b>Tabla 68</b> Prueba de Duncan para Cinc promedio en las medidas	119
<b>Tabla 69</b> Prueba de Duncan para Cinc en los tratamientos	119

## LISTA DE ACRONIMOS

<b>AF</b>	Acido Fítico
<b>C/N</b>	Relación Carbono/ Nitrógeno.
<b>Gall</b>	Gallinaza.
<b>MO</b>	Materia Orgánica.
<b>UV</b>	Ultravioleta_visible.
<b>CIC</b>	Capacidad de intercambio catiónico.
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno.
<b>EAA</b>	Espectroscopía de Absorción Atómica.
<b>Al</b>	Aluminio.
<b>N</b>	Nitrógeno.
<b>P</b>	Fósforo.
<b>Na</b>	Sodio.
<b>Ca</b>	Cálcio.
<b>K</b>	Potasio.
<b>Fe</b>	Hierro.
<b>Cu</b>	Cobre.
<b>Mg</b>	Magnesio.
<b>Mn</b>	Manganeso.
<b>Zn</b>	Zinc.
<b>dds</b>	Días después de la siembra
<b>sig</b>	Significancia
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>R<sub>1</sub></b>	Repetición numero uno

## RESUMEN

Este estudio, fue realizado en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca, entre febrero y octubre de 2010. Se preparó y estabilizó un fertilizante foliar obtenido a partir de gallinazas y luego se evaluó su eficacia en un cultivo de Rábano (*Raphanus sativus L.*).

El fertilizante foliar fue obtenido mediante la extracción óptima de 20 gramos de gallinaza calcinada con 250 mL de ácido cítrico (2000 ppm), su estabilización evaluada a través del pH, se logró utilizando como conservante ácido benzoico en concentración de 500 ppm.

La muestra de suelo para este estudio, fue colectada en la Finca Santa Rosa en la vereda La Aurelia, Municipio de Cajibío.

El cultivo se realizó en bolsas de polietileno color negro, comparando el fertilizante foliar preparado y estabilizado, con otros dos fertilizantes, uno edáfico (triple 15), y otro Foliar comercial (Fertidorado); Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con siete tratamientos y 15 réplicas por tratamiento incluyendo el testigo absoluto, en dos períodos de siembras de diez días de diferencia, para un total de 210 tratamientos.

Se evaluó en el cultivo: crecimiento, biomasa, Número de hojas y producción. Los tratamientos con fertilización edáfica y foliar conjunta, obtuvieron los mejores resultados, siendo significativamente superiores a los demás tratamientos.

La producción alcanzada, utilizando en sus dos dosis el fertilizante foliar preparado más el fertilizante edáfico, fue de 4,52 y 4,77 Ton rábano/ha en la primera siembra y de 3,46 y 3,47 Ton rábano/ha en la segunda siembra, cifras que no se diferenciaron significativamente de la producción del tratamiento con fertilizante foliar comercial en sus respectivas siembras (5,15 y 3,54 Ton rábano/Ha).

El sistema de fertilización aplicado al suelo del cultivo, modificó la mayoría de sus parámetros químicos, debido a que se notó una disminución en los valores de pH, humedad higroscópica, CIC, acidez Titulable, Fosforo, Calcio, Sodio y Zinc. Por otra parte un aumento significativo en los niveles de Aluminio Intercambiable, Nitrógeno, Potasio, Azufre soluble, Azufre disponible, Magnesio, Cobre, Hierro y Manganeso.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La fuerte deficiencia de Fósforo ampliamente detectada en suelos Andisoles Caucanos, obliga a los agricultores a la aplicación de altas y repetidas dosis de fertilizantes para suplir dicha necesidad. La tendencia actual de reemplazar fertilizantes de síntesis por abonos orgánicos, ha incrementado considerablemente el uso de gallinazas, sin ningún grado de transformación, en forma de abonos orgánicos inmaduros, que implica presencia de alta cantidad de materia orgánica libre (no humificada) y una alta carga microbiana la cual al llegar al suelo produce efecto "Priming", consistente en la estimulación o demora de la descomposición de la materia orgánica nativa del mismo. La consecuencia final es la compactación del suelo o la erosión del mismo y generación de CO<sub>2</sub>, gas que produce efecto invernadero.

El uso de la gallinaza obedece a su alto contenido de materia orgánica y nutrientes, como el fósforo total 2.35%, cuya fuente principal es el ácido fítico, (hexafosfato de mioinositol o de sus isómeros) en su forma estable, cuyas sales, excepto de Ca, Mg y otros metales alcalinos son poco solubles, por lo tanto no disponible inmediatamente para las plantas. Para su solubilización se requiere el proceso de mineralización bioquímica por los microorganismos del suelo en condiciones adecuadas, principalmente un valor óptimo de pH que no existe en estos suelos Andisoles.

En estudios anteriores se encontró que es posible aprovechar el P presente en estas gallinazas, volviéndolo completamente soluble con tratamientos químicos, sin embargo, no se logró estabilizar dichos extractos, debido a la presencia de materia orgánica soluble. [1].

Por las anteriores razones, en este trabajo se pretendió continuar la investigación de extracción del P de gallinazas ensayando otras relaciones gallinaza: solución extractante, pero principalmente buscando la estabilización del fertilizante obtenido a través de la destrucción de la materia orgánica extraída y con la adición de conservantes. Además se busco evaluar la eficacia del fertilizante ya estabilizado en un cultivo de rábano. Se selecciono este cultivo debido a que es una de las hortalizas más utilizadas en la dieta humana por su valor nutricional, facilidad de cultivo y bajo costo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficacia de un fertilizante foliar obtenido a partir de gallinazas debidamente estabilizado, sobre un cultivo de Rábano (*Raphanus sativus L.*).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la relación gallinaza: solución extractora más eficiente mediante la caracterización químicamente del fertilizante foliar obtenido.
- Ensayar diferentes métodos para lograr la estabilización química del fertilizante foliar obtenido.
- Evaluar el efecto del fertilizante sobre la producción en el cultivo del Rábano (*Raphanus sativus L.*).
- Evaluar el estado de fertilidad del suelo antes y después del cultivo del Rábano (*Raphanus sativus L.*).

### **3. FUNDAMENTO TEORICO**

#### **3.1 GALLINAZA**

La producción avícola intensiva, genera desechos con alto contenido de nutrientes y material orgánico, que causan la contaminación de suelos y aguas, emiten olores desagradables y altas concentraciones de gases, además de propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos; todo ello con un impacto negativo en el medio ambiente. Dentro de los diferentes sistemas de producción avícola, se debe contemplar un plan de manejo adecuado de los desechos, para que en vez de generar contaminación ambiental, se conviertan en una fuente de ingresos, que permita a los productores avícolas contemplar la posibilidad de buscar alternativas económicas para el uso y manejo eficiente de la gallinaza [2].

#### **3.2 GALLINAZA: RESIDUO ORGÁNICO**

La gallinaza se utiliza tradicionalmente como abono, su composición depende principalmente de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves. La gallinaza obtenida de explotaciones en piso, se compone de una mezcla de deyecciones y de un material absorbente que puede ser viruta, pasto seco, cascarillas, entre otros y este material se conoce con el nombre de cama; esta mezcla permanece en el galpón durante todo el ciclo productivo. La gallinaza obtenida de las explotaciones de jaula, resulta de las deyecciones, plumas, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan. Este tipo de gallinaza tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatiliza rápidamente, generando malos y fuertes olores, perdiendo calidad como fertilizante. Para solucionar este problema es necesario someter la gallinaza a secado, que además facilita su manejo, originando un proceso de fermentación aeróbica que genera nitrógeno orgánico, siendo mucho más estable [3].

#### **3.3 CALIDAD DE LA GALLINAZA**

La calidad de la gallinaza está determinada principalmente por: el tipo de alimento, la edad del ave, la cantidad de alimento desperdiciado, la cantidad de plumas, la temperatura ambiente y la ventilación del galpón. También son muy importantes el tiempo de permanencia en el galpón. Una conservación prolongada en el gallinero, con desprendimiento abundante de olores amoniacales, reduce considerablemente su contenido de nitrógeno y, finalmente, el tratamiento que se le haya dado a la gallinaza durante el secado [3,4].

### 3.4 PRODUCCIÓN DE GALLINAZA

La cantidad de gallinaza depende de diversos factores, como se describe a continuación [2]:

Edad del ave: las aves jóvenes producen menos excretas, debido a su bajo consumo de alimento en sus primeras etapas de vida.

Línea: en pollos de engorde la situación es compleja debido a que la cantidad de gallinaza producida es una mezcla de deyecciones y del material utilizado como cama.

Desde el punto de vista puramente teórico, hay que tener en cuenta que por cada kilo de alimento consumido los pollos producen alrededor de 1.1 a 1.2 kg de deyecciones frescas, con el 70-80% de humedad. En deyecciones totalmente secas ello supondría unos 0.2 a 0.3 kg por ave y por kilo de alimento consumido.

La cantidad de material utilizado como cama, en el caso de la viruta, varía entre 5 a 8 kg de cama/m<sup>2</sup> de superficie del galpón, lo que a una densidad de 15 pollos /m<sup>2</sup>, supone de 0.3 a 0.5 kg/pollo. La producción de gallinaza pura y seca, al final del periodo, depende del peso vivo y de su consumo total, pudiéndose estimar entre 20 y 28 kg gallinaza/ave sacrificada [2].

La cantidad de gallinaza, junto con la viruta, que puede recogerse al final de la cría en un galpón de pollos, depende de la cantidad de cama de viruta de la humedad del producto final, estimándose que puede variar entre 1.5 y 2 kg por pollo, con una humedad entre 20-30%. Con respecto a la producción de gallinaza de ponedoras, la situación parecería más sencilla al recogerse en forma pura (explotaciones en jaula) [3].

Sin embargo, la circunstancia de existir diversos sistemas de recogida de deyecciones (en función de su periodicidad y/o si se dispone de un presecado o no), hace que la humedad (70 a 80%) de éstas varíe considerablemente, lo que afecta a su producción aparente. [3,4].

Lo más lógico sería expresar la producción de gallinaza de las ponedoras en materia seca y en relación al consumo de alimento (Tabla 1).

Consumo de alimento: la producción de heces por parte de las aves depende de la cantidad de alimento consumido; así, para el pollo de engorde a relación alimento-deyecciones es de 1-1.1 ó 1-1.2, con una humedad entre el 70 al 80% y una relación de 1:1 en ponedoras. Lo anterior es teniendo en cuenta la digestibilidad del alimento del 70 al 80%, o los mismos valores en humedades del 1 al 4,5 % [4].



**Tabla 1.** Estimación de la producción de deyecciones en las ponedoras

Tipo de gallinaza	Consumo de alimento g.ave/día	Digestibilidad de alimento %	Materia seca deyecciones g.ave/día
Liviana	100 - 110	75 - 80	20 -27
Semi-pesada	110 - 120	75 - 80	22 - 30

### 3.5 FÓSFORO EN LA GALLINAZA

El ácido fítico (AF) y sus sales constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo (P) en semillas de cereales y leguminosas [5,6]. Sin embargo, en esta forma el P permanece no disponible para el hombre y animales monogástricos [7,8], debido a que éstos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasas endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar el grupo fosfato de la estructura del fitato [5]. El AF es además un compuesto con actividad antinutricional, debido a su capacidad de formar complejos insolubles con minerales y proteínas convirtiéndolos en no asimilables por el organismo bajo condiciones fisiológicas [9,10]. Paradójicamente, el AF, a bajas dosis, presenta también efectos positivos sobre la salud como son su acción protectora frente al cáncer, reducción de la formación de cálculos renales y prevención de enfermedades cardiovasculares [10].

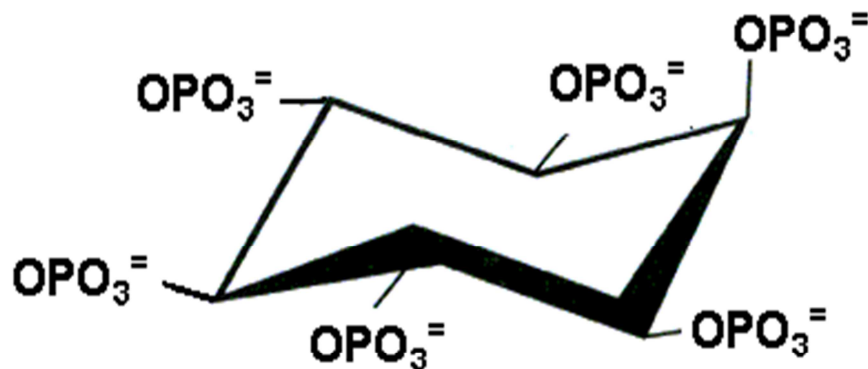
En los últimos años, la divulgación dada a los potenciales efectos beneficiosos de dietas bajas en grasas y con alto contenido de fibra, ha supuesto un fuerte empuje en el uso de leguminosas y semillas en grano en la alimentación humana [11]. Estos cambios en los hábitos alimentarios hacia una alimentación rica en fibra han conducido a una mayor ingesta de fitatos en la dieta [12]. No obstante, es importante considerar que durante el procesado de los alimentos y la digestión, la cantidad final de AF disminuye significativamente [13], como consecuencia de su hidrólisis, enzimática o química [7,14].

### 3.6 ESTRUCTURA QUÍMICA Y PROPIEDADES DEL ACIDO FITICO (AF)

Se han propuesto varios modelos para la estructura del AF. Según el modelo propuesto por Anderson [15], el AF sería una molécula con seis grupos ortofosfato, de nombre químico *myo-inositol* 1, 2, 3, 4, 5, 6 - *hexakis* (dihidrógeno fosfato) [16,17]. Según esta estructura, el AF, a pH neutro y al pH que normalmente presentan los alimentos, es una molécula cargada negativamente, (Figura 1) razón por la cual es considerado como un nucleófilo y por tanto muy reactiva, por lo que presenta una elevada capacidad para formar complejos o unirse a moléculas cargadas positivamente como cationes o proteínas siendo aprovechado para quelatar metales pesados utilizados en los cultivos como en el caso de fungicidas y herbicidas [18]. La interacción del

AF con las proteínas es pH-dependiente, mientras que con los cationes la interacción es debida exclusivamente a sus numerosos grupos fosfato: éstos pueden unirse bien a un sólo grupo fosfato, a dos grupos fosfato de una misma molécula o a grupos fosfato de distintas moléculas de AF [17,19]. En la semilla el AF se encuentra como una mezcla de sales con varios cationes como K, Mg, Ca, Mn, Zn y Fe [20]; el término fitina se ha empleado para designar una mezcla de sales de Ca y Mg del AF

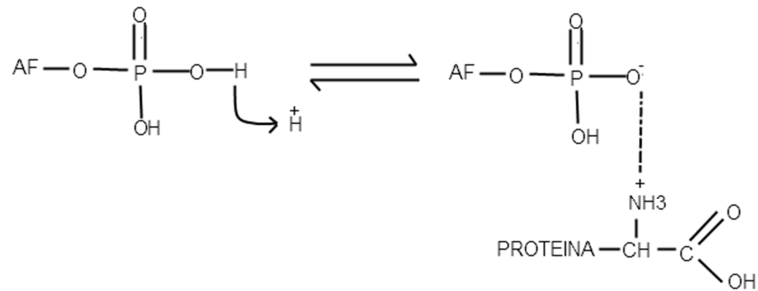
**Figura 1. Acido Fítico**



La "insolubilidad" del AF es la principal causa de su comportamiento antinutricional y de sus propiedades fisicoquímicas [16,21]. Sin embargo, es importante considerar que la solubilidad de las sales del AF varía con el pH, ya que el grado de protonación de los grupos fosfato que no se han unido a los metales está en función de dicho parámetro [22]. Aparentemente, en la semilla el AF se encuentra como sales relativamente solubles de Na o K más que como fitina insoluble [23]. Las sales de Ca y Mg son solubles a pH bajos e insolubles a pH elevados, por lo tanto a pH fisiológico serían insolubles, de ahí el descenso de la biodisponibilidad mineral. En general, las sales hidrogenadas y monovalentes del AF son solubles en agua, mientras que las sales metálicas divalentes y trivalentes son bastante insolubles [24].

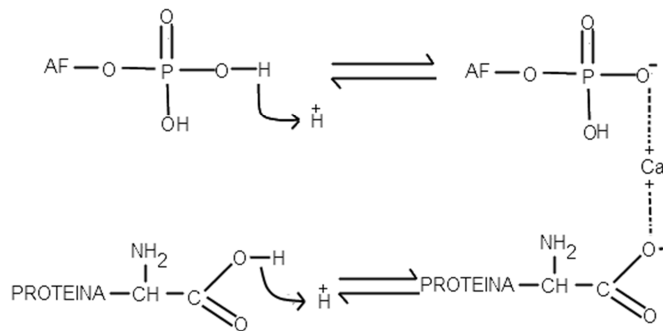
El grado de interacción entre AF y proteínas es dependiente de la carga neta de la proteína, de su conformación y de las interacciones con minerales a un pH dado [17,25,26]. A bajo pH, por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas, éstas se encuentran cargadas positivamente y el AF negativamente. En estas condiciones, se produce una fuerte interacción electrostática entre grupos amino terminal de las proteínas, y ésteres fosfato aniónico del AF, formándose un complejo binario [16,17] (Figura 2).

**Figura 2. Mecanismo de interacción de AF a pH bajos.**



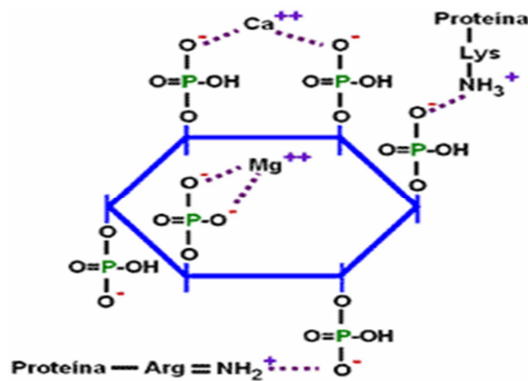
A pH intermedio, por encima del punto isoeléctrico de las proteínas, dado que la carga de las proteínas al igual que la del AF es negativa, su interacción sería imposible, sin embargo si puede realizarse a través de la formación de un complejo ternario con cationes divalentes como el  $\text{Ca}^{2+}$  o el  $\text{Mg}^{2+}$  (Figura 3).

**Figura 3. Mecanismo de interacción de AF a pH intermedios.**



Esta unión se realiza a través de los grupos carboxilos ionizados y el grupo imidazol desprotonado de la histidina, siendo necesaria una concentración mínima de estos cationes para mantener estos complejos [17]. A pH intermedio también pueden existir algunos complejos binarios, y a este pH los residuos lisil y arginil de las proteínas están aún cargados positivamente. (Figura 4).

**Figura 4. Unión de AF a pH intermedios.**



A pH elevado la interacción entre las proteínas y el AF disminuye, los grupos lisil y arginil pierden su carga, y por tanto su capacidad de formar complejos binarios. Los complejos ternarios se desestabilizan ya que la fuerza iónica aumenta a pH elevado; un incremento en la concentración del ión Na hace que la reacción de equilibrio del complejo ternario se desplace hacia la derecha liberándose fitato cálcico insoluble y proteína-Na soluble [16,17]. Como hemos visto la formación de complejos entre AF y proteínas no sólo afecta a la solubilidad y propiedades funcionales de las mismas, sino que también tiene una gran influencia en la biodisponibilidad mineral [27]. Además, el AF puede unirse también al almidón, bien directamente a través de puentes de hidrógeno o indirectamente mediante las proteínas a las que se asocia [26].

### 3.7 FIJACIÓN DE FÓSFORO

Inicialmente se consideró [28] que la fijación de P en suelos Andisoles ocurría solamente en las superficies activas de la alófana y óxidos amorfos de Fe y Al. Los mecanismos responsables de fijación de P en estos casos son quimioadsorción, desplazamiento de sílice estructural y precipitación de compuestos fosfatados.

Sin embargo, la importancia de los complejos Al, Fe-humus en la fijación de Andisoles ha sido reportada por CHANG et al [29], quienes hicieron las siguientes observaciones

- Existe reducción de la fijación de P cuando los suelos Andisoles son tratados con  $H_2O_2$  para eliminar MO
- Horizontes A de suelos en los cuales la presencia de alófana e imogolita es bajo fijan altos niveles de P.

El mecanismo de fijación estaría relacionado con la reacción de intercambio de ligandos entre los sitios positivos de la superficie de los complejos Al-humus con los iones  $HPO_4^{2-}$  y  $H_2PO_4^{1-}$

Las reacciones del fosfato con el complejo Al-humus no dependen del pH pero si dependen marcadamente de la concentración de fosfato. Esto explicaría la tendencia de los Andisoles de alto contenido de MO a fijar apreciables cantidades de P indefinidamente. Por otro lado, las reacciones del fosfato con la alófana son más dependientes del pH que de la concentración del fosfato en el sistema. Estudios en Andisoles colombianos demostraron que en suelos con alto contenido de MO de bajo desarrollo, la mayor parte del Al activo esta unido al humus y por esta razón se inhibe o retarda la formación de alófana e imogolita [29]

### 3.8 ALOFANOS

Diferentes autores usan el término alófano en forma distinta, El nombre de alófano significa “aparecer u otro” en referencia al cambio que frecuentemente experimenta desde un material con apariencia vidriosa, a otro con apariencia

terrosa, de acuerdo al grado de hidratación. El alófono y la imogolita son formados en ambientes naturales por coprecipitación de aniones de Si monoméricos o condensados con hidroxialuminios [30]

Para *Garavito* [31] Alófono es un material secundario, no muy bien definido, cuya fórmula empírica es  $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ , el cual resulta de la meteorización de las cenizas volcánicas, cuya composición puede ser muy diferente, pero la razón  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  está entre 0.5 – 2.0. Así por ejemplo, las zonas situadas alrededor del basín del pacífico, presentan cenizas andesíticas o sea, de composición moderadamente básica, mientras las lavas porosas y vesiculares conocidas como pómez, son altamente silíceas. Conviene destacar, que la meteorización de las cenizas no siempre conduce a la formación de alófono.

Según *Andriese et al* [32], la conferencia internacional sobre minerales de arcilla amorfos sostenida en Tokio en 1969, definió provisionalmente los alófonos como sigue: “Los alófonos son miembros de una serie de minerales que ocurren naturalmente los cuales son hidroaluminosilicatos de exactamente composición química variable, caracterizado por un orden de corto rango, por la presencia de enlaces Si – O – Al, y por una curva de análisis térmico diferencial que exhibe una baja temperatura endotérmica y una alta temperatura exotérmica sin endotermas intermedias. La consecuencia de esta nueva definición es que el significado de alófono es ahora restringido a hidroaluminosilicatos (aluminio co-precipitado y silicio en gel).

### 3.9 FERTILIZANTE LÍQUIDO

Recibe este nombre, el material que contiene uno o más nutrientes de plantas dispersos en un medio líquido, incluyendo los fertilizantes foliares. Generalmente los fertilizantes líquidos son abonos simples o sea que solo tiene un solo nutriente útil para las plantas. Los más comunes contienen solo nitrógeno, pero también pueden existir de nitrógeno y potasio, de nitrógeno y fósforo, y de nitrógeno, fósforo y potasio.

Los micronutrientes también pueden ser incorporados a las soluciones, los generalmente como quelatos. Este tipo de complejos, donde la unión se forma entre el ión central (el micronutriente) y por lo menos dos pares de electrones libres de una misma molécula del ligante, lleva a productos más estables.

Los agentes quelantes más usados en los fertilizantes fluidos son los siguientes:

CDTA    Acido ciclohexano diaminotetraacético  
DTPA    Acido dietilentriamino pentaacétato

EDTA Acido etilendiamino tetracético  
HECTA Acido hidroxietilendiamino tetracético  
NTA Acido nitrilotriacético

### 3.9.1 SOLUBILIDAD Y FACTORES QUE AFECTAN LOS FERTILIZANTES LIQUIDOS

La solubilidad de un soluto en agua varía dependiendo de la interacción de cada soluto con el solvente. Los solventes se consideran desde solubles hasta insolubles según la cantidad de ellos que se disuelve por litro de agua. Una clasificación es la siguiente:

Tipo de soluto	Solubilidad g/litro de agua
Soluble	Más de 50
Moderadamente soluble	10 – 50
Ligeramente soluble	1 – 10
Moderadamente insoluble	0,01 – 1
Insoluble	Menos de 0,01

Al aumentar la temperatura, en general, la solubilidad de los sólidos aumenta y la de los gases disminuye. El cambio de la solubilidad con la temperatura debe ser tenido en cuenta especialmente cuando se va a almacenar las soluciones. Descensos fuertes en las noches o en épocas del año pueden llevara a la formación de cristales solo por cambio en la solubilidad y muchas veces la disolución no se obtiene espontáneamente aunque vuelva a aumentar la temperatura.

Otro factor a tener en cuenta es que los cristales obtenidos por enfriamiento lento son relativamente pocos pero grandes, mientras que cuando el enfriamiento es rápido se producen muchos cristales pequeños.

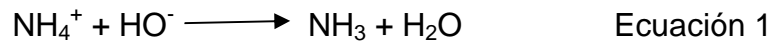
Entre los fertilizantes compuestos más afectados en su solubilidad por el pH están los fosfatos, ya que la forma del anión fosfato depende del pH. En el intervalo normal de pH en los suelos y en las soluciones nutritivas se tienen dos especies de fosfatos  $H_2PO_4^-$  y  $HPO_4^{2-}$ . La primera predomina a valores de pH 4,7 y la segunda a pH 9,7. Entre estos dos valores de pH se producen mezclas de las dos formas en diferentes proporciones [33].

### INCOMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES EN SOLUCIÓN

En las soluciones claras de fertilizantes se presentan dos tipos de incompatibilidad: la que lleva a pérdidas de un fertilizante y la que lleva a la formación de sustancias insolubles.

## PÉRDIDAS DE FERTILIZANTES

Las soluciones de amoníaco, lo pierden en general por aumento de la temperatura, pero también se puede perder el N de los fertilizantes amoniacales cuando estos son colocados a pH básicos ya que se produce la siguiente reacción:

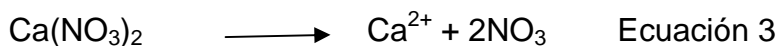
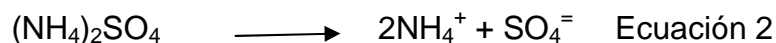


Por lo tanto, las sales de amonio no deben mezclarse con sustancias que producen pH básico.

## FORMACIÓN DE PRECIPITADOS

La mayoría de los compuestos en los fertilizantes se disuelven en el agua formando iones, una de las propiedades de los iones es que ellos pueden reaccionar con cualquier otro ion presente y esto sucede para entrar a precipitar el compuesto menos soluble.

Un ejemplo de esta situación se presenta cuando juntamos soluciones de sulfato de amonio con nitrato de calcio.



Luego.



Es necesario entonces conocer la solubilidad de los posibles compuestos a formarse, el sulfato de Calcio es un ejemplo. Otro caso importantísimo es el de los fosfatos; casi todos los fosfatos, excepto los de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , son insolubles o de solubilidad muy baja en agua, aunque ella aumenta al disminuir el pH. Esto debe tenerse en cuenta cuando se agregan cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y los elementos menores que se presentan como cationes.

## DISMINUCIÓN DE LA SOLUBILIDAD

En este caso la sal que se forma, aunque soluble, tiene una solubilidad menor que la original.

Un ejemplo de esto se presenta cuando se combina una solución de cloruro de potasio con otra de sulfato de amonio; Se tiene en la solución mezclada los iones  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , y de las sales que se precipitan,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  el  $\text{K}_2\text{SO}_4$  es la menos soluble. Si la concentración del ion potasio y del ion sulfato son lo suficientemente altas se podría precipitar el  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

## **PRESENCIA DE UN IÓN COMÚN**

La presencia de un ión común también disminuye la solubilidad de los compuestos, por ejemplo la solubilidad de KCl se ve disminuida por presencia de HCl, NaCl y MgCl<sub>2</sub>. La solubilidad del K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> disminuye por la presencia de KCl o del (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se vuelve prácticamente insoluble en una solución saturada de este último.

## **INESTABILIDAD DE COMPLEJOS**

Los quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn, usados como fuentes de elementos menores, son menos estables a pH bajos que a pH cercanos a la neutralidad, esto se debe a que el ion H<sup>+</sup> compite con el catión del quelato por los pares electrónicos los cuales producen la unión. Por lo anterior, se considera incompatibles con soluciones fuertemente ácidas como el HNO<sub>3</sub>. No se produce precipitación inmediata, a no ser que el anión del ácido forme precipitado, como podría ser el ácido fosfórico, pero los cationes pierden la protección que les da el complejo y posteriormente pueden precipitar los micronutrientes más fácilmente [33].

### **3.10 FERTILIZACIÓN FOLIAR**

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutricionales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto. La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo. El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo. De aquí, que la fertilización foliar para ciertos nutrientes y cultivos, bajo ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, sea ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias que la fertilización edáfica.

La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficiente y satisfactoriamente [34].



A partir de 1950, cuando se empezaron a utilizar radioisótopos en la agricultura, mejores técnicas de laboratorio y aparatos para el rastreo y análisis de nutrimentos del tejido vegetal, se lograron avances más claros sobre la efectividad de la fertilización foliar [35]. En las últimas décadas varios trabajos de investigación han demostrado la bondad de esta práctica cuyo uso es común hoy en día [35, 36, 37].

Actualmente se sabe que la fertilización foliar puede contribuir en la calidad y en el incremento de los rendimientos de las cosechas, y que muchos problemas de fertilización al suelo se pueden resolver fácilmente mediante la fertilización foliar [38]. Se reconoce, que la absorción de los nutrimentos a través de las hojas no es la forma normal.

La hoja tiene una función específica de ser la fábrica de los carbohidratos, pero por sus características anatómicas presenta condiciones ventajosas para una incorporación inmediata de los nutrientes a los fotosintatos y la translocación de éstos a los lugares de la planta de mayor demanda.

El abastecimiento de los nutrimentos a través del suelo está afectado por muchos factores de diferentes tipos: origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas, humedad, plagas y enfermedades [36,39]. Por consiguiente, habrá casos en que la fertilización foliar sea más ventajosa y eficiente para ciertos elementos, que la fertilización al suelo, y casos en que simple y sencillamente no sea recomendable el uso de la fertilización foliar.

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrimentos aplicados por aspersión [40]; sin embargo, parece ser, que un nutrimento también puede penetrar a través del tallo, si éste no presenta una suberización o lignificación muy fuerte; tal es el caso de las ramas jóvenes o el tallo de las plantas en las primeras etapas de desarrollo.

La hoja es un tejido laminar formada en su mayor parte por células activas (parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio [41].

Desde el punto de vista de su estructura, las partes más importantes de una hoja del haz al envés son: La cutícula, epidermis superior, parénquima de empalizada, parénquima esponjoso, tejido vascular (integrado por células perimetrales, xilema, floema y fibras esclerenquimatosas), epidermis inferior y cutícula inferior. En el envés, en muchos casos existe una capa espesa de vellos, que dificulta el acceso de soluciones nutritivas, hasta la epidermis como ocurre en la hoja de aguacate.

Fisiológicamente la hoja es la principal fábrica de fotosintatos. De aquí la gran importancia de poner al alcance de la fábrica los nutrimentos necesarios que se

incorporan de inmediato a los metabolitos, al ser aplicados por aspersión en el follaje. Pero la fertilización foliar no puede cubrir aquellos nutrimentos que se requieren en cantidades elevadas. La fertilización foliar, entonces, debe utilizarse como una práctica especial para complementar requerimientos nutrimentales o corregir deficiencias de aquellos nutrimentos que no existen o no se pueden aprovechar eficientemente mediante la fertilización al suelo [42].

### 3.10.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES FOLIARES

Los fertilizantes foliares se pueden clasificar de acuerdo a los objetivos que se persiguen:

- **CORRECTIVOS**, son aquellos que tienen como objetivo corregir una determinada deficiencia nutricional. En general aportan un solo nutriente y presentan una concentración elevada de él.
- **COMPLEMENTARIOS**, son aquellos que tienen como objetivo complementar la fertilización correctiva del suelo. Estos fertilizantes se caracterizan por presentar concentraciones relativamente altas y también, aportan uno, o a lo más, dos nutrientes.
- **SUPLEMENTARIOS**, son aquellos que tienen como objetivo eliminar limitaciones nutricionales breves, producto del stress, tanto del suministro de nutrientes del suelo, como la absorción de estos por las plantas [33].

### 3.10.2 VÍAS DE ABSORCIÓN FOLIAR

Para que un nutriente aplicado por vía foliar pueda ponerse en contacto con el protoplasma de la planta, primeramente debe atravesar la cutícula de las hojas y posteriormente las paredes de la membrana plasmática. El paso por la cutícula y las paredes epidérmicas se efectúa por un proceso de difusión simple ocurriendo posteriormente un proceso metabólico con utilización de energía. Los estomas son otra vía de absorción y se encuentran en mayor número en el envés de las hojas. En general la absorción inicial es rápida, lo cual explica la respuesta de los cultivos a las aspersiones de nutrientes por vía foliar.

### 3.10.3 EFECTIVIDAD DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

Hasta el momento, se asevera que la fertilización foliar puede dar buenos resultados, bajo las siguientes condiciones:

- Falta de nutrientes en el suelo.

- Presencia de condiciones que le impiden al sistema radicular cumplir satisfactoriamente su función de absorción de nutrientes (raíces dañadas por implementos agrícolas o afectadas por enfermedades, insectos, nematodos; suelos con condiciones indeseables, como presencia de capas endurecidas, mala aireación, fijación de nutrientes, etc.)
- Sequía: Como es fácil de entender, está afectada principalmente la absorción por las plantas de los nutrientes de muy baja solubilidad, como el P, el Ca y casi todos los elementos menores. En épocas secas conviene hacer las aplicaciones foliares, temprano en la mañana, o avanzada la tarde, cuando la planta presenta su máxima turbidez.
- Con cultivos cuya área foliar es grande, como sucede con árboles frutales y muchas plantas ornamentales.
- Baja movilidad en la planta de algunos nutrientes como el Boro.

#### **3.10.4 VENTAJAS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR**

Como ventajas de la fertilización Foliar, tenemos:

- Es buen recurso en situaciones de emergencia como las citadas en el párrafo anterior.
- Se requiere aplicar menos cantidades de abono al follaje que al suelo, para alcanzar un nivel dado de nutrición. Probablemente esto se debe, al menos en parte, a la eliminación de reacciones en el suelo.
- Se puede recurrir a ella más rápidamente que a la aplicación al suelo, con ciertos cultivos ya establecidos (principalmente semestrales) cuando se presenta la sintomatología de la deficiencia de un elemento.
- Los síntomas visuales de la respuesta a un fertilizante, son más rápidos en el caso de la fertilización foliar. Es probable, por lo tanto que en el caso de aplicaciones tardías, sea mejor recurrir a las foliares. El que las plantas tomen rápidamente un color verde después del abono foliar, es uno de los factores que ha estimulado el empleo de estos abonos.
- Se puede cubrir un área grande rápidamente [43].

#### **3.10.5 DESVENTAJAS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR**

- Posibles lesiones foliares (“Quemado”).
- Posibles problemas con la solubilidad de producto.
- El éxito depende de clima.
- Incompatibilidad para aplicación con algunos insecticidas.

- Posible ineficiencia de absorción por cera en a hoja, sequía, edad de la hoja y edad del cultivo [43].

### **3.10.6 LA FERTILIZACIÓN FOLIAR COMO COMPLEMENTO**

Los motivos por los cuales se piensa que la fertilización al suelo no puede ser remplazada totalmente por la foliar y que ésta no puede ser sino un complemento de la misma son:

- A la planta hay que alimentarla bien desde que germina. A partir del momento en que la planta necesita absorber nutrientes, hasta aquél en que tiene suficiente masa en su parte aérea para que se pueda aplicar la fertilización foliar, la planta necesitará de los fertilizantes aplicados al suelo. Es lógico que a la planta hay que nutrirla bien durante este periodo y ello solo es posible por la fertilización del suelo.
- No se debe dejar aparecer los síntomas de deficiencia de nutrientes en los cultivos, pues el daño es ocasionado con anterioridad a su aparición. Esto refuerza el párrafo anterior y ambos muestran la necesidad de la fertilización al momento de la siembra, la cual necesariamente tiene que ser del suelo.
- La fertilización foliar, en el caso de los llamados elementos mayores, no basta para aplicar la totalidad de lo necesario, pues además de lo manifestado en el primer literal, cabe agregar que, una vez aparecido suficiente follaje, habría que hacer un numero grande de aplicaciones, el cual será cada vez mayor, con la aparición de variedades cada vez mas productivas, Es sabido que muy pocas plantas toleran la aspersion en su follaje de soluciones de alta concentración de nutrientes y esta tolerancia parece ser debida a que por la naturaleza de la cutícula de las hojas, gran parte de la solución cae al suelo [33].

### **3.11 FERTILIZACIÓN EN PLANTAS**

Un programa de fertilización apropiado y balanceado reducirá los problemas de plagas y enfermedades, y además de productividad. La planta requiere para un normal desarrollo tantos los llamados macro-elementos (N, P, K, Ca, Mg, y S), como los micro-elementos (Cu, Zn, Mn, Fe, B y Mo), pero el adecuado aprovechamiento de estos depende, entre otros, del pH del suelo, del correcto suministro de agua, de la fuente de fertilizante utilizada y de las relaciones que los elementos deben guardar.

El suelo es un complejo biótico, físico y químico y, como tal, no se rige por leyes aritméticas para el diseño de programas de fertilización. Las excesivas aplicaciones de un elemento no necesariamente serán asimiladas en relación

directa con su cantidad, y bien podría interferir en la normal absorción de otro elemento. Así, por ejemplo, un exceso de calcio reduce el aprovechamiento del Fósforo y el Boro; el Potasio en grandes cantidades interfiere en la asimilación del Manganeseo; el exceso de Fósforo bloquea el zinc, como el alto contenido de Nitrógeno inhibe la absorción del cobre y viceversa.

Un programa de fertilización está basado en la aproximación e intento bajo el esquema “ensayo-error”, pero sus implicaciones perjudiciales se pueden contrarrestar por medio de frecuentes análisis de suelo y foliares. La interpretación de los análisis nombrados nos indicara los excesos, deficiencias o desbalances en las relaciones nutricionales. Deben seleccionarse muy bien las fuentes de los fertilizantes, a fin de suministrar a la plantas los nutrientes de la manera más adecuada, ya que no todas las formas iónicas y catiónicas son absorbidas con la misma facilidad (Tabla 2.)

**Tabla 2. Grado de dificultad en la absorción de los nutrientes, de menor a mayor, en forma descendente.**

Nivel A	$\text{NO}_3^-$		$\text{Cl}^-$
Nivel B	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$
Nivel C	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{SO}_4^-$
Nivel D	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$
Nivel E	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{MoO}_4^{2-}$

Las siguientes consideraciones se desprenden del análisis de la tabla 2: el Nitrógeno y el Potasio, por su altísima disponibilidad y posibilidad de pérdida por volatilización o lixiviado, preferiblemente deben ser aplicados en los riegos fertilizados. Las formas no muy solubles del Fósforo, Calcio y Magnesio deben ser aplicados en la fertilización pre-siembra, finamente molidas, para asegurarse su más rápida disponibilidad. Especial cuidado merece el Cloro en exceso por su característica depresiva para la planta y por la alta residualidad que tiene algunas formas, por lo que se debe evitar el riego con aguas que contengan mas de 10 meq/L de cloruros, así como restringir al máximo de biocidas clarinados y de fertilizantes a base de cloruros. Es también importante señalar el perjuicio que tiene para la planta el alto contenido de la forma amoniacal de Nitrógeno o de su desbalance en relación como la forma nítrica. Este produce un crecimiento suculento, con menor peso seco y hace que las plantas sean más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, por la marcada interferencia del amoniaco en la síntesis de carbohidratos. Adicionalmente, en el proceso de mineralización del Nitrógeno, la forma de nitrito, que es muy toxica para las plantas, permanece estable, particularmente en suelos que se mantienen muy húmedos [41].

El desarrollo, como las necesidades nutricionales de las plantas, se representan en una curva sigmoideal, en donde al principio y al final aquellos son muy lentos. Hay algunos elementos como el Calcio que se concretan al final de la madurez de las plantas. Por las razones anteriores es conveniente efectuar el análisis foliar, simultáneamente con el edáfico, en la parte media de la vida de la planta, en donde refleja mas su verdadero estado nutricional.

En la tabla 3 se señala el orden de movilidad de los elementos en el floema. Cuando se fertiliza las fuentes empleadas deben ser de alta reacción y solubilidad.

**Tabla 3. Orden de movilidad de los elementos en el floema.**

Móvil	Intermedio	Inmóvil
Nitrógeno	Hierro	Calcio
Fósforo	Manganeso	Boro
Potasio	Cobre	
Sodio	Zinc	
Magnesio	Molibdeno	
Azufre		
Cloro		

Otros elementos, como el Cobre, Zinc, Hierro y Manganeso, de encontrarse en nivel bajo, y dada su condición de elementos traza, se puede recurrir a la forma quelatada para su aplicación foliar. O bien que, por tratarse de elementos de movilidad intermedia y que son metales pesados contenidos en los más comunes fungicidas, se podría reforzar con uno de ellos, dentro del programa de prevención de enfermedades, según las circunstancias. La inclusión del Boro se debe a la importancia del elemento en la formación de la flor ya su escasa movilidad.

El riego fertilizado convencional se prepara, ya bien en estanques con agitadores motorizados o manuales para mantener una solución homogénea, o en dispositivos que permiten inyectar al agua de riego los nutrientes en la proporción deseada [42].

### **3.12 RÁBANO (*Raphanus sativus* L.).**

El rábano tiene una raíz picante y dura, su ciclo vegetativo es de 3 a 5 semanas aproximadamente después de la siembra, por lo que puede ser sembrado en forma de minivegetal [44].

### **3.12.1 ORIGEN**

Son oriundos de Asia, sin embargo, se cultivan desde la antigüedad tanto en Grecia como en Egipto desde el tiempo de los faraones, en la actualidad es una hortaliza que se cultiva a nivel mundial. De dicha hortaliza se consume generalmente la raíz, aunque en países como Egipto se consumen las hojas, en la India se consumen sus vainas carnosas y en la China el aceite extraído de sus semillas.

### **3.12.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Brassicales  
Familia: Brassicaceae  
Género: Raphanus  
Especie: R. Sativus

### **3.12.3 MORFOLOGÍA**

#### **RAÍZ**

Es una especie de escaso desarrollo radicular, pues las raíces pueden encontrarse a una profundidad que oscila entre los 5 y 25 cm. Aunque en algunas ocasiones la raíz principal puede llegar a tener una profundidad de un metro y las laterales hasta de 90 cm. Durante el desarrollo vegetativo del cultivo se forman raíces tuberosas a partir de la parte superior de la raíz y del hipocótilo. Estas pueden ser de forma redonda, fusiformes, alargadas, ovaladas y cónicas, de color blanco, rojo, amarillo, negro, etc [45].

#### **TALLO**

El tallo durante la fase vegetativa suele ser corto, con hojas que forman una roseta o corona, luego se alarga llegando a medir entre 80 y 120 cm de altura, de forma variable ya sea cilíndrico o anguloso, de color verde y pubescente.

#### **HOJAS**

Las hojas son imparipinnadas, de pecíolo largo y de forma ovalada, de borde dentado y el ápice más grande. Algunos autores sugieren que existe cierta proporcionalidad directa entre el tamaño de las hojas cotiledonales y el de la raíz carnosa.

## FLOR

Las flores pueden ser de color blanco, rosado, violeta y en algunas ocasiones amarillas; Generalmente el rábano es cosechado antes de que llegue a la fase reproductiva, sin embargo, para la producción de semilla si es necesario que produzcan flor.

## FRUTO

El fruto es una silicua indehiscente, contrario a las otras crucíferas, en algunas especies puede alcanzar una longitud entre los 40 y 100 cm constituyéndose en la parte comestible de la planta.

## SEMILLA

La semilla tiene forma esferoidal, de color variando desde marrón a castaño claro a marrón oscuro. Bajo buenas condiciones de almacenamiento las semillas pueden conservar su viabilidad por 3 a 4 años [44].

## VALOR NUTRICIONAL

En la siguiente tabla se encuentra el contenido nutricional para el Rábano (*Raphanus sativus L.*) [45].

**Tabla 4. Valores nutricionales del rábano.**

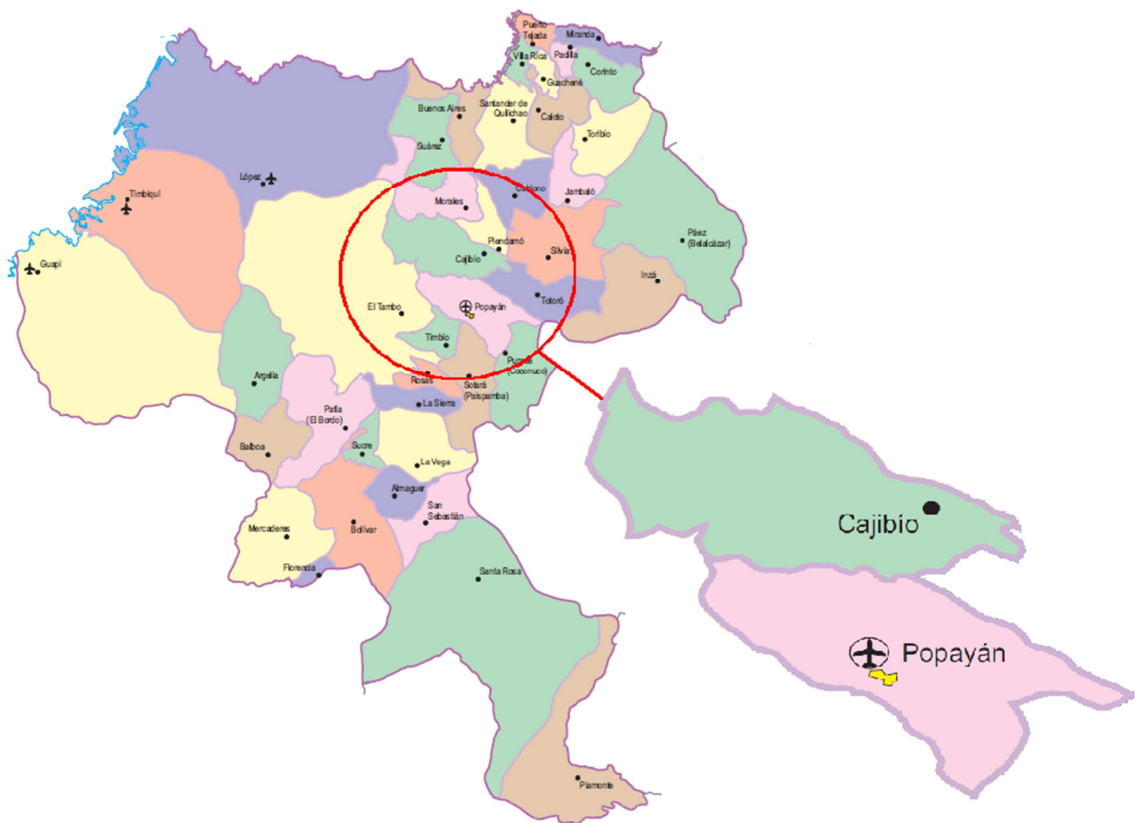
Valor nutricional del rábano en 100 g de materia fresca	
Glúcidos (g)	2,44
Prótidos (g)	0,86
Vitamina A (U.I)	30,0
Vitamina B1(mg)	30,0
Vitamina B2 (mg)	20,0
Vitamina C (mg)	24,0
Calcio (mg)	37,0
Fósforo (mg)	31,0
Hierro (mg)	1,00



## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Figura 5. Ubicación geográfica



La presente investigación consta de dos partes, el ensayo de campo y el trabajo de laboratorio.

Ensayo de campo:

La siembra del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus L*) se realizó en el patio de una casa ubicada en la carrera 2 # 19 AN-03 en el barrio Portales de Pomona, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca (figura 5). Este municipio se encuentra localizada en el Valle de Pubenza, entre la Cordillera Occidental y Central al suroccidente del país, en las coordenadas 2°26'39"N 76°37'17"O con una extensión territorial de 512 km<sup>2</sup>, su altitud media es de 1760 m.s.n.m, su precipitación media anual es de 1.941 mm y su temperatura promedio es de 14/19 °C.

El suelo utilizado se encuentra localizado en la Finca Santa Rosa en la vereda La Aurelia, Municipio de Cajibío, Departamento del Cauca (figura 5), este municipio esta ubicado sobre la Cordillera Central y la Cordillera Occidental del

sistema montañoso de los Andes Colombianos, a una altura media de 1740 m.s.n.m, con temperatura promedio de 19°C.

Las muestras de gallinaza usadas en este trabajo fueron obtenidas en 5 diferentes almacenes agropecuarios ubicados en la carrera 5 entre las calles 7N y 8N del barrio Bolívar de la ciudad de Popayán

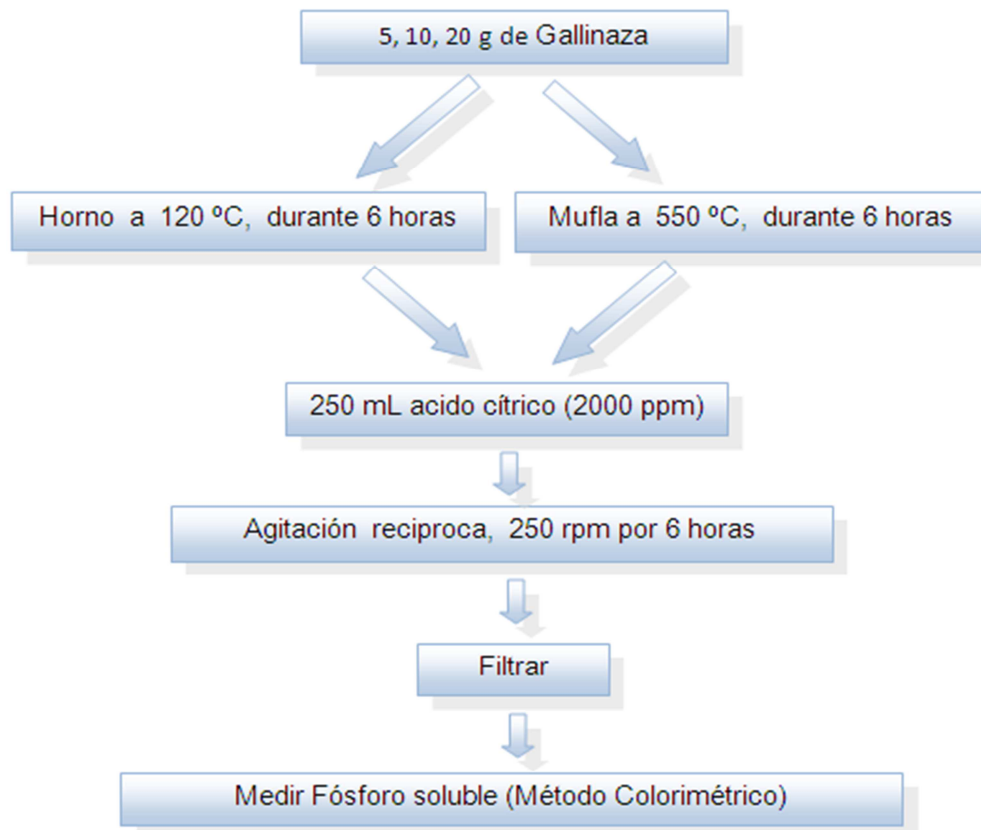
Trabajo de laboratorio:

La obtención y estabilización del fertilizante, como el análisis físico químico del suelo, se desarrollo en el Laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca.

#### 4.2 OBTENCIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE FÓSFORO

La obtención del fertilizante se esquematiza en la figura 6

**Figura 6. Obtención del fertilizante foliar.**



Para la obtención del fertilizante se hizo extracciones con 5, 10 y 20 gramos de gallinaza previamente seca a 120 °C durante 6 horas, y con gallinaza calcinada a 550 °C durante 6 horas.

Se preparó una suspensión de gallinaza en 250 mL de solución de Ácido cítrico en concentración de 2000 ppm. Se someten las suspensiones, a agitación recíproca a 250 rpm durante 6 horas [46].

Posteriormente se obtuvieron las respectivas soluciones filtrando las suspensiones obtenidas y por último se evalúa en ellas el P soluble mediante método colorimétrico [1].

Para la optimización de la extracción, se midió el fósforo soluble a extracciones hechas con 5, 10, 20, 40, 60, 80, y 100 g de gallinaza calcinada previamente a 550 °C durante 6 horas, y ajustado el valor de pH a 4,00.

### **4.3 AJUSTE DE pH A LOS EXTRACTOS CON ACIDO NÍTRICO**

Para este ensayo se evaluó el cambio en el valor de pH durante 15 días, de tres extractos, cada uno por triplicado, obtenidos a partir de 5, 10 y 20 gramos de gallinaza calcinada. Después de la incubación y su posterior filtración se realizó un ajuste de pH con ácido nítrico al 1% hasta alcanzar un valor pH final de aproximadamente 4,00 ideal para fertilización foliar.

### **4.4 ESTABILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR**

Para impedir los cambios de pH, producidos por la proliferación de microorganismos presentes en el fertilizante, se realizaron los siguientes procedimientos.

#### **4.4.1 ENSAYO CON HIPOCLORITO DE SODIO**

Se realizó un seguimiento a los valores de pH durante 7 días de los extractos hechos con 20 g de gallinaza seca, con concentraciones de hipoclorito de sodio de 0%, 0,44%, 0,85%, 1,56%, 2,54% y 2,9%. Además se comparó con los valores de pH de un extracto realizado a partir de 20 gramos de gallinaza calcina.

#### **4.4.2 ENSAYOS CON ACIDO BENZOICO**

Se realizaron dos ensayos con el ácido benzoico.

En el primer ensayo se usó un conservante que impide la proliferación de microorganismos como lo es, el ácido benzoico. Se valoró el pH durante 15

días, de 9 extractos. La información de los extractos está detallada en la tabla 5.

**Tabla 5. Extractos en ácido benzoico**

EXTRACTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CANTIDAD DE GALLINAZA (g)	5	10	20	5	10	20	5	10	20
ACIDO BENZOICO (ppm)	26	26	26	289	289	289	486	486	486

En el segundo ensayo se realizó un seguimiento a los valores de pH para los extractos por triplicado de 5, 10 y 20 gramos de gallinaza, ajustando el pH a un valor de 4 con ayuda de Ácido Fosfórico al 1%. Todas las soluciones con una concentración de 500ppm de Ácido Benzoico (Tabla 6).

**Tabla 6. Seguimiento de pH a extractos estabilizados.**

EXTRACTO	1	2	3
GALLINAZA (g)	5	10	20
ACIDO BENZOICO (ppm)	500	500	500

#### 4.5 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL FERTILIZANTE FOLIAR

Con el fin de conocer exactamente el contenido nutricional de los fertilizantes foliares obtenidos a partir de 5, 10 y 20 gramos de gallinaza calcinada, se realizaron las siguientes determinaciones.

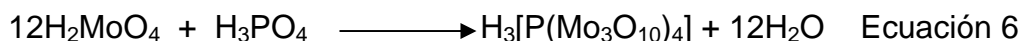
##### 4.5.1 DETERMINACIÓN DE AZUFRE

Se determinó el azufre mediante el método turbidimétrico, utilizando cloruro de bario, el cual reacciona con los iones sulfato formando un precipitado de sulfato de bario sobre el cual se adiciona bactogelatina para mantenerlo en suspensión y así realizar la lectura a una longitud de onda 420 nm; la reacción es:



##### 4.5.2 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

Una vez extraído el fósforo se procedió a su determinación por el método colorimétrico, el cual consiste en formar un complejo del fósforo con ácido molíbdico, que absorbe a cierta longitud de onda. El método cloro molíbdico utiliza una solución de  $\text{HCl}-(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  donde al reaccionar produce  $\text{H}_2\text{MoO}_4$ .



El  $\text{H}_2\text{MoO}_4$  Heterocompuesto incoloro que por reducción forma un compuesto de color azul que absorbe a 660 y 835 nm, siendo la banda de mayor intensidad la de 660 nm. La reducción se hace con ácido ascórbico [46].

#### **4.5.3 DETERMINACIÓN DE BORO**

Se determina colorimétricamente utilizando Azometina H para desarrollar el color, y leer a una longitud de onda de 430nm.

#### **4.5.4 DETERMINACIÓN K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Fe y Zn**

Se determinan mediante espectrofotometría de Absorción atómica a su respectiva longitud de onda.

### **4.6 EVALUACIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR EN EL CULTIVO DEL RÁBANO**

Para evaluar la eficacia del fertilizante obtenido, se utilizó un cultivo de rábano (*Raphanus sativus L*) (Figura 7).en el cual se aplicó y comparó con otros dos fertilizantes, uno edáfico (triple 15), y otro Foliar comercial (Fertidorado), se estableció un diseño experimental completamente al azar, con siete tratamientos y 15 réplicas por tratamiento, como se relaciona en la tabla 7, con dos períodos de siembras de diez días de diferencia para un total de 210 tratamientos.

#### **Figura 7. Fotografía del cultivo del Rábano**



Las semillas se sembraron en bolsas de polietileno color negro con medidas de 22 X 8 cm , conteniendo 1000 g de suelo aproximadamente. En el figura 8 se describe el diagrama para la evaluación de la eficacia de dicho fertilizante.

**Tabla 7. Descripción de los tratamientos para la evaluación del fertilizante**

NOMBRE DEL TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
T <sub>1</sub>	Testigo Absoluto
T <sub>2</sub>	Fertilizante Foliar (Dosis 1)
T <sub>3</sub>	Fertilizante Foliar comercial
T <sub>4</sub>	Fertilizante Edáfico comercial
T <sub>5</sub>	Fertilizante Edáfico comercial + Fertilizante Foliar (Dosis 1)
T <sub>6</sub>	Fertilizante Edáfico comercial + Fertilizante Foliar (Dosis 2)
T <sub>7</sub>	Fertilizante Edáfico comercial + Fertilizante Foliar comercial

**Figura 8. Diseño experimental para la evaluación del efecto de la fertilización sobre el cultivo del rábano**

	Medida 1							Medida 2						
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
R <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

R <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>6</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>7</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>8</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>9</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>10</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>11</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>12</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>13</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>14</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R <sub>15</sub>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 4.7 FORMULACIÓN DEL FERTILIZANTE

Con base en el análisis del suelo inicial y el requerimiento del cultivo del rábano (*Raphanus sativus L*) [44], se formuló las cantidad de fertilizantes edáfico y foliar aplicados al cultivo.

#### 4.8 APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE EN EL CULTIVO

En la tabla 8 se relaciona la dosis de fertilizantes a aplicar en el cultivo de rábano.

**Tabla 8. Descripción de la forma de aplicación de los fertilizantes en cada tratamiento.**

Tipo de Fertilizante	Fertilizante Edáfico	Fertilizante Foliar	Fertilizante Foliar	Fertilizante Foliar
	(Triple 15)	Comercial (Fertidorado)	Propio (Dosis 1)	Propio (Dosis 2)
<b>Cantidad Total Aplicada</b>	4,5 g	2,9 mL / 500 mL H <sub>2</sub> O	230 mL	230 mL
<b>Comienzo de la aplicación</b>	21 dds*	21 dds	21 dds	21 dds
<b>Volumen -Días de aplicación</b>	1 día	35 mL durante 14 días	22 mL durante 6 días, 10 mL durante 7 días,	6 días 15 mL, 7 días 17 mL,
			23 mL durante 1 día	1 día 23 mL

\*dds días después de la siembra

#### **4.9 EVALUACIÓN DE LOS FERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DEL RÁBANO**

Para evaluar la eficacia del fertilizante, se midieron el aspecto fitosanitario del cultivo y su producción. Se realizaron registros los días 14, 21, 28, 35 y 47 después de siembra (dds), en los días señalados se tomaron 3 plantas en forma aleatoria, por cada tratamiento experimental. Se llevo un registro fotográfico del crecimiento de las plantas.

Las variables evaluadas correspondieron a:

##### **4.9.1 NÚMERO DE HOJAS (No.)**

Durante los muestreos, se realizaron conteos de las hojas en las diferentes plantas.

##### **4.9.2 LONGITUD DE LA PLANTA (cm)**

Para la determinación de este parámetro se tomó en cuenta desde la raíz, hasta la hoja más larga. Las mediciones se realizaron durante cada muestreo, y en cada una de las plantas, con ayuda de una regla, también se llevo un registro fotográfico.

##### **4.9.3 PRODUCCIÓN DE BIOMASA (mg)**

Para esta determinación cada planta muestreada fue lavada y posteriormente se llevada a la estufa, hasta alcanzar un peso seco constante a una temperatura 60 °C, una vez secas, se determinará su peso.

##### **4.9.4 PRODUCCIÓN DEL RÁBANO (g)**

Se evaluó el peso del rábano obtenido en cada uno de los siete tratamientos, registrándolo inmediatamente después de ser cosechado.

#### **4.10 ANÁLISIS DEL SUELO**

Para observar el efecto residual de la fertilización en el suelo del cultivo, se realizó su caracterización, antes y después del cultivo de Rábano.



Se realizaron los análisis físicos y químicos, de acuerdo a la metodología estandarizada por Bravo *et al* en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca; reportada en la última corrección de 2003 como “Manual de prácticas de Química Agrícola: análisis de suelos” [47].

#### **4.11 TOMA DE MUESTRAS**

Para tomar las muestras de suelo a estudiar, se delimitó el área y se identificó las respectivas unidades de muestreo de acuerdo a la altura, topografía o relieve, tipo de cultivo, vegetación, etc. Se seleccionó una unidad de muestreo y se cruzó en zig-zag, haciendo sondeos en la capa arable a una profundidad de 0-10 cm. Se tomó 15 submuestras mezclándolas homogéneamente y se formará con estas una muestra compuesta de 1 Kg. Las muestras compuestas se llevaron al laboratorio de agroquímica de la Universidad del Cauca, se determinará inmediatamente la humedad de campo y posteriormente se secarán al aire por 24 horas, se molieron y se pasaron por tamiz de 2 mm. Otra porción de 250 kg aproximadamente de muestra que se tomó en las mismas condiciones para la posterior siembra del cultivo del rábano, se dispondrá bolsas de polietileno color negro almacenado hasta su respectivo uso.

#### **4.12 ANÁLISIS FÍSICOS**

##### **4.12.1 HUMEDAD**

Se refiere al contenido de agua con relación al peso o volumen de la masa de suelo. Se expresa en forma gravimétrica cuando tiene relación con la masa del suelo y volumétrica cuando se relaciona con el volumen del suelo. Se determinó en este caso por el método gravimétrico que es la relación entre la masa de agua y la masa de los sólidos del suelo. Consiste en pesar la muestra antes y después del calentamiento a 105°C con el objeto de eliminar el agua superficial en una estufa con circulación de aire forzado.

##### **4.12.2 TEXTURA**

Se refiere específicamente a las proporciones de arena, limos y arcillas (partículas menores a 2 mm de diámetro), que se encuentran en una masa de suelo. la textura del suelo es una propiedad física que se emplea como un criterio importante para evaluar otras propiedades como son la capacidad de intercambio catiónico, índices de plasticidad, empleada para la clasificación del suelo entre otras.

Se determinó la textura por el método de la pipeta el cual comprende dos pasos generales: uno correspondiente al tamizado de la fracción gruesa (utilizando una variedad de tamices), el otro corresponde a un proceso de sedimentación de la fracción fina en agua (utilizando la pipeta para la evaluación de las diferentes partículas finas).

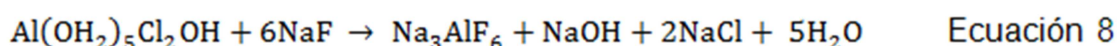
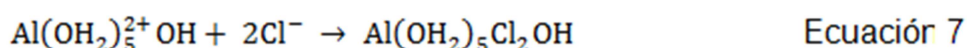
## 4.13 ANÁLISIS QUÍMICOS

### 4.13.1 pH

Se determinó mediante el método potenciométrico, para ello se tomaron 20g de suelo y se le adiciono la cantidad de agua necesaria para formar una pasta saturada; el pH se determinó utilizando un pH – metro METROHM E-744<sup>®</sup> con electrodo combinado de vidrio.

### 4.13.2 ÁCIDEZ INTERCAMBIABLE

Se determinó mediante el método de desplazamiento, que consiste en desplazar los iones  $H^+$  y  $Al^{3+}$  del suelo con una solución neutra de KCl. Los iones desplazados son titulables con soda en presencia de fenolftaleína. Una vez titulados estos iones quedan en forma de  $Al(OH_2)_5^{2+}$  y se valorará el  $Al^{3+}$  presente en forma hidratada de acuerdo a las siguientes reacciones:



El NaOH producido se tituló con HCl 0,2 N y como la cantidad de NaOH depende de la cantidad de  $AlCl_3$ , el número de miliequivalentes de ácido clorhídrico empleados para neutralizar el NaOH es igual al número de miliequivalentes de  $Al^{3+}$ . La acidez intercambiable menos acidez de aluminio es igual a la acidez del  $H^+$ .

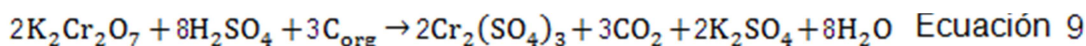
### 4.13.3 ACIDEZ TITULABLE

Se determinó con una solución extractora buffer de pH 8,2 la cual ésta constituida por una solución desplazante de  $BaCl_2$  y una solución de Trietanolamina. Esta última es una base débil que retiene las especies iónicas tales como  $Al(OH_2)_5^{+2}$ ,  $Al(OH_2)_6^{+3}$ ,  $Al(OH_2)_4^{+1}$  etc. Se agrega trietanolamina al suelo en exceso y al terminar la reacción se determina la trietanolamina que no reacciono titulándola con HCL utilizando como indicador verde bromocresol e indicador mixto.

### 4.13.4 MATERIA ORGÁNICA

Se determinó por el método colorimétrico a 585 nm. Para ello se tomaron 0,1 g de suelo seco y tamizado por malla 10, se adicionó 5 mL de dicromato de potasio 1 N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (98 – 99 % de Pureza). Se agitó durante 1 min y posteriormente se dejó reposar por 30 min. Seguidamente se adicionaron 135 mL de agua destilada medidos en una probeta, se agitó vigorosamente y se dejó decantar durante 12 horas. Posteriormente se tomó del sobrenadante una alícuota para medir la absorbancia a una longitud de onda de 585 nm. El contenido de carbono

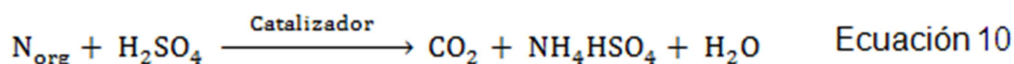
orgánico (% Corg) en la muestra se obtiene al interpolar el valor de la absorbancia en la curva de calibración con seis niveles, la cual se preparó siguiendo el mismo procedimiento descrito para la muestra usando como patrón sacarosa.



#### 4.13.5 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO DE KJELDAHL

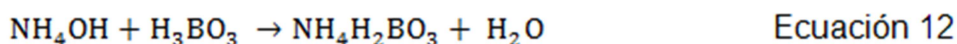
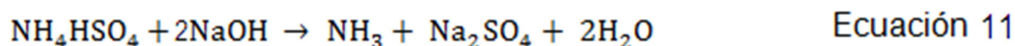
El método empleado es el utilizado universalmente en la determinación cuantitativa de N procedente de diversos materiales; consta de tres etapas:

1) Oxidación de la muestra: Las muestras de suelo son tratadas separadamente con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y una mezcla catalizadora de  $\text{CuSO}_4$ , Selenio y  $\text{K}_2\text{SO}_4$  para oxidar la materia orgánica y convertir el nitrógeno en sulfato ácido de amonio según la siguiente reacción:



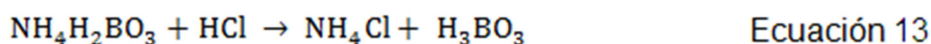
El equipo utilizado en la digestión fue el BÜCHI B-426<sup>®</sup>

2) Descomposición del sulfato ácido de amonio: El sulfato de amonio se descompone por medio de un exceso de álcali para liberar el amoníaco, el cual se recoge por destilación sobre ácido bórico. Las reacciones son las siguientes:

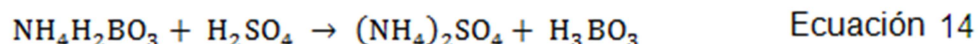


El equipo de destilación empleado fue BÜCHI K-314<sup>®</sup>

3) Titulación del borato de amonio: El borato de amonio formado en el paso anterior se valora con  $\text{HCl}$  o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1N utilizando como indicadores una mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol. La reacción es la siguiente:

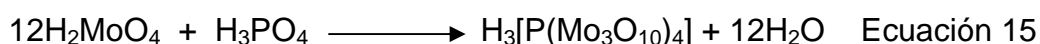


Ó



#### 4.13.6 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE

El método utilizado para esta determinación en suelos ácidos fue el Bray II, en el cual el ión fluoruro precipita el calcio soluble, extrayendo así las formas de P-Ca más solubles. Una vez extraído el fósforo, se procedió a su determinación por el método colorimétrico, el cual consistió en formar un complejo del fósforo con ácido molíbdico que absorbe a 660nm. El método cloro-molíbdico utiliza una solución de HCl-(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>•4H<sub>2</sub>O, que al reaccionar produce H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>. Posteriormente, este ácido molíbdico reacciona con el ácido fosfórico de acuerdo a la siguiente reacción:



Este heterocompuesto incoloro, que por reducción con ácido ascórbico forma un compuesto de color azul que absorbe a 660 nm. El equipo utilizado en esta determinación fue el Espectrofotómetro visible SPECTRONIC GENESYS 20<sup>®</sup>.

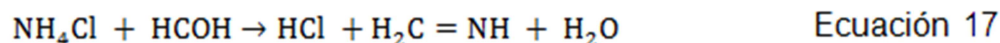
#### 4.13.7 DETERMINACIÓN DE AZUFRE

Se determinó mediante el método turbidimétrico utilizando cloruro de bario el cual reacciona con los iones sulfato formando un precipitado de sulfato de bario sobre el cual se adiciona bactogelatina para mantenerlo en suspensión y así realizar la lectura a una longitud de onda 420 nm la reacción es :



#### 4.13.8 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNIC (CIC)

Consiste en desplazar todos los cationes del suelo y reemplazarlos por iones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; el suelo seco, tamizado y muy fino, se satura con NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Posteriormente, hay un desplazamiento de los iones NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorbidos con NaCl, al 10% obteniéndose NH<sub>4</sub>Cl en solución, que se trata con formaldehído neutro. El HCl obtenido se titula con NaOH 0,1 N. La siguiente reacción muestra lo ocurrido:



#### 4.13.9 DETERMINACIÓN DE LAS BASES INTERCAMBIABLES

Correspondientes al Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio. Se determinan con el primer extracto del tratamiento con acetato de amonio (AcONH<sub>4</sub>) de la determinación de CIC, la cuantificación se realizó por espectrofotometría de Absorción Atómica, en el equipo Perkin-Elmer 2380<sup>®</sup> del laboratorio de suelos de la universidad nacional de Colombia sede Medellín.

#### 4.13.10 DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS

Correspondientes al Hierro, Cobre, Manganeso y Cinc. Se determinaron por extracción con DTPA (Ácido-Dietilen-Triamino-Penta-Acético) y la cuantificación se realizó por espectrofotometría de Absorción Atómica, en el equipo Perkin-Elmer 2380<sup>®</sup> del laboratorio de suelos de la universidad nacional de Colombia sede Medellín.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 OBTENCIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE FÓSFORO

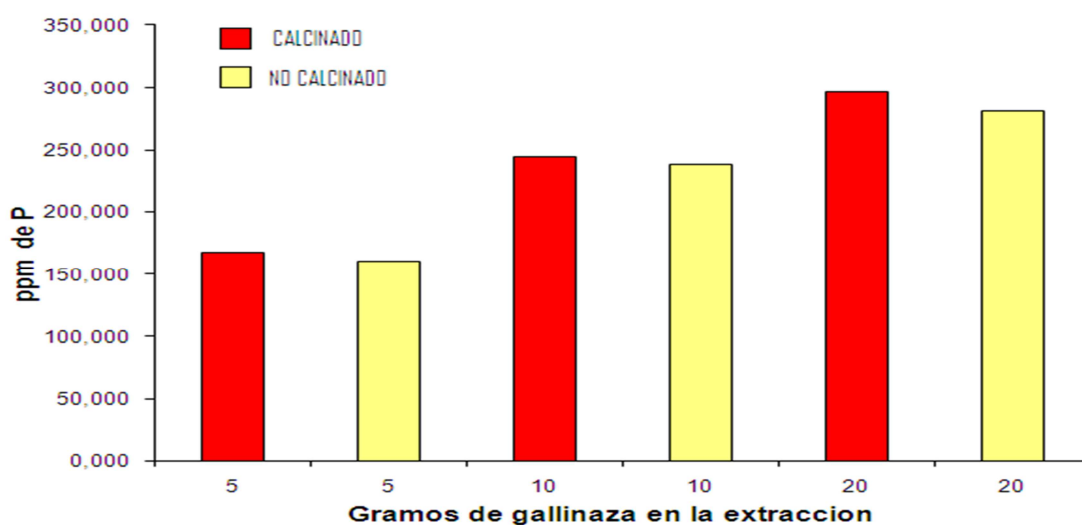
Con el fin de obtener la mayor cantidad de fósforo soluble en la extracción de la gallinaza, se evaluó extracciones con diferentes gramos de gallinaza seca y calcinada. El procedimiento de calcinación para la gallinaza se hizo también para eliminar microorganismos que puedan generar posibles variaciones de pH en los extractos, o alterar la composición del extracto. Los resultados se encuentran en la tabla 9 y figura 9.

**Tabla 9. Fósforo en los extractos con gallinaza calcinada y seca.**

Gramos de extracción (g)	Tipo de gallinaza	Fósforo (ppm)	Desviación Estándar
5	Calcinada	167,605	0,9602
5	Seca	160,089	1,4493
10	Calcinada	244,554	8,5173
10	Seca	238,006	11,5152
20	Calcinada	296,250	9,1636
20	Seca	280,774	8,0522

Los datos de este procedimiento se sometieron a pruebas de Normalidad y aplicación de ANOVA (Anexo 1), encontrándose diferencias altamente significativa ( $\text{sig} = 0,00$ ).

**Figura 9. Cantidad de fósforo en función de la cantidad de gallinaza calcinada y seca en la extracción**



La calcinación de la gallinaza se utilizó en la extracción para aumentar la cantidad de fósforo soluble capaz de ser extraído por el ácido cítrico, además de eliminar microorganismos que puedan interferir con el buen desempeño del futuro fertilizante.

En la tabla 9 y figura 9, se aprecian las cantidades de fósforo soluble de los extractos con gallinaza seca y calcinada, se puede notar que su concentración aumenta cuando se incrementa la cantidad de gallinaza; también que la cantidad de fósforo es mayor en los extractos con gallinaza calcinada.

Esta diferencia se confirma estadísticamente con la prueba de Duncan tabla 10, donde se puede observar que existen diferencias significativas entre las extracciones con gallinaza calcinada y seca (no calcinada). Esta prueba también indica que la mayor extracción de fósforo se logra con 20 g de gallinaza calcinada la cual es significativamente superior a los demás extractos.

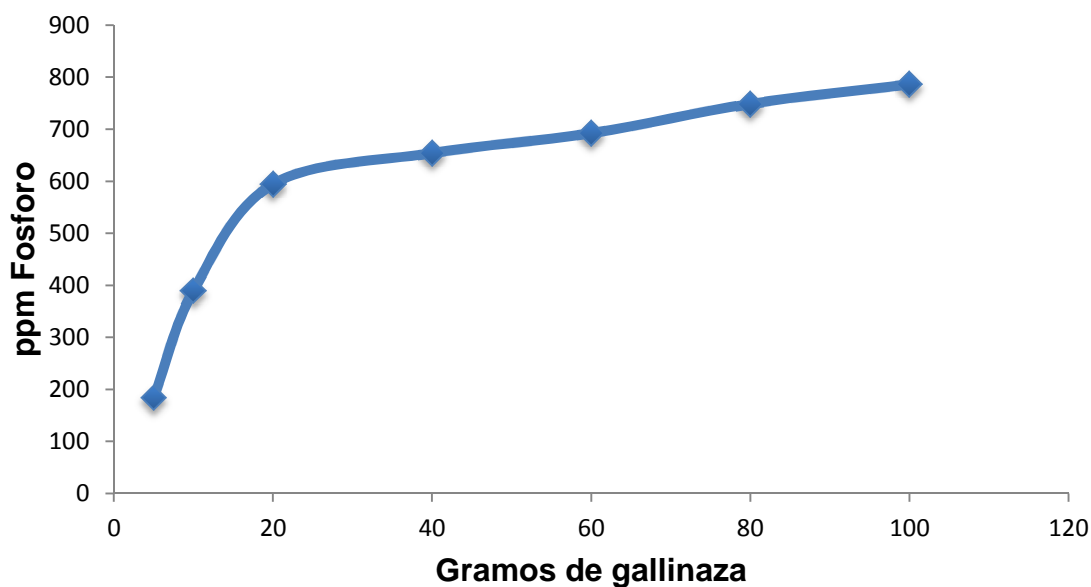
**Tabla 10. Prueba Duncan para extracciones de gallinazas calcinadas y gallinazas secas.**

Gramos Gallinaza	Tipo Gallinaza	N	Subconjunto para alfa = .05				
			1	2	3	4	5
5	Seca	3	79,9660				
5	Calcinada	3		160,0887			
10	Seca	3			238,0060		
10	Calcinada	3			244,5533		
20	Seca	3				280,7740	
20	Calcinada	3					300,4170
Sig.			1,000	1,000	,319	1,000	1,000

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, donde se pudo observar que la calcinación previa a la extracción es más efectiva en términos de fósforo soluble y con el fin de optimizar la extracción, se evaluó su extracción con diferentes cantidades de gallinaza y solución de ácido cítrico 2000 ppm, los resultados se encuentran en la tabla 11 y la figura 10.

En la figura 10 se muestra que la cantidad de fósforo extraído es proporcional a la cantidad de gallinaza. Se advierte una forma asintótica, en donde inicialmente pequeños cambios en la cantidad de gallinaza, producen grandes cambios en la cantidad de fósforo extraído, hasta llegar a 20 g, a partir de esta cantidad, el incremento ya no es tan alto, indicando que ésta puede considerarse como la mejor cantidad de gallinaza para obtener una extracción óptima de fósforo.

**Figura 10. Optimización de la extracción de Fosforo.**



**Tabla 11. Extracciones de P con diferentes gramos de gallinaza calcinada y acido cítrico 200 ppm.**

Gramos de gallinaza	ppm Fósforo	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
5	183,964	5,562	3,024
10	389,309	6,140	1,577
20	594,627	18,117	3,047
40	654,233	7,555	1,155
60	692,275	7,528	1,088
80	748,965	10,690	1,427
100	786,239	15,695	1,996



Aplicando ANOVA a los resultados, se encontró diferencias significativas entre los contenidos de P de todas las extracciones (Anexo 2). La prueba de Duncan (tabla 12) muestra que existe diferencia significativa en los contenidos de fósforo de todas las extracciones, siendo significativamente superior la correspondiente a 100 g de gallinaza.

Con base en este análisis, se seleccionó la cantidad de 20 g de gallinaza como óptima para preparar el fertilizante foliar

**Tabla 12. Prueba de Duncan para extracciones de P con diferentes gramos de gallinaza calcinada y ácido cítrico 200 ppm.**

Gramos Gallinaza	N	Subconjunto para alfa = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
5	3	183,96						
10	3		389,31					
20	3			594,63				
40	3				654,23			
60	3					692,27		
80	3						748,96	
100	3							786,24
Sig.		1	1	1	1	1	1	1

## 5.2 EVALUACIÓN DEL pH A LOS EXTRACTOS CON ÁCIDO NÍTRICO

Al someter los extractos con las diferentes cantidades de gallinazas calcinadas a un descenso en el pH, con el propósito de aumentar la disponibilidad de los nutrientes, se registro las variaciones de pH durante 15 días. Los resultados están consignados en la tabla 13.

Como se aprecia en la figura 12, con el procedimiento de calcinación, y posterior descenso de pH con ácido nítrico, se logra mantener un valor de pH apropiado hasta el día 7, a partir del cual, este valor experimenta un gran incremento, generado posiblemente por el aumento de bases proveniente del metabolismo de los microorganismos proliferados en este medio, indicando que el extracto no se estabilizó.

La prueba estadística ANOVA (Anexo 4), confirma que existe diferencia significativa entre los valores de pH en los diferentes días. La prueba de Duncan, Tabla 14, indica que para el extracto de 5 g de gallinaza el pH cambia significativamente después de 7 días, para el extracto de 10 g de gallinaza el pH solamente varía significativamente después del 8 día, y por último el pH perteneciente al extracto con 20 g de gallinaza presenta variación significativa después de 10 días. Se dedujo entonces, que el proceso de calcinación con posterior tratamiento con ácido nítrico, no es capaz de estabilizar los extractos durante los 15 días evaluados.

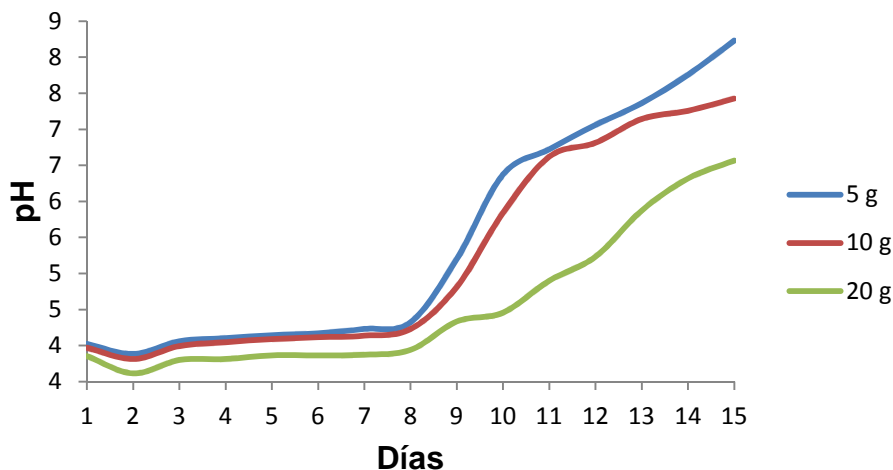
**Tabla 13. Valores de pH para los extractos con ácido nítrico**

<b>Gramos Gallinaza</b>	<b>Día</b>	<b>pH</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Coefficiente Variación</b>
<b>5</b>	1	4,02	0,072	1,80
	2	3,88	0,100	2,58
	3	4,06	0,087	2,15
	4	4,10	0,093	2,26
	5	4,14	0,093	2,24
	6	4,17	0,105	2,53
	7	4,23	0,120	2,84
	8	4,32	0,123	2,85
	9	5,20	0,520	10,01
	10	6,37	0,214	3,36
	11	6,72	0,067	0,99
	12	7,06	0,092	1,30
	13	7,36	0,064	0,87
	14	7,76	0,095	1,22
	15	8,23	0,166	2,02
<b>10</b>	1	3,97	0,173	4,37
	2	3,81	0,197	5,15
	3	3,99	0,194	4,86
	4	4,05	0,172	4,25
	5	4,09	0,184	4,49
	6	4,12	0,174	4,22
	7	4,14	0,159	3,86
	8	4,23	0,154	3,64
	9	4,81	0,276	5,74
	10	5,84	0,531	9,09
	11	6,62	0,101	1,53
	12	6,81	0,038	0,56
	13	7,14	0,076	1,06
	14	7,26	0,225	3,10
	15	7,43	0,201	2,71
<b>20</b>	1	3,85	0,254	6,59
	2	3,61	0,268	7,43
	3	3,80	0,265	6,96
	4	3,81	0,323	8,48
	5	3,86	0,260	6,72
	6	3,86	0,290	7,50
	7	3,87	0,290	7,48
	8	3,94	0,272	6,91
	9	4,33	0,281	6,49
	10	4,46	0,339	7,60
	11	4,90	0,952	19,43
	12	5,23	1,184	22,62
	13	5,87	0,848	14,44
	14	6,32	0,726	11,50
	15	6,57	0,567	8,63

**Tabla 14. Prueba de Duncan para pH de extractos con acido nítrico.**

g Gallinaza	Día	N	Subconjunto para alfa = .05																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
20	2	3	3,6133																
20	3	3	3,8000	3,8000															
10	2	3	3,8133	3,8133															
20	4	3	3,8133	3,8133															
20	1	3	3,8533	3,8533															
20	5	3	3,8633	3,8633															
20	6	3	3,8633	3,8633															
20	7	3	3,8733	3,8733															
5	2	3	3,8833	3,8833															
20	8	3	3,9400	3,9400															
10	1	3	3,9700	3,9700															
10	3	3	3,9933	3,9933															
5	1	3	4,0233	4,0233															
4	10	3	4,0467	4,0467															
5	3	3	4,0600	4,0600															
10	5	3	4,0900	4,0900															
5	4	3	4,1033	4,1033															
10	6	3	4,1167	4,1167															
10	7	3	4,1367	4,1367	4,1367														
5	5	3	4,1433	4,1433	4,1433														
5	6	3	4,1700	4,1700	4,1700														
10	8	3	4,2300	4,2300	4,2300	4,2300													
5	7	3	4,2300	4,2300	4,2300	4,2300													
5	8	3	4,3233	4,3233	4,3233	4,3233													
10	9	3	4,3333	4,3333	4,3333	4,3333													
20	10	3		4,4567	4,4567	4,4567													
10	9	3			4,8133	4,8133	4,8133												
20	11	3				4,9000	4,9000	4,9000											
5	9	3					5,2000	5,2000											
20	12	3						5,2333											
10	10	3							5,8433										
20	13	3							5,8733										
20	14	3							6,3167	6,3167									
5	10	3							6,3733	6,3733									
20	15	3								6,5667	6,5667								
10	11	3								6,6200	6,6200	6,6200							
5	11	3								6,7233	6,7233	6,7233	6,7233						
10	12	3								6,8133	6,8133	6,8133	6,8133	6,8133					
5	12	3									7,0600	7,0600	7,0600	7,0600	7,0600				
10	13	3									7,1433	7,1433	7,1433	7,1433	7,1433	7,1433			
10	14	3										7,2567	7,2567	7,2567	7,2567	7,2567	7,2567		
5	13	3											7,3633	7,3633	7,3633	7,3633	7,3633		
10	15	3												7,4267	7,4267	7,4267	7,4267		
5	14	3													7,7567	7,7567	7,7567	7,7567	
5	15	3														8,2300	8,2300	8,2300	8,2300
Sig.			,053	,078	,053	,051	,199	,104	,146	,090	,060	,059	,070	,065					,112

**Figura 11. pH en los extractos calcinados, ajustado el pH con al ácido nítrico**



### 5.3 ESTABILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE FOLIAR

Se realizaron ensayos de estabilización con Hipoclorito de Sodio y con ácido benzoico.

#### 5.3.1 ENSAYO CON HIPOCLORITO DE SODIO

Seis extractos cada uno realizados con 20 g de gallinaza seca, fueron sometidos a ensayos de estabilización con hipoclorito de sodio en diferentes concentraciones, se comparó el comportamiento del pH con el de un extracto realizado con 20 g de gallinaza calcinada.

Los resultados se presentan en la tabla 15 y figura 12, donde se ilustra gráficamente que hay cambios en los valores de pH en función del tiempo en todos los extractos sin calcinar y con las diferentes concentraciones de hipoclorito sodio.

Otra reflexión es que a mayor concentración del hipoclorito, mayor es el valor de pH en el día inicial.

Se observa en la figura 11 que el comportamiento del extracto con gallinaza calcinada es diferente, puesto que no se observaron cambios apreciables en el valor del pH en función del tiempo.

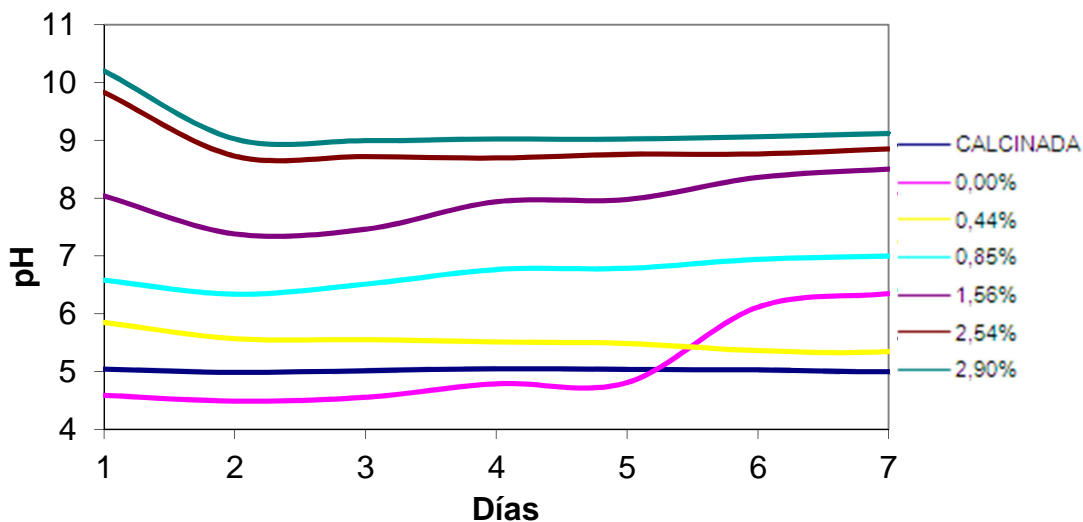
El análisis estadístico mediante la prueba de Duncan tabla 16, confirma lo expresado, ya que se encontró un solo subconjunto de valores de pH para todos los días del ensayo, en el extracto calcinado; Para los demás extractos (anexo 3), si se aprecian diferencias significativas entre sus valores de pH. Por lo tanto se deduce que el Hipoclorito no logra estabilizar el extracto de

gallinaza a ninguna concentración en el extracto sin calcinar, en el tiempo del ensayo.

**Tabla 15. Seguimiento de pH a los extractos realizados a partir de 20 g de gallinaza y adición de las diferentes cantidades de hipoclorito de sodio.**

<b>%HIPOCLORITO DE SODIO/TIPO DE GALLINAZA</b>	<b>DIA</b>	<b>pH</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Coefficiente de Variación</b>
<b>0,00/CALCINADA</b>	1	5,04	0,0702	1,5
	2	4,98	0,0404	0,9
	3	5,01	0,0503	1,1
	4	5,05	0,1159	2,4
	5	5,03	0,0833	1,7
	6	5,03	0,1973	3,2
	7	5,00	0,1762	2,8
<b>0,00/SECA</b>	1	4,59	0,0624	1,2
	2	4,49	0,0850	1,7
	3	4,55	0,0416	0,8
	4	4,79	0,0351	0,7
	5	4,81	0,0252	0,5
	6	6,11	0,0651	1,3
	7	6,35	0,0651	1,3
<b>0,44/SECA</b>	1	5,85	0,0902	1,5
	2	5,57	0,0351	0,6
	3	5,55	0,0436	0,8
	4	5,51	0,1153	2,1
	5	5,48	0,1106	2,0
	6	5,36	0,0854	1,6
	7	5,34	0,0802	1,5
<b>0,85/SECA</b>	1	6,58	0,0458	0,7
	2	6,34	0,0058	0,1
	3	6,51	0,0361	0,6
	4	6,76	0,1604	2,4
	5	6,78	0,1750	2,6
	6	6,94	0,1253	1,8
	7	6,99	0,0839	1,2
<b>1,56/SECA</b>	1	8,04	0,0643	0,8
	2	7,38	0,0436	0,6
	3	7,46	0,0608	0,8
	4	7,94	0,0902	1,1
	5	7,98	0,0751	0,9
	6	8,36	0,0404	0,5
	7	8,50	0,1750	2,1
<b>2,54/SECA</b>	1	9,83	0,0436	0,4
	2	8,73	0,0153	0,2
	3	8,72	0,0200	0,2
	4	8,69	0,0153	0,2
	5	8,76	0,0404	0,5
	6	8,76	0,0153	0,2
	7	8,85	0,0361	0,4
<b>2,90/SECA</b>	1	10,20	0,0520	0,5
	2	9,02	0,0681	0,8
	3	8,99	0,0513	0,6
	4	9,02	0,0721	0,8
	5	9,02	0,0400	0,4
	6	9,06	0,1201	1,3
	7	9,12	0,0814	0,9

**Figura 12. Seguimiento al pH en los extractos con hipoclorito de sodio**



**Tabla No 16. Prueba Duncan para el extracto calcinado**

Día	N	Subconjunto para alfa = .05
2	3	4,9833
7	3	4,9967
3	3	5,0133
6	3	5,0267
5	3	5,0333
1	3	5,0400
4	3	5,0467
Sig.		,248

### 5.3.2 ENSAYOS DE ESTABILIZACIÓN CON ÁCIDO BENZOICO

#### ENSAYO 1

En el primer ensayo, comparando las variaciones de pH de los diferentes extractos con las diferentes concentraciones de ácido benzoico evaluadas (tabla 17), se nota que el menor cambio en los valores de pH ocurre con la concentración de 486 ppm, figura 13 C.

Los resultados se muestran en la figura 13, en donde se observan tres graficas. En general en ellas se aprecia que el valor de pH del extracto con 5

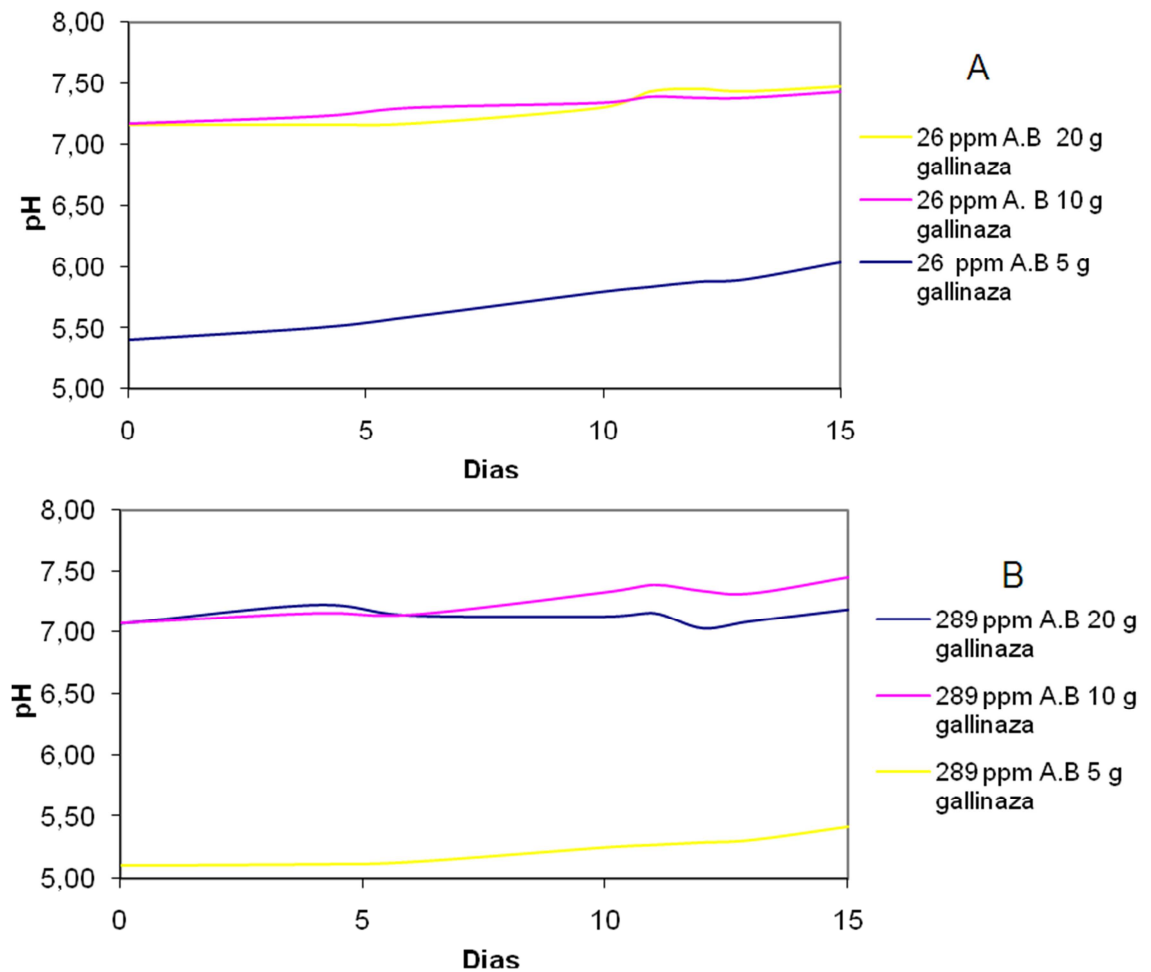
de gallinaza es inferior al de los otros extractos, atribuible a las menores cantidades de bases extraídas con esta cantidad.

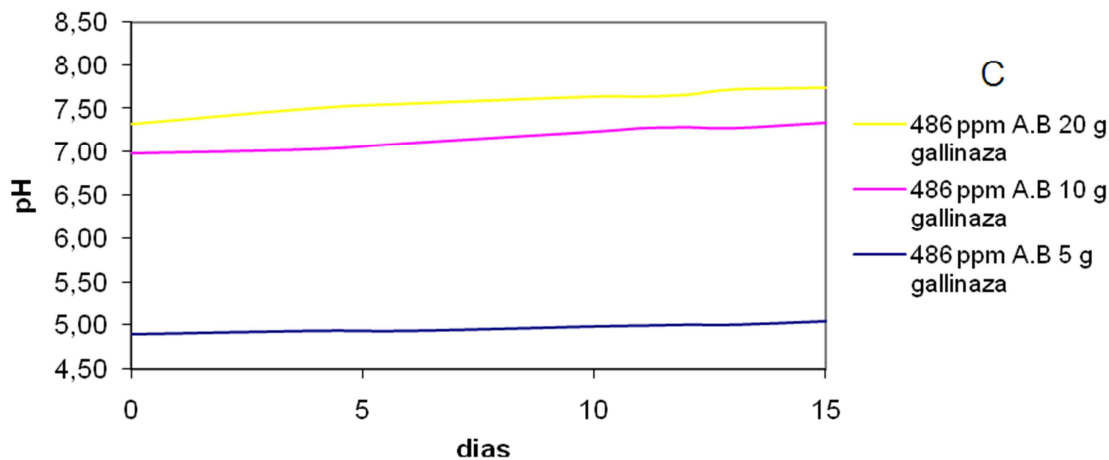
No se aprecian grandes cambios entre los valores de pH obtenidos con 10 y 20 g de gallinaza atribuible a la posible saturación de las soluciones de los extractos.

La figura 13 A, correspondiente a la concentración de 26 ppm, se registro un leve aumento en el valor de pH para los tres diferentes extractos en función del tiempo. En la figura 13 B (concentración de ácido benzoico de 289 ppm), se puede apreciar que los valores de pH de los tres extractos después del décimo día presentan una tendencia de incremento del pH durante el tiempo evaluado. En la figura 13 C (concentración de ácido benzoico de 486 ppm), se observa que no hay prácticamente variación del pH en los tres diferentes extractos en función del tiempo.

Con base en el anterior análisis se seleccionó esta concentración de 486 ppm como la de mejor desempeño, porque evitaría la proliferación de microorganismos y sus consecuencias en las variaciones de pH.

**Figura 13. Cambios de pH en extractos con diferentes concentraciones de ácido benzoico.**





**Tabla 17. Cambios de pH en los diferentes extractos con ácido benzoico**

Gallinaza en la extracción (g)	Día	Concentración de Ácido Benzoico (ppm)		
		26 pH	289 pH	486 pH
<b>5</b>	0	5,41	5,10	4,90
	4	5,51	5,11	4,94
	6	5,60	5,13	4,94
	10	5,80	5,25	4,99
	11	5,84	5,27	5,00
	12	5,88	5,29	5,01
	13	5,90	5,31	5,01
	15	6,04	5,42	5,05
<b>10</b>	0	7,17	7,08	6,99
	4	7,23	7,16	7,04
	6	7,30	7,15	7,11
	10	7,34	7,33	7,24
	11	7,39	7,39	7,28
	12	7,38	7,34	7,29
	13	7,38	7,32	7,28
	15	7,43	7,45	7,34
<b>20</b>	0	7,16	7,07	7,33
	4	7,16	7,23	7,51
	6	7,17	7,14	7,56
	10	7,30	7,13	7,64
	11	7,43	7,16	7,64
	12	7,45	7,03	7,66
	13	7,43	7,09	7,72
	15	7,47	7,19	7,74



## ENSAYO 2

Una vez seleccionada la concentración de ácido benzoico en los extractos, se realizó otro ensayo, con una concentración fija 500 ppm de ácido benzoico, en un período mayor de tiempo, de 31 días, sus resultados se muestran en Tabla 18, y figura 14. Inicialmente se puede apreciar que se logra mantener el valor de pH alrededor de 4 (ideal para la fertilización foliar) en todos los extractos y durante todo el tiempo del ensayo, mostrando que la cantidad de gallinaza no influye en este valor, esto se comprueba con el ANOVA ( $\text{sig} = 0.194$  anexo 5). Lo que significa que el tratamiento con ácido fosfórico para disminuir el valor de pH y con ácido benzoico para estabilizar el extracto, se desempeñó adecuadamente durante todo el tiempo del ensayo.

Si se considera estadísticamente como variable independiente o factor el tiempo, se puede observar un leve incremento, pero que estadísticamente es significativo del pH, siendo significativamente superior durante los días 31 y 25 (Anexo 6), pero este incremento no supera en 0,2 unidades de pH, indicando que se sigue conservando el valor óptimo para la fertilización foliar en todos los extractos y durante todo el tiempo del ensayo. Por lo tanto, se puede afirmar, que el conservante ácido benzoico actúa inhibiendo el metabolismo del acetato y la fosforilación oxidativa de bacterias hongos y levaduras, impidiendo su desarrollo y por lo tanto la variación de pH en los extractos [48].

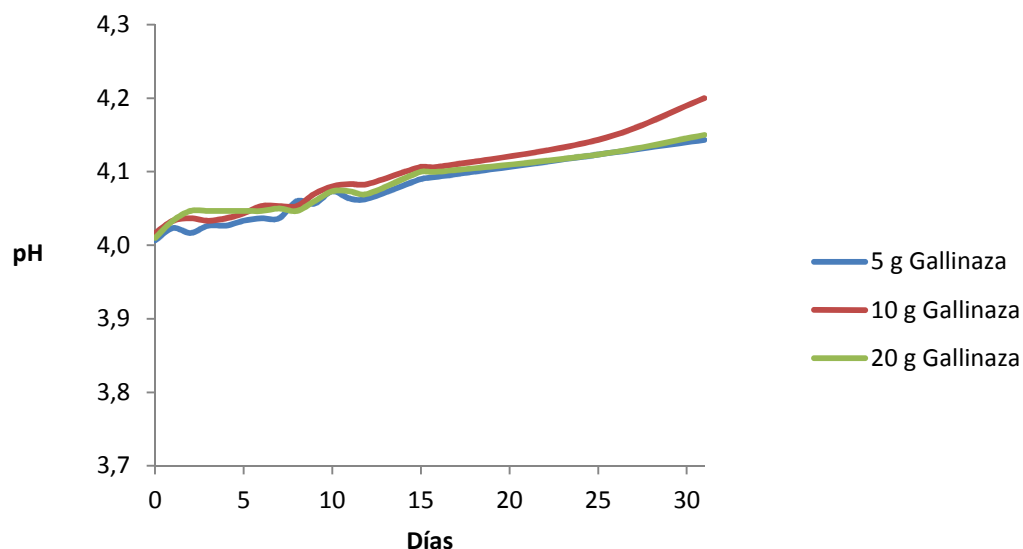
La correlación de Pearson (Tabla 19) muestra que no existe correlación significativa del pH y la cantidad de gallinaza utilizada en la extracción, confirmando lo expresado anteriormente.

Con base en las consideraciones anteriores, se selecciona como fertilizante a ensayar, el extracto que mayor fósforo óptimo soluble contenga, ya que la cantidad de gallinaza calcinada utilizada no tendrá un impacto fuerte en la variación de pH de nuestro fertilizante foliar estabilizado.

**Tabla 18. Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1%**

Gramos de Gallinaza en la Extracción	Día	pH	desviación estándar	coeficiente de variación	Gramos de Gallinaza en la Extracción	Día	pH	desviación estándar	coeficiente de variación	Gramos de Gallinaza en la Extracción	Día	pH	desviación estándar	coeficiente de variación
<b>5</b>	0	4,01	0,02	0,38	<b>10</b>	0	4,02	0,01	0,14	<b>20</b>	0	4,01	0,01	0,25
	1	4,02	0,02	0,52		1	4,03	0,01	0,14		1	4,03	0,01	0,14
	2	4,02	0,02	0,38		2	4,04	0,01	0,14		2	4,05	0,01	0,29
	3	4,03	0,02	0,38		3	4,03	0,01	0,14		3	4,05	0,01	0,29
	4	4,03	0,02	0,38		4	4,04	0,01	0,14		4	4,05	0,01	0,29
	5	4,03	0,01	0,29		5	4,04	0,01	0,14		5	4,05	0,02	0,38
	6	4,04	0,02	0,38		6	4,05	0,01	0,14		6	4,05	0,02	0,38
	7	4,04	0,02	0,38		7	4,05	0,01	0,14		7	4,05	0,01	0,25
	8	4,06	0,02	0,49		8	4,05	0,01	0,14		8	4,05	0,02	0,38
	9	4,06	0,02	0,38		9	4,07	0,01	0,25		9	4,06	0,02	0,49
	10	4,07	0,02	0,51		10	4,08	0,01	0,25		10	4,07	0,02	0,38
	11	4,06	0,03	0,62		11	4,08	0,01	0,14		11	4,07	0,02	0,38
	12	4,06	0,03	0,62		12	4,08	0,01	0,14		12	4,07	0,02	0,49
	15	4,09	0,02	0,49		15	4,11	0,01	0,28		15	4,1	0,02	0,49
16	4,09	0,03	0,61	16	4,11	0,01	0,28	16	4,1	0,02	0,49			
25	4,12	0,04	1,01	25	4,14	0,03	0,78	25	4,12	0,04	0,85			
31	4,14	0,05	1,24	31	4,2	0,04	1,04	31	4,15	0,05	1,1			

**Figura 14. Comportamiento del pH en los extractos con ácido benzoico y ácido fosfórico**



**Tabla 19. Correlación de Pearson para extractos con ácido benzoico y ácido fosfórico**

		Día	Gramos gallinaza	pH
<b>Día</b>	Correlación de Pearson	1	,000	,890(**)
	Sig. (bilateral)	.	1,000	,000
	N	153	153	153
<b>Gramos gallinaza</b>	Correlación de Pearson	,000	1	,060
	Sig. (bilateral)	1,000	.	,460
	N	153	153	153
<b>pH</b>	Correlación de Pearson	,890(**)	,060	1
	Sig. (bilateral)	,000	,460	.
	N	153	153	153

#### 5.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL FERTILIZANTE FOLIAR

Se llevó a cabo la caracterización química de los fertilizantes foliares previamente estabilizados y fabricados a partir de 5, 10 y 20 g de gallinaza calcinada, que aún cuando, ya observamos el comportamiento de estos extractos con respecto al fósforo soluble, se determinó el contenido de los demás nutrientes para comparar su comportamiento al incrementar los gramos de gallina utilizados. Los resultados son mostrados en la tabla 20.

**Tabla 20. Caracterización de los fertilizantes foliares**

Nutriente	Gramos de Gallinaza en la Extracción					
	5	Desviación Estándar	10	Desviación Estándar	20	Desviación Estándar
pH	4,06	0,038	4,07	0,047	4,07	0,035
P (ppm)	183,964	5,562	389,309	6,140	594,627	18,117
K (ppm)	26,720	1,029	31,822	0,978	68,481	3,340
S (ppm)	40,924	1,681	55,770	1,284	66,415	0,970
B (ppm)	0,225	0,007	0,266	0,011	0,348	0,019
Ca (ppm)	194,722	6,736	298,889	10,585	203,333	12,019
Mg (ppm)	684,034	18,315	924,930	50,870	1260,224	64,593
Na (ppm)	11,636	0,477	16,375	0,835	33,368	1,637
Fe (ppm)	22,214	0,972	25,946	1,022	8,486	0,336
Cu (ppm)	2,195	0,097	0,519	0,019	2,461	0,092
Mn (ppm)	3,335	0,190	4,009	0,081	24,353	0,503
Zn (ppm)	3,967	0,057	2,825	1,384	11,444	5,200

En la tabla anterior se puede notar una tendencia de incremento en la mayoría de nutrientes a medida que se incrementa los gramos de gallinaza en la extracción, sin embargo, el calcio y el hierro disminuyen al aumentar de 10 a 20 g de gallinaza, posiblemente por el incremento apreciable del contenido de Mg que puede conducir a un antagonismo con estos dos nutrientes.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los nutrientes incrementan en el extracto con 20 g de gallinaza, y todo el análisis realizado anteriormente en el proceso de estabilización, el fertilizante utilizado en el cultivo del rábano fue preparado a partir de la relación, 20 g de gallinaza calcinada en 250 ml de ácido cítrico 2000 ppm.

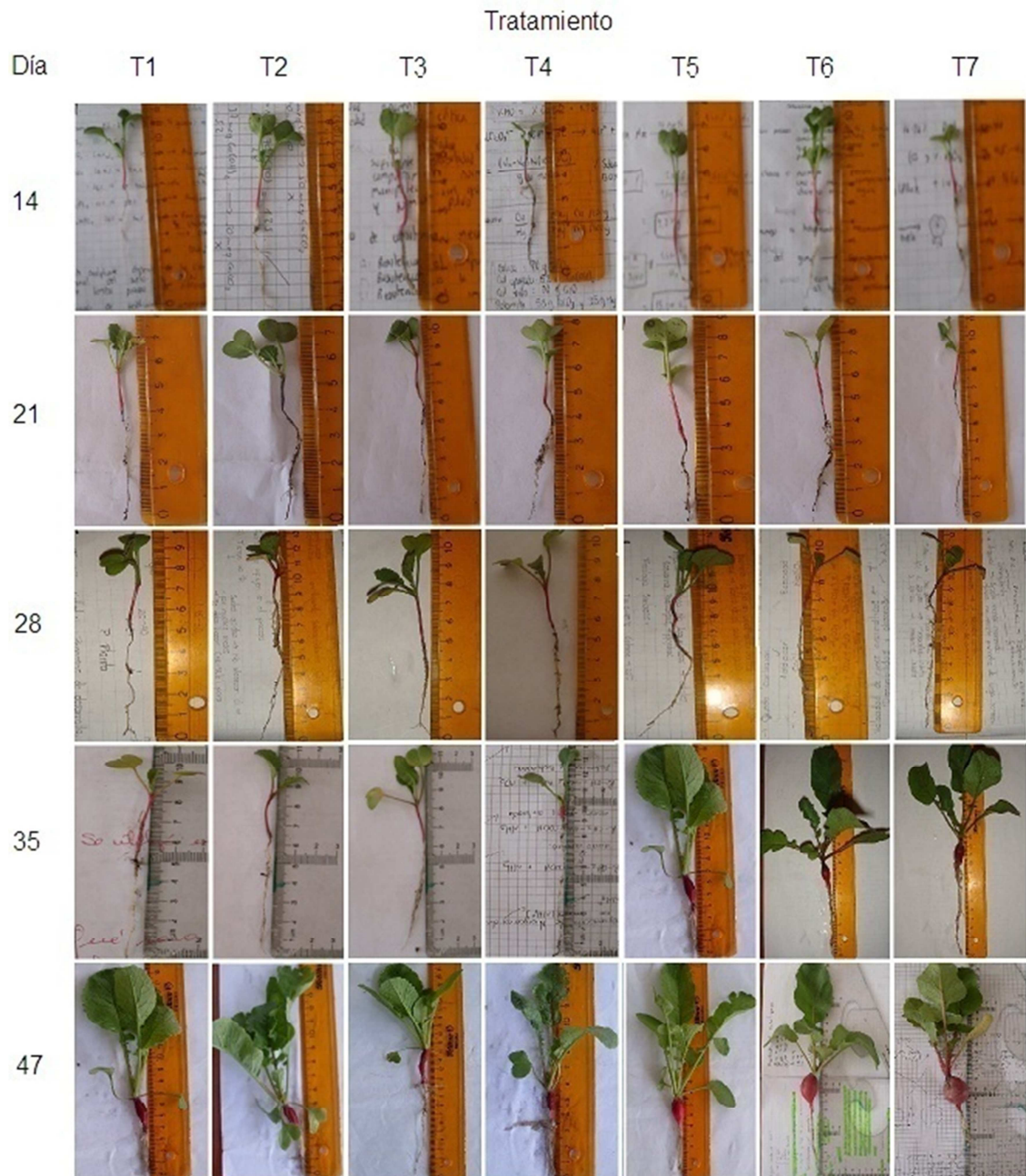
## **5.5 EVALUACION DE LOS FERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DEL RÁBANO**

Los parámetros evaluados fueron: biomasa, número de hojas y crecimiento

Como se explicó en el capítulo de metodología, se aplicaron 7 tratamientos y tres réplicas por tratamiento (Tabla 7)

### 5.5.1 MEDIDA 2 (SIEMBRA 1)

Figura 15. Seguimiento fotográfico a la siembra 1



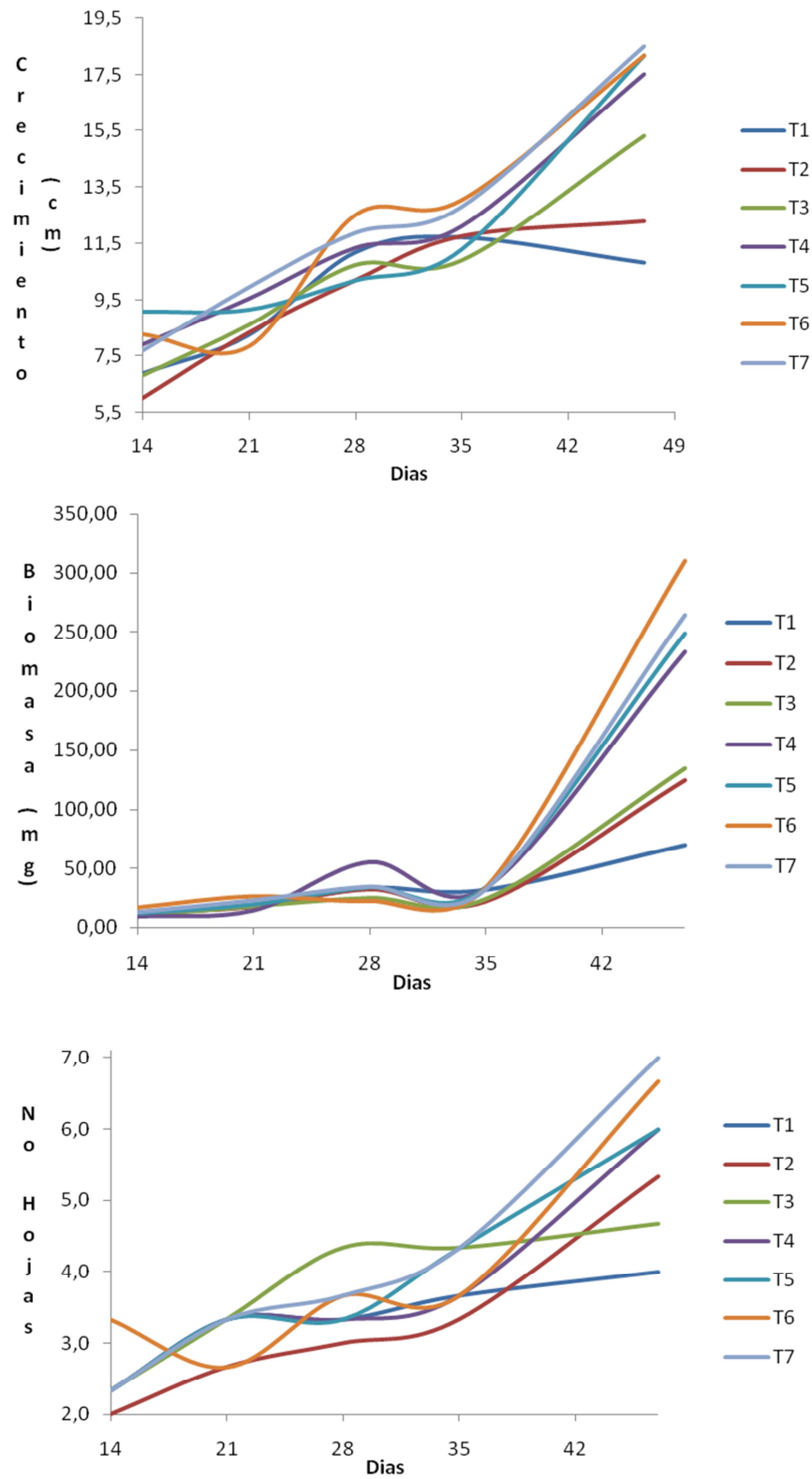
### CRECIMIENTO

Para evaluar el efecto de la fertilización en el cultivo, en los días 14, 21, 28, 35 y 47 se realizaron las medias respectivas, los resultados del número de hojas, la biomasa y el crecimiento se encuentran consignados en la tabla 21 y figura 16.

**Tabla 21 Número de Hojas, Biomasa y Crecimiento en los tratamientos de la siembra 1**

Tratamiento	Día	Crecimiento (cm)	Desviación Estándar	Biomasa (mg)	Desviación Estándar	No Hojas	Desviación Estándar
1	14	6,9	1,82	11,87	4,37	2,3	0,6
	21	8,3	0,86	17,63	5,29	3,3	0,6
	28	11,2	2,08	33,07	4,43	3,3	0,6
	35	11,7	1,07	31,63	2,30	3,7	0,6
	47	10,8	0,38	69,73	13,98	4,0	1,0
2	14	6	1,00	12,77	1,26	2,0	0,0
	21	8,3	0,76	17,80	4,93	2,7	0,6
	28	10,2	2,35	32,57	10,90	3,0	1,0
	35	11,8	0,46	22,37	5,30	3,3	1,5
	47	12,3	0,61	124,67	140,16	5,3	1,5
3	14	6,8	0,26	9,40	0,82	2,3	0,6
	21	8,6	0,44	17,57	1,42	3,3	0,6
	28	10,7	0,21	24,50	2,82	4,3	0,6
	35	10,9	0,10	23,60	2,79	4,3	0,6
	47	15,3	1,04	134,07	60,08	4,7	3,1
4	14	7,9	2,12	9,73	2,25	2,3	0,6
	21	9,5	0,90	14,77	3,35	3,3	0,6
	28	11,3	0,31	55,67	11,94	3,3	0,6
	35	12,1	3,12	34,00	2,65	3,7	1,2
	47	17,5	1,00	233,49	56,65	6,0	1,0
5	14	9,1	2,10	11,53	2,67	2,3	0,6
	21	9,2	1,25	19,17	4,78	3,3	0,6
	28	10,2	3,76	33,60	8,80	3,3	0,6
	35	11,3	0,26	33,40	10,23	4,3	0,6
	47	18,2	1,15	248,47	57,75	6,0	1,0
6	14	8,3	1,88	17,03	7,23	3,3	0,6
	21	7,8	0,83	26,43	5,54	2,7	0,6
	28	12,5	0,56	22,53	0,15	3,7	0,6
	35	13	0,50	33,93	15,57	3,7	0,6
	47	18,2	2,02	310,27	15,68	6,7	1,2
7	14	7,7	0,93	12,93	2,83	2,3	0,6
	21	9,9	2,03	22,83	6,01	3,3	0,6
	28	11,9	2,08	34,40	12,30	3,7	0,6
	35	12,8	1,99	32,27	3,71	4,3	0,6
	47	18,5	0,50	264,43	122,00	7,0	1,0

**Figura 16. Numero de hojas, Biomasa y Crecimiento para la siembra 1**



**Tabla 22. Prueba de Duncan para el crecimiento en la medida 2 (siembra 1)**

Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
2	14	3	6,00																
3	14	3	6,80	6,80															
1	14	3	6,90	6,90															
7	14	3	7,67	7,67	7,67														
6	21	3	7,83	7,83	7,83	7,83													
4	14	3	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90												
1	21	3	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27										
6	14	3	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27										
2	21	3	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33										
3	21	3	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60									
5	14	3		9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10								
5	21	3		9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17							
4	21	3		9,53	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53						
7	21	3			9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93					
2	28	3			10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20				
5	28	3			10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20			
3	28	3				10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73			
1	47	3					10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83		
3	35	3					10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90	
1	28	3						11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	
5	35	3							11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	
4	28	3							11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	
1	35	3								11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73	
2	35	3								11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	
7	28	3								11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	
4	35	3									12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	
2	47	3										12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	
6	28	3										12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	
7	35	3											12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	
6	35	3												13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	
3	47	3													15,33	15,33	15,33	15,33	
4	47	3														17,50	17,50	17,50	
5	47	3																	18,17
6	47	3																	18,17
7	47	3																	18,50
Sig.			0,078	0,067	0,092	0,053	0,05	0,051	0,069	0,067	0,052	0,05	0,059	0,062	0,053	0,081			0,465



La figura 16 muestra en general un comportamiento de ascenso en los valores para el número de hojas, biomasa y crecimiento durante el desarrollo del cultivo, se noto también que los tratamientos T5, T6, y T7 correspondientes a fertilización edáfica + Foliar preparado (dosis 1 y 2) y comercial respectivamente, se comportan de manera similar entre ellos, presentando los mayores valores en los parámetros evaluados; en contra parte el tratamiento T1 (testigo absoluto) siempre obtuvo los valores más bajos del los medidas anteriores como era de esperarse.

La prueba de ANOVA (sig = 0,00 anexo 7) muestra que existe diferencia significativa entre los valores de crecimiento de los tratamientos. De la prueba Duncan, Tabla 22, en general se puede deducir que para la siembra 1, los valores más bajos como era de suponerse, pertenecen a los días 14 y 21 y los valores más altos se presentan en el día 47. Cabe resaltar que, los mayores valores en los datos de crecimiento, corresponden a los tratamientos T5, T6 y T7 en el día 47, sin existir diferencia significativa entre ellos. Se deduce que, el comportamiento en el cultivo del Rábano, del fertilizante foliar obtenido a partir de la gallinaza, en sus dos dosis más el fertilizante edáfico, no es significativamente diferente al comportamiento obtenido por el fertilizante comercial más el fertilizante edáfico, mostrando la efectividad de dicho fertilizante en el desarrollo de este cultivo.

## **BIOMASA**

Para los resultados en Biomasa, la prueba de Duncan (Tabla 23) mostró que al igual que en los resultados de crecimiento hay diferencia significativa de los tratamientos, siendo los más altos valores los del día 47 para los tratamientos T5, T6 y T7, entre los cuales no existe diferencia significativa. Además no se presentó en el día 47 diferencia significativa entre los valores de los tratamientos T5 y T6 con el T4.

## **NÚMERO DE HOJAS**

Para la medida del número de Hojas se aplica la prueba de Tukey (Tabla 24) que existen pocas diferencias y que los mayores valores corresponden a los tratamientos 1, 2, 3, 4,5, 6, 7 para el día 47 y los tratamientos 5 y 7 del día 35, demostrando que el suelo utilizado para el ensayo presenta adecuado contenido de nutrientes, pero especialmente de N como se demostrará más adelante.

En las correlaciones bivariadas de Pearson (Anexo 8) para la siembra 1 observamos que, hay una correlación altamente significativa del crecimiento con la biomasa, tiempo y tratamientos; La biomasa presenta una correlación altamente significativa con el crecimiento y tiempo, pero no con los tratamientos; esto nos indica que los diferentes tratamientos no influyeron en

**Tabla 23. Prueba Duncan para biomasa de la medida 2 (siembra 1)**

Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05				
			1	2	3	4	5
3	14	3	9,4000				
4	14	3	9,7333				
5	14	3	11,5333				
1	14	3	11,8667				
2	14	3	12,7667				
7	14	3	12,9333				
4	21	3	14,7667				
6	14	3	17,0333				
3	21	3	17,5667				
1	21	3	17,6333				
2	21	3	17,8000				
5	21	3	19,1667				
2	35	3	22,3667				
6	28	3	22,5333				
7	21	3	22,8333				
3	35	3	23,6000				
3	28	3	24,5000				
6	21	3	26,4333				
1	35	3	31,6333				
7	35	3	32,2667				
2	28	3	32,5667				
1	28	3	33,0667				
5	35	3	33,4000				
5	28	3	33,6000				
6	35	3	33,9333				
4	35	3	34,0000				
7	28	3	34,4000				
4	28	3	55,6667				
1	47	3	69,7333	69,7333			
2	47	3		124,6667	124,6667		
3	47	3			134,0667		
4	47	3				233,4867	
5	47	3				248,4667	248,4667
7	47	3				264,4333	264,4333
6	47	3					310,2667
Sig.			,108	,069	,753	,331	,052

**Tabla 24. Prueba de Tukey para número de hojas de la medida 2 (siembra 1)**

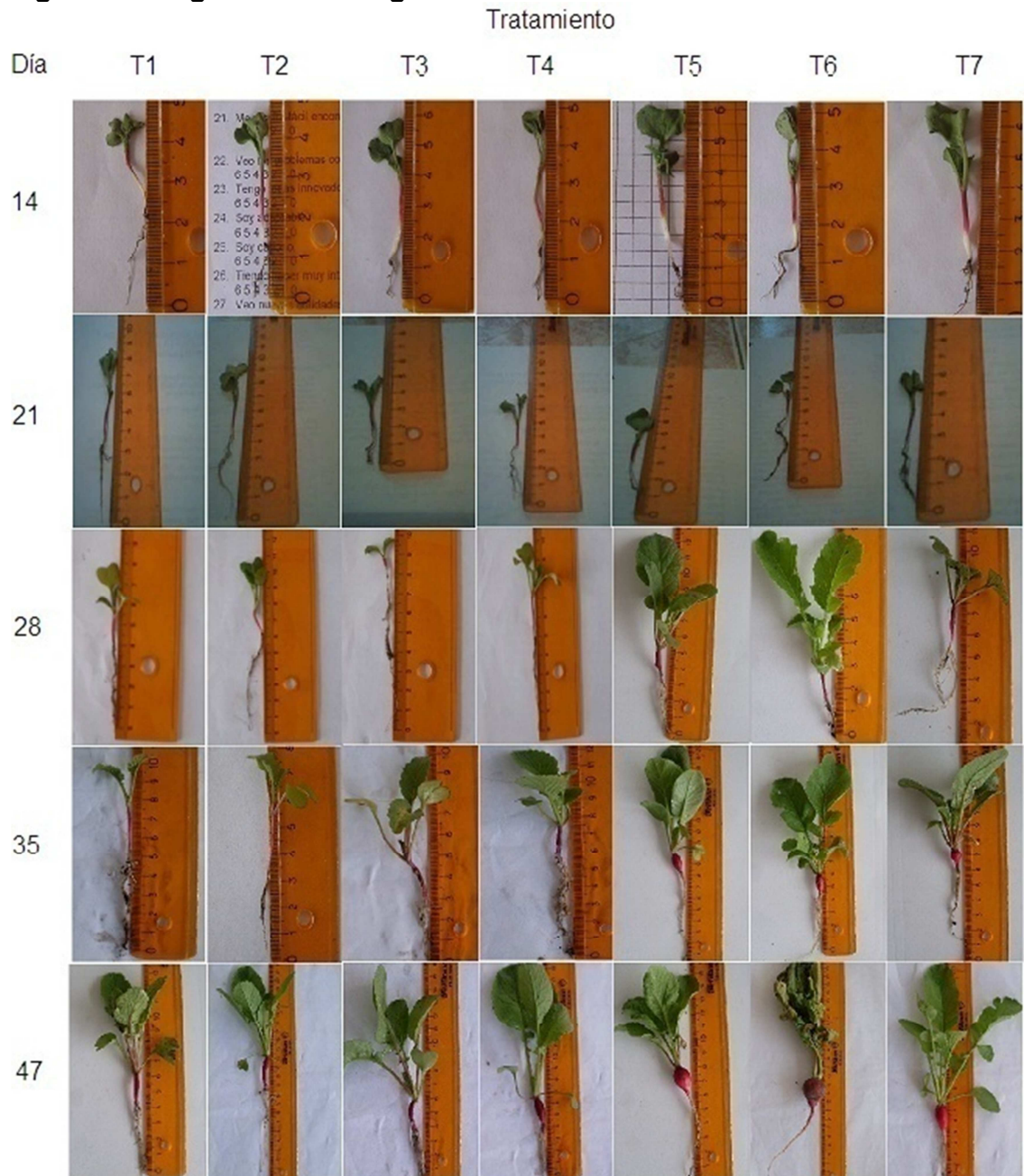
Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05				
			1	2	3	4	5
2	14	3	2,00				
1	14	3	2,33	2,33			
3	14	3	2,33	2,33			
4	14	3	2,33	2,33			
5	14	3	2,33	2,33			
7	14	3	2,33	2,33			
2	21	3	2,67	2,67			
6	21	3	2,67	2,67			
2	28	3	3,00	3,00	3,00		
1	21	3	3,33	3,33	3,33		
1	28	3	3,33	3,33	3,33		
2	35	3	3,33	3,33	3,33		
3	21	3	3,33	3,33	3,33		
4	21	3	3,33	3,33	3,33		
4	28	3	3,33	3,33	3,33		
5	21	3	3,33	3,33	3,33		
5	28	3	3,33	3,33	3,33		
6	14	3	3,33	3,33	3,33		
7	21	3	3,33	3,33	3,33		
1	35	3	3,67	3,67	3,67	3,67	
4	35	3	3,67	3,67	3,67	3,67	
6	28	3	3,67	3,67	3,67	3,67	
6	35	3	3,67	3,67	3,67	3,67	
7	28	3	3,67	3,67	3,67	3,67	
1	47	3	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
3	28	3	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
3	47	3	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
5	35	3	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
7	35	3	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
3	47	3	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
2	47	3		5,33	5,33	5,33	5,33
4	47	3			6,00	6,00	6,00
5	47	3			6,00	6,00	6,00
6	47	3				6,67	6,67
7	47	3					7,00
Sig.			,161	,050	,050	,050	,050

los pesos de las plantas secas de debido posiblemente a los niveles nutrientes del suelo.

Por último las correlaciones de Rho Spearman (Anexo 9) para número de hojas, nos indica que hay una correlación altamente significativa con crecimiento, tiempo y biomasa, con los tratamientos no hay correlación, se atribuye este resultado al buen contenido de N en el suelo de la siembra.

### 5.5.2 MEDIDA 3 (SIEMBRA 2)

**Figura 17. Seguimiento fotográfico a la siembra 2**



Los resultados del seguimiento de número de hojas, la biomasa y el crecimiento para la siembra 2, se encuentran consignados en la tabla 25 y en la figura 18, donde se puede apreciar que al igual que en la medida 2 (siembra 1), la tendencia en todos los parámetros es de incremento en función del tiempo, resaltando que los tratamientos T6 y T7 son los que presentan los más altos valores para cada una de las medidas, también como era de esperarse observamos que el T1 (Testigo) es el tratamiento que tiene los valores más bajos en las parámetros evaluados.

## **CRECIMIENTO**

La prueba de ANOVA (sig = 0,00 Anexo 10) muestra que existe diferencia significativa entre los valores de crecimiento de los tratamientos. En la prueba Duncan (Tabla 26) para la siembra 2, encontramos diferencias significativas entre los valores por días del crecimiento (10 subconjuntos alfa). Los mayores valores corresponden a los tratamientos T6 y T7 en el día 47, Nuevamente al igual que la siembra 1 este resultado indica que nuestro fertilizante foliar (dosis 2) más edáfico (T6), se comportó en el cultivo, significativamente igual al fertilizante comercial más el edáfico, evidenciando nuevamente el buen desempeño del producto obtenido.

## **BIOMASA.**

En la prueba Duncan (Tabla 27) para los resultados de biomasa, hay 6 subconjuntos alfa, los valores más altos obtenidos corresponden igualmente a los tratamientos T6 y T7 en el día 47, entre los cuales no existe diferencia significativa. El T6 es significativamente superior a todos los otros tratamientos, en el día 47. Nuevamente observamos el buen desempeño de nuestro fertilizante foliar en comparación con el comercial.

## **NÚMERO DE HOJAS**

Para este parámetro se aplicó la prueba de Tukey (Tabla 28), donde se observa que existen pocas diferencias entre los diferentes tratamientos, mostrando que los tratamientos T2, T3, T4, T5 T6 y T7 no presentan diferencia significativa en el número de hojas a partir del día 28, atribuible probablemente al alto contenido de N en el suelo inicial.

La correlación de Pearson (Anexo 11) muestran que el crecimiento del cultivo presenta una correlación altamente significativa y positiva con la biomasa, No de Hojas y el tiempo. Así mismo, la biomasa con crecimiento, No de Hojas y tiempo, como era de esperarse. La correlación de Rho Spearman (Anexo 12) para el número de hojas, indica que, este parámetro está relacionado alta, significativa y positivamente con todas las mediciones, pero con el tratamiento su correlación es significativa.

**Tabla 25 Número de Hojas, Biomasa y Crecimiento en los tratamientos de la siembra 2**

Tratamiento	Día	Crecimiento (cm)	Desviación Estándar	Biomasa (mg)	Desviación Estándar	No Hojas	Desviación Estándar
1	14	5,1	0,20	9,67	1,99	2,3	0,6
	21	7,5	0,95	24,90	1,00	2,3	0,6
	28	8,1	0,12	21,63	3,56	3,0	1,0
	35	8,6	0,53	28,73	2,76	3,3	0,6
	47	11,2	0,97	31,63	5,94	3,3	1,2
2	14	5,4	0,59	11,10	2,19	2,3	0,6
	21	7,5	1,01	23,80	1,81	2,3	0,6
	28	9,4	0,98	25,80	0,95	3,7	0,6
	35	8,1	1,05	20,97	8,91	4,3	0,6
	47	11,7	1,99	106,73	48,64	5,0	1,0
3	14	4,8	0,55	14,17	3,59	3,0	1,0
	21	6,9	1,70	17,20	2,26	3,3	0,6
	28	7,4	0,50	14,70	2,23	3,7	0,6
	35	9,1	0,55	18,47	1,96	3,3	1,2
	47	10,3	3,76	87,23	84,19	4,3	2,5
4	14	5,5	0,44	9,10	3,76	2,3	0,6
	21	8,7	0,82	19,03	4,15	2,3	0,6
	28	8,5	1,01	27,90	4,68	3,0	1,0
	35	8,5	0,57	28,87	8,00	3,3	1,2
	47	13,2	1,80	87,93	61,58	4,3	0,6
5	14	6,1	0,10	14,47	1,21	2,3	0,6
	21	6,7	0,21	19,30	3,61	2,7	0,6
	28	7,0	0,10	22,07	2,66	3,3	0,6
	35	8,9	1,27	27,73	8,12	3,3	1,2
	47	12,9	4,73	109,97	88,94	4,7	1,2
6	14	5,3	0,79	11,23	2,45	2,3	0,6
	21	7,1	1,87	17,50	4,90	2,7	1,2
	28	9,4	0,87	35,80	6,83	3,3	0,6
	35	9,3	1,13	29,50	2,27	4,3	0,6
	47	16,6	2,92	154,10	13,97	5,0	1,0
7	14	5,9	1,40	19,23	10,43	3,0	1,0
	21	5,9	0,38	23,60	3,04	3,3	0,6
	28	8,5	0,51	23,47	5,90	4,3	0,6
	35	11,4	0,81	43,50	7,81	5,3	0,6
	47	16,1	6,03	169,40	139,44	6,7	0,6

**Figura 18. Numero de hojas, Biomasa y Crecimiento para la siembra 2**

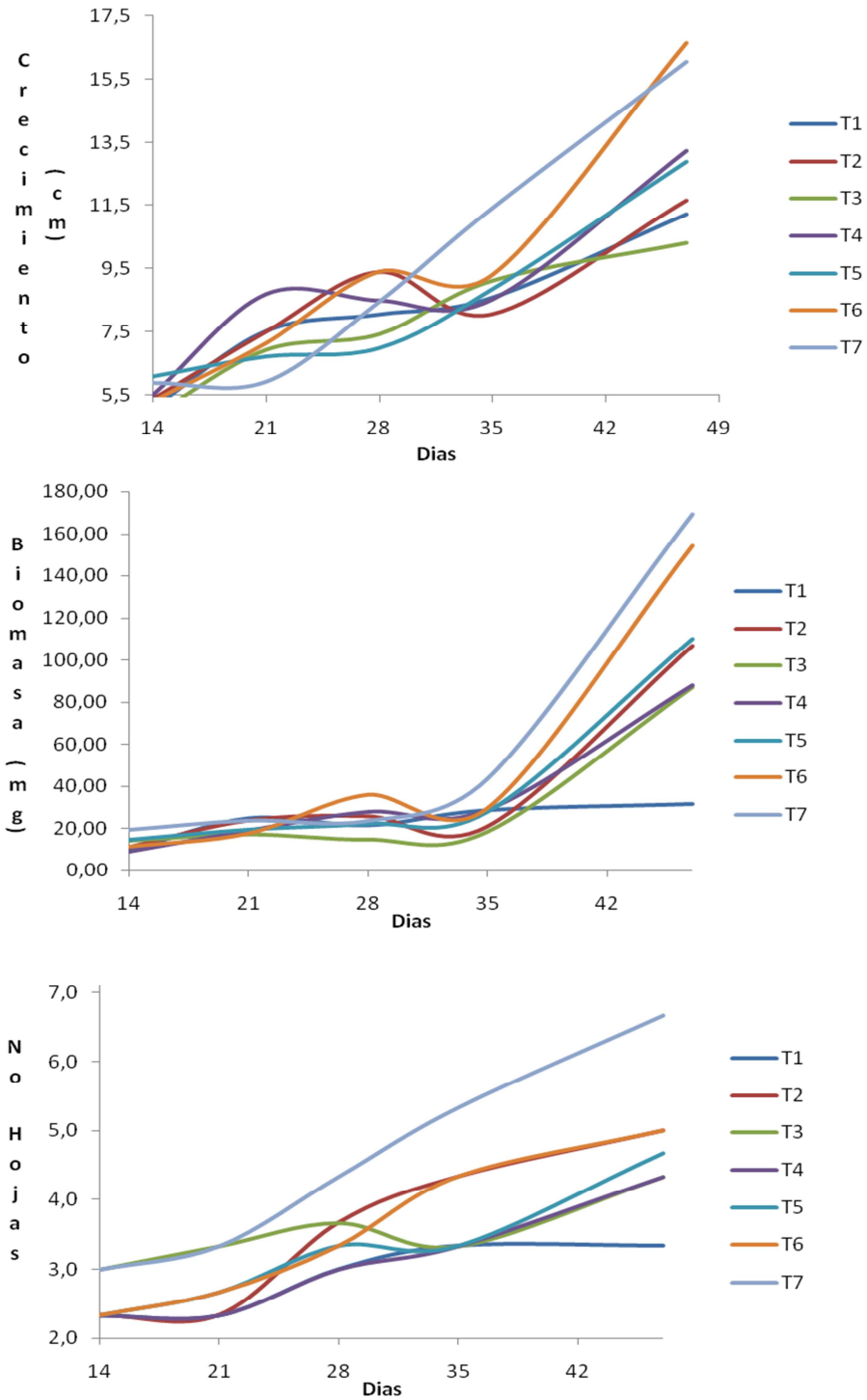


Tabla 26. Prueba de Duncan para el crecimiento en la medida 3 (siembra 2)

Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
3	14	3	4,8333																	
1	14	3	5,1000	5,1000																
6	14	3	5,3000	5,3000	5,3000															
2	14	3	5,3667	5,3667	5,3667															
4	14	3	5,5000	5,5000	5,5000															
7	14	3	5,9000	5,9000	5,9000	5,9000														
7	21	3	5,9333	5,9333	5,9333	5,9333														
5	14	3	6,1000	6,1000	6,1000	6,1000														
5	21	3	6,7333	6,7333	6,7333	6,7333														
3	21	3	6,9333	6,9333	6,9333	6,9333	6,9333													
5	28	3	7,0000	7,0000	7,0000	7,0000	7,0000	7,0000												
6	21	3	7,1333	7,1333	7,1333	7,1333	7,1333	7,1333	7,1333											
3	28	3	7,4333	7,4333	7,4333	7,4333	7,4333	7,4333	7,4333											
2	21	3	7,5000	7,5000	7,5000	7,5000	7,5000	7,5000	7,5000											
1	21	3	7,5333	7,5333	7,5333	7,5333	7,5333	7,5333	7,5333											
1	28	3	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667										
2	35	3	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667	8,0667										
7	28	3		8,4667	8,4667	8,4667	8,4667	8,4667	8,4667	8,4667	8,4667									
4	28	3		8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333								
4	35	3		8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333	8,5333								
1	35	3		8,6000	8,6000	8,6000	8,6000	8,6000	8,6000	8,6000	8,6000	8,6000								
4	21	3			8,7000	8,7000	8,7000	8,7000	8,7000	8,7000	8,7000	8,7000								
5	35	3			8,8667	8,8667	8,8667	8,8667	8,8667	8,8667	8,8667	8,8667								
3	35	3				9,1333	9,1333	9,1333	9,1333	9,1333	9,1333	9,1333								
6	35	3					9,3000	9,3000	9,3000	9,3000	9,3000	9,3000								
2	28	3					9,4000	9,4000	9,4000	9,4000	9,4000	9,4000								
6	28	3					9,4000	9,4000	9,4000	9,4000	9,4000	9,4000								
3	47	3						10,3333	10,3333	10,3333	10,3333	10,3333								
1	47	3							11,2333	11,2333	11,2333	11,2333								
7	35	3								11,4333	11,4333	11,4333								
2	47	3									11,6667	11,6667								
5	47	3										12,9000								
4	47	3											13,2333							
7	47	3												16,0667						16,0667
6	47	3													16,6333					16,6333
Sig.																				

**Tabla 27 Prueba Duncan para biomasa de la medida 3 (siembra 2)**

Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05					
			1	2	3	4	5	6
4	14	3	9,10					
1	14	3	9,67					
2	14	3	11,10					
6	14	3	11,23					
3	14	3	14,17					
5	14	3	14,47					
3	28	3	14,70					
3	21	3	17,20					
6	21	3	17,50					
3	35	3	18,47	18,47				
4	21	3	19,03	19,03	19,03			
7	14	3	19,23	19,23	19,23			
5	21	3	19,30	19,30	19,30			
2	35	3	20,97	20,97	20,97			
1	28	3	21,63	21,63	21,63			
5	28	3	22,07	22,07	22,07			
7	28	3	23,47	23,47	23,47			
7	21	3	23,60	23,60	23,60			
2	21	3	23,80	23,80	23,80			
1	21	3	24,90	24,90	24,90			
2	28	3	25,80	25,80	25,80			
5	35	3	27,73	27,73	27,73			
4	28	3	27,90	27,90	27,90			
1	25	3	28,73	28,73	28,73			
4	35	3	28,87	28,87	28,87			
6	35	3	29,50	29,50	29,50			
1	47	3	31,63	31,63	31,63			
6	28	3	35,80	35,80	35,80			
7	25	3	43,50	43,50	43,50			
3	47	3		87,23	87,23	87,23		
4	47	3			87,93	87,93		
2	47	3				106,73	106,73	
5	47	3				109,97	109,97	
6	47	3					154,10	154,10
7	47	3						169,40
Sig.			0,326	0,051	0,051	0,469	0,116	0,588

**Tabla 28. Prueba de Tukey para número de hojas de la medida 3 (siembra 2)**

Tratamiento	Día	N	Subconjunto para alfa = .05		
			1	2	3
1	14	3	2,33		
1	21	3	2,33		
2	14	3	2,33		
2	21	3	2,33		
4	14	3	2,33		
4	21	3	2,33		
5	14	3	2,33		
6	14	3	2,33		
5	21	3	2,67	2,67	
6	21	3	2,67	2,67	
1	28	3	3,00	3,00	
3	14	3	3,00	3,00	
4	28	3	3,00	3,00	
7	14	3	3,00	3,00	
1	35	3	3,33	3,33	
1	47	3	3,33	3,33	
3	21	3	3,33	3,33	
3	35	3	3,33	3,33	
4	35	3	3,33	3,33	
5	28	3	3,33	3,33	
5	35	3	3,33	3,33	
6	28	3	3,33	3,33	
7	21	3	3,33	3,33	
2	28	3	3,67	3,67	
3	28	3	3,67	3,67	
2	35	3	4,33	4,33	4,33
3	47	3	4,33	4,33	4,33
4	47	3	4,33	4,33	4,33
6	35	3	4,33	4,33	4,33
7	28	3	4,33	4,33	4,33
5	47	3	4,67	4,67	4,67
2	47	3	5,00	5,00	5,00
6	47	3	5,00	5,00	5,00
7	35	3		5,33	5,33
7	47	3			6,67
Sig.			,118	,118	,328



## 5.6 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RÁBANO EN LAS DOS SIEMBRAS

Después de 47 días de la siembra, se realizó la cosecha de los cultivos 1 y 2, en la tabla 29 están consignados los resultados de los diferentes pesos húmedos y toneladas por hectáreas de los rábanos, para de cada uno de los tratamientos. La figura 19 ilustra una comparación grafica de los resultados de la siembra 1 y 2; En esta grafica se observa en general que hay un incremento de los pesos que va desde el tratamiento T1 hasta el T7 para las dos cosechas, también se puede notar que la cosecha de la siembra 1 es apreciablemente más alta que la de la siembra 2, confirmando lo anterior está ANOVA la cual arroja una significancia de 0,001 (Anexo 13) cuando se tiene la variable independiente de agrupación, medida. Este resultado muestra que el tiempo de siembra influye en la producción atribuible probablemente a que en la segunda siembra se presentó un ataque de pulgón después de los 28 días afectando las hojas del cultivo y de esta manera disminuyendo su producción.

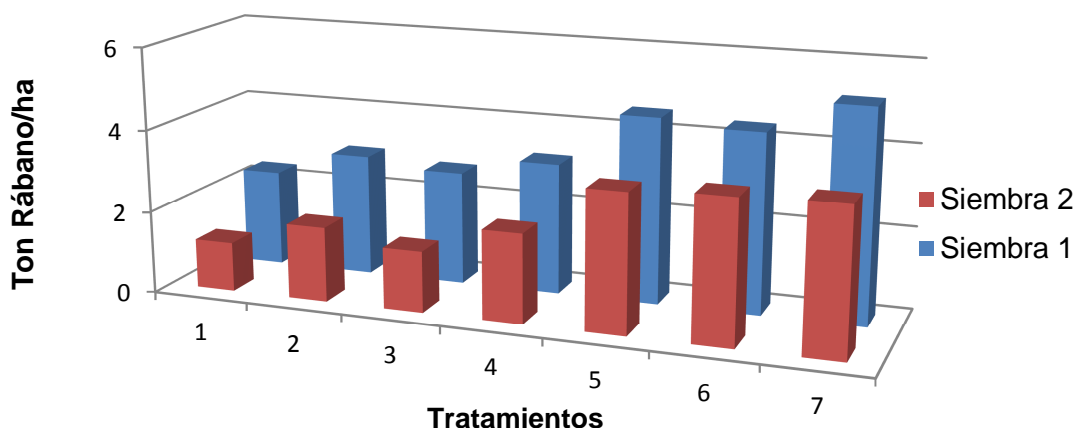
**Tabla 29. Peso de los rábanos para las cosechas de las siembras 1 y 2**

Siembra	Tratamiento	Peso (g)	Desviación Estándar	Ton Rábano/ha	Desviación Estándar
1	T1	1,2137	0,1914	2,35	0,37
	T2	1,5368	0,1595	2,97	0,31
	T3	1,4244	0,5082	2,76	0,98
	T4	1,6506	0,2402	3,19	0,46
	T5	2,3357	0,5648	4,52	1,09
	T6	2,2575	0,2954	4,37	0,57
	T7	2,6620	0,3355	5,15	0,65
2	T1	0,6137	0,1017	1,19	0,20
	T2	0,9368	0,0713	1,81	0,14
	T3	0,7649	0,1246	1,48	0,24
	T4	1,1172	0,1430	2,16	0,28
	T5	1,7357	0,3302	3,36	0,64
	T6	1,7908	0,1114	3,47	0,22
	T7	1,8286	0,2429	3,54	0,47

Considerando como variable independiente los tratamientos para los resultados de las cosechas 1 y 2 se aplico ANOVA (Anexo 14) y se encontraron diferencias significativas en los resultados.

Se realizo también la prueba de Duncan (Tabla 30) donde se puede notar que hay 8 subconjuntos alfa, lo cual nos indica que hay diferencias significativas entre los tratamientos, también que los mayores pesos se obtuvieron con los tratamientos 5, 6 y 7 de la siembra 1, entre los cuales no hay diferencia significativa. Se resalta que de estos últimos, los tratamientos 6 y 7 son significativamente superiores a todos los demás, confirmando entonces, que la producción de la siembra 1 es significativamente más alta que la siembra 2.

**Figura 19. Producción de rábanos de las siembras 1 y 2.**



Dentro de los resultados para la cosecha de la **siembra 1** cabe resaltar que los tratamiento T5, T6 y T7 son los únicos tratamientos que tienen diferencias significativas con el tratamiento testigo T1, indicando que el proceso de fertilización edáfica complementada con la foliar ya sea comercial o preparada en esta investigación, tuvo mayor impacto sobre la producción, confirmando que la fertilización foliar es un complemento y no un sustituto de la edáfica.

Para la cosecha de la **siembra 2**, los tratamientos T5, T6 y T7 se diferencian del tratamiento testigo T1, y nuevamente como en la cosecha 1, los mayores pesos son para estos tratamientos, y entre los cuales no existen diferencias significativas.

**Tabla 30. Prueba Duncan para los resultados de las cosechas 1 y 2.**

Tratamiento	siembra	N	Subconjunto para alfa = .05										
			1	2	3	4	5	6	7	8			
1	2	3	0,6137										
3	2	3	0,7649	0,7649									
2	2	3	0,9368	0,9368	0,9368								
4	2	3	1,1172	1,1172	1,1172	1,1172							
1	1	3		1,2137	1,2137	1,2137	1,2137						
3	1	3			1,4244	1,4244	1,4244	1,4244					
2	1	3				1,5368	1,5368	1,5368					
4	1	3					1,6506	1,6506					
5	2	3						1,7357	1,7357				
6	2	3							1,7908	1,7908			
7	2	3								1,8286	1,8286		
6	1	3									2,2575	2,2575	
5	1	3										2,3357	2,3357
7	1	3											2,6620
Sig.			0,055	0,086	0,063	0,108	0,052	0,135	0,066	0,109			

Esto indica que nuestro fertilizante foliar para las dos cosechas, en sus dos dosis acompañado con el fertilizante edáfico tuvo el mismo rendimiento en términos de producción que el fertilizante foliar comercial más el edáfico.

Una vez más el fertilizante foliar obtenido a partir de la gallinaza se comporto a la altura del fertilizante foliar comercial, esta vez, en la producción de las cosechas, parámetro importante al evaluar la efectividad de cualquier fertilizante.

## 5.7 ANALISIS DEL SUELO

### 5.8 ANÁLISIS DEL SUELO ANTES DEL CULTIVO

En la tabla 31 se relaciona la forma de nombrar el suelo de acuerdo a las medidas realizadas.

**Tabla 31. Descripción de las muestras de suelos**

MEDIDA	DESCRIPCIÓN
1	Suelo antes del cultivo
2	Suelos después de cultivo 1
3	Suelo de cultivo 2, sembrado 15 días después del cultivo 1

En la tabla 32 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos con sus desviaciones estándar ( $\pm$ ), realizados a la muestra de suelo anterior de los cultivos (**medida 1**), en esta investigación, todos los análisis fueron realizados por triplicado. Para la interpretación de los resultados se utilizó como patrón de referencia, los datos reportados por Silva [43] (Anexo 15).

**Tabla 32. Análisis Físico y Químico del Suelo Antes de la Siembra (Medida1)**

Suelo	Propiedades Físicas					Textura
	Humedad (%)		Granulometría (%)			
	Higroscópica	De Campo	Arena	Arcilla	Limo	
Características de Andisol	22,66 $\pm 0,14$	30,69 $\pm 0,22$	66,45 $\pm 2,17$	7,08 $\pm 0,00$	20,01 $\pm 1,22$	Franco arenosa

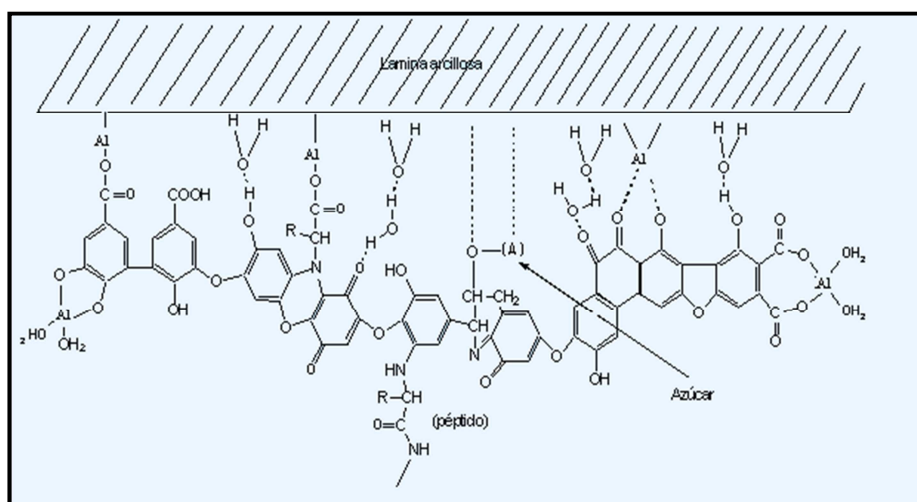
Continuación de la tabla 32.

Propiedades químicas									
pH	C (%)	MO (%)	N (%)	C/N	P (ppm)	Acidez intercambiable meq/100g suelo	Al <sup>3+</sup> Intercambiable meq/100g suelo	Acidez titulable meq/100g suelo	CIC meq/100g suelo
5,07	9,34	16,10	0,48	17,04	9,94	0,68	-	53,48	43,45
±0,02	±0,23	±0,40	±0,05	±0,46	±0,38	±0,03	-	±1,12	±1,10

Bases de cambio (meq/100g suelo)				S (ppm)		Microelementos (ppm)				
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca/Mg	Soluble	Disponible	Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0,40	0,20	0,47	0,15	2,10	2,91	9,53	2,43	0,65	2,42	5,09
±0,018	±0,010	±0,019	±0,001	±0,180	±0,087	±0,256	±0,086	±0,001	±0,092	±0,213

La zona rural del municipio de Cajibío (Departamento del Cauca), se caracteriza por presentar suelos con una alta humedad. El suelo estudiado proveniente de esta zona presenta un color oscuro, con una humedad higroscópica de 22,66%, comprendida dentro del rango normal (15% - 25%). La textura Franco-Arenosa con un contenido bajo en arcillas (7,08%), indica que la retención de humedad se debe al alto contenido de Materia Orgánica (16,10%) y a la presencia de alófanos en este suelo.

Figura 20. Grupos quelatados por la MO que producen acidez



El valor del pH es de 5,07, clasificando al suelo estudiado como fuertemente ácido, afectando la disponibilidad de muchos nutrientes para la planta; a este pH, se favorece la adsorción de fósforo, boro, azufre y molibdeno en la fase coloidal, ya que pueden intercambiarse aniónicamente puesto que se favorece la capacidad de intercambio aniónico. Además se puede presentar lavado de

nutrientes como el Ca, Mg o K, lo cual se confirma con el bajo valor de CIC efectiva (1,74) que es menor de 4, valor por debajo del cual indica un fuerte lavado de nutrientes en general.

El valor de la acidez intercambiable es bajo y al no encontrarse aluminio de cambio, la acidez es debida al hidrogeno de cambio proveniente principalmente a la MO, y a especies de Al y de H no intercambiables como se demuestra por la alta acidez Titulable. Es probable que el Al esté siendo quelatado fuertemente por la MO (Figura 20).

La capacidad de intercambio catiónico presenta un valor de 43,45 meq/100 de suelo, valor alto atribuible principalmente al alto contenido de MO. En los suelos ácidos, la determinación más apropiada, es la suma de las bases de cambio y de la acidez de cambio; esta capacidad de cambio se denomina real o efectiva y en este suelo presenta un valor de 1,74 que indica un fuerte lavado de cationes, de tal manera que los contenidos de Ca y Mg son muy bajos, lo mismo que sus saturaciones. El nivel de K se encuentra en un rango bajo. La relación Ca/Mg es de 2,11 es normal, aún cuando existe fuerte deficiencia de estas dos bases.

El porcentaje de nitrógeno total presente en el suelo es de 0,48% , aún cuando es alto, proveniente del alto nivel de MO, no se puede asegurar su alta disponibilidad para la absorción por las plantas, debido a que ese valor incluye tanto el nitrógeno en forma orgánica como inorgánica. La forma orgánica que representa casi la totalidad del nitrógeno en el suelo, no puede ser utilizada por la planta, mientras no se transforme previamente en nitrógeno inorgánico, mediante una serie de procesos fundamentalmente de tipo bioquímico, en los cuales influyen factores tales como la temperatura, el pH y la humedad.

La relación C/N (17,04) para este suelo indica un proceso de lenta mineralización confirmado por la acumulación de capas de MO sin transformar, debido a las inadecuadas características químicas del suelo como son la muy fuerte acidez, por lo que los microorganismos no están desarrollando sus actividades adecuadamente en la degradación de la materia orgánica, y están causando inmovilización del N, posiblemente influirá negativamente en el proceso de humificación de la MO ocasionando así fuerte acidez al suelo con consecuencias negativas de fertilidad.

El suelo presenta un bajo contenido de fósforo disponible 7,68 ppm, atribuible a la fuerte acidez, siendo posible que esté intercambiado aniónicamente o precipitado en forma de fosfatos de Al y de Fe. Aún cuando el nivel de materia orgánica es alto, produce acidez no intercambiable, favoreciendo así la retención de P en el suelo. Esta retención también se puede atribuir principalmente a la presencia de alófanos en este suelo, como se demostró en investigaciones anteriores [46].

Se observa una fuerte deficiencia de Fe, Cu y Mn, atribuida probablemente a quelatación por parte de la MO. Además existe niveles altos de Zn.

## 5.9 ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DEL CULTIVO

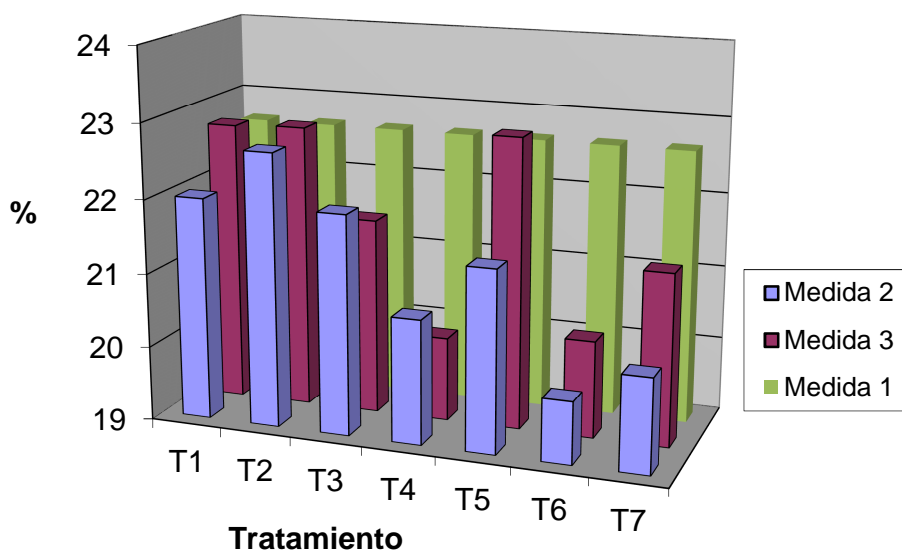
Para el análisis de las muestras de suelo después de las cosechas, los análisis también fueron realizados por triplicado. Los datos se muestran junto a los de la medida 1 con el propósito de hacer más fácil la comparación. Tabla 33. A todos los parámetros evaluados se les realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y aplicación de ANOVA (Anexo 16 y 17), los datos que no se ajustan a la normalidad son los siguientes: pH, Acidez intercambiable, Azufre soluble, Magnesio y Manganeseo de la medida 1.

Los resultados se evaluaron de la siguiente manera, cada parámetro comparándolo en las tres medidas, teniendo como factor, **la medida**, y luego el **tratamiento**; Para una mejor comprensión se presenta el análisis estadístico para cada uno de los parámetros con ambos factores como variables de agrupación en el paquete estadístico SPSS.

### 5.9.1 HUMEDAD HIGROSCÓPICA

Los datos se representan en la figura 21.

**Figura 21. Humedad higroscópica para las medidas**



Se pudo observar gracias a la figura 21 y a la prueba de Duncan (Tabla 35) que dentro de la medida 1, no existen diferencias significativas entre los

**Tabla 33. Caracterización de las muestras de suelo antes y después de la siembra del Rábano**

Medida	T	% H	pH	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	S sol (ppm)	S dis (ppm)	Acidez inter meq/100g suelo	Al <sup>3+</sup> Inter meq/100g suelo	Ácido titulable meq/100g suelo	CIC meq/100g suelo	Ca meq/100g suelo	Mg meq/100g suelo	Na meq/100g suelo	K meq/100g suelo	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
1	T1-T7	22,66	5,07	16,10	0,48	9,94	2,91	9,53	0,68	-	53,48	43,45	0,40	0,20	0,47	0,15	2,43	0,65	2,42	5,09
	T1	22,01	5,03	16,17	0,40	4,25	1,92	32,65	0,62	-	52,18	35,89	0,34	0,14	0,18	0,11	1,92	0,47	0,49	0,27
	T2	22,68	4,9	16,21	1,07	4,72	1,95	37,20	0,67	0,60	54,01	38,82	0,47	0,62	0,20	2,82	6,72	1,12	1,47	1,19
	T3	21,96	4,99	16,23	1,10	4,47	2,31	31,42	0,52	0,30	45,98	33,88	0,25	0,54	0,25	2,78	7,57	1,25	1,59	1,38
2	T4	20,67	5,06	16,11	1,08	3,52	2,74	57,77	0,74	0,26	46,79	37,08	0,22	0,53	0,21	4,24	8,30	1,26	1,87	1,47
	T5	21,44	5	16,19	0,90	4,40	5,43	65,42	0,90	0,32	47,14	42,90	0,30	0,76	0,25	5,32	9,55	1,44	8,10	1,49
	T6	19,83	5,03	16,10	0,87	4,24	5,73	62,58	0,74	0,27	46,72	39,37	0,19	0,81	0,23	5,24	8,07	1,55	8,82	1,52
	T7	20,26	5,16	16,12	0,97	4,79	6,25	62,21	0,82	0,19	47,35	42,42	0,43	0,76	0,26	5,24	9,34	1,58	10,55	1,76
3	T1	22,77	4,72	16,13	0,40	4,44	1,57	19,07	0,811	0,00	53,62	32,81	0,23	0,13	0,13	0,11	1,53	0,55	0,66	1,85
	T2	22,81	4,81	16,29	0,97	5,34	1,52	41,47	0,785	0,35	48,83	33,64	0,19	0,46	0,19	3,24	6,12	2,69	6,29	2,52
	T3	21,64	4,9	16,28	0,95	5,64	1,98	30,62	0,673	0,35	50,48	34,22	0,14	0,41	0,15	3,58	8,72	3,63	10,36	2,66
	T4	20,13	4,94	16,23	1,01	6,14	5,61	58,95	0,831	0,25	50,20	33,55	0,15	0,49	0,24	4,77	7,64	4,30	12,45	3,43
	T5	22,89	5,01	16,14	1,25	6,57	6,53	59,17	0,703	0,26	50,68	34,90	0,19	0,58	0,25	4,41	12,16	4,63	11,01	3,63
	T6	20,30	4,96	16,27	0,99	7,07	9,00	75,49	0,673	0,33	48,53	34,85	0,20	1,13	0,25	4,34	12,43	4,69	12,14	3,49
	T7	21,31	5,03	16,30	0,98	7,18	10,47	76,91	1,049	0,26	49,39	38,01	0,23	1,50	0,25	4,77	10,05	5,21	12,79	3,65

diferentes tratamientos, ya que es una constante y pertenecen al suelo antes de la siembra. Para las medidas 2 y 3 los mayores valores en común se encuentran en los tratamientos T1 y T2, y los menores valores en común pertenecen a los tratamientos T6 y T4. En general se puede decir que hubo un descenso en el valor de la humedad después del cultivo del rábano en las dos últimas medidas (tabla 34), ya que sus resultados en los tratamientos son significativamente menores que los tratamientos de la medida 1, a pesar de esto los suelos siguen encontrándose en el rango de humedad normal (15% - 25%), disminución que podría atribuirse a la absorción de agua por parte del cultivo.

**Tabla 34. Duncan de Humedad higroscópica promedio para las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
2	21	21,264390	
3	21	21,692986	
1	21		22,662533
Sig.		,142	1,000

**Tabla 35. Prueba de Duncan para la humedad higroscópica en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05							
			1	2	3	4	5	6	7	
2	6	3	19,830							
3	4	3	20,128	20,128						
2	7	3	20,263	20,263						
3	6	3	20,304	20,304						
2	4	3		20,671	20,671					
3	7	3			21,314	21,314				
2	5	3				21,442				
3	3	3				21,638				
2	3	3				21,956	21,956			
2	1	3				22,011	22,011	22,011		
1	1	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	2	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	3	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	4	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	5	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	6	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
1	7	3				22,663	22,663	22,663	22,663	
2	2	3				22,678	22,678	22,678	22,678	
3	1	3				22,770	22,770	22,770	22,770	
3	2	3						22,806	22,806	
3	5	3								22,891
Sig.			0,227	0,166	0,075	0,083	0,057	0,062	0,589	



## 5.9.2 pH

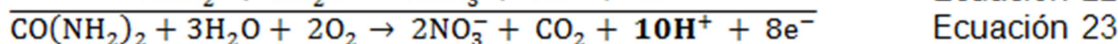
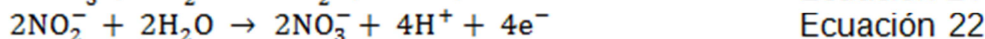
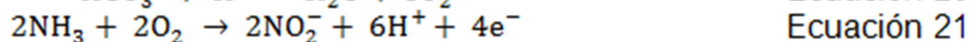
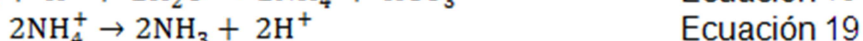
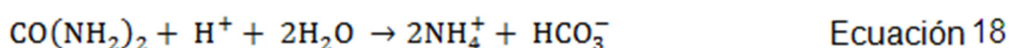
Para este parámetro, el promedio de pH disminuyó en las medidas 2 y 3 con respecto a la medida 1, pero solamente el descenso experimentado en la medida 3, es significativamente menor (Tabla 36).

**Tabla 36. Prueba de Duncan para el promedio de pH en las medidas**

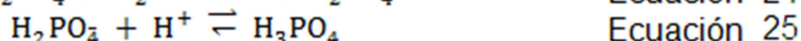
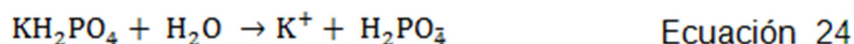
Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
3	21	4,9100	
2	21		5,0257
1	21		5,0700
Sig.		1,000	,118

El descenso significativo del pH en la medida 3 para la mayoría de los tratamientos, convierte al suelo en muy fuerte ácido, atribuyendo este descenso a que se usó Triple 15 como fertilizante edáfico; cuando se le introduce nitrógeno al suelo, este en su proceso de nitrificación libera protones hacia la solución del suelo, produciendo acidez. El grado de acidez que inducen los fertilizantes nitrogenados depende de la fuente de nitrógeno que se utilice. Adicional a esto se suma la acidez generada por la reacción de la fuente de fósforo [49]. Las reacciones que justifican porque este fertilizante disminuyó el pH de la solución del suelo se muestran a continuación.

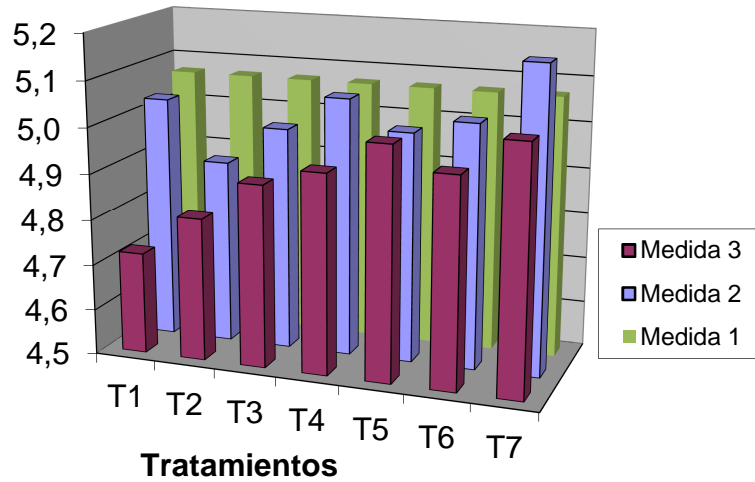
Acidez generada por un fertilizante nitrogenado (Urea): *nitrificación del amoníaco*



Acidez generada por fertilizantes fosfatados (Fosfato diácido de potasio).



**Figura 22. pH para las medidas**



**Tabla 37. Prueba de Duncan para el pH en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05						
			1	2	3	4	5	6	
3	1	3	4,7233						
3	2	3	4,8133	4,8133					
3	3	3		4,9000	4,9000				
2	2	3		4,9033	4,9033				
3	4	3			4,9367	4,9367			
3	6	3			4,9567	4,9567	4,9567		
2	3	3			4,9867	4,9867	4,9867		
2	5	3			5,0000	5,0000	5,0000		
3	5	3			5,0067	5,0067	5,0067		
2	6	3				5,0300	5,0300		
3	7	3				5,0333	5,0333		
2	1	3				5,0333	5,0333		
2	4	3					5,0633	5,0633	
1	1	3						5,0700	5,0700
1	2	3						5,0700	5,0700
1	3	3						5,0700	5,0700
1	4	3						5,0700	5,0700
1	5	3						5,0700	5,0700
1	6	3						5,0700	5,0700
1	7	3						5,0700	5,0700
2	7	3							5,1633
Sig.			,084	,101	,075	,110	,071	,101	

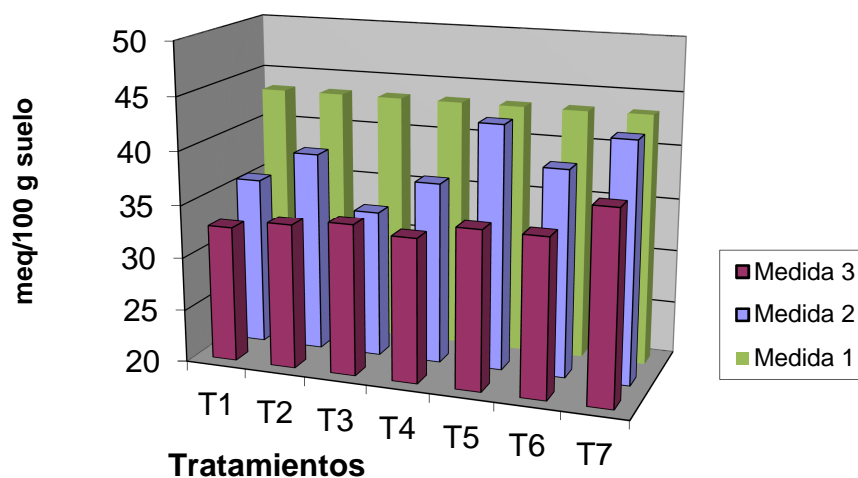
La figura 22 muestra que los tratamientos en las medidas, 2 y 3 experimentaron un comportamiento de aumento progresivo, comenzando en

T1 hasta T7. La prueba de Duncan (Tabla 37) evidencia que hay diferencias significativas entre los tratamientos, ya que hay 6 subconjuntos alfa; En común, el tratamiento 7 presenta valores significativamente superiores en las medidas 2 y 3. Por el contrario, los tratamientos T1 y T2 en las medidas 2 y 3 presentan valores significativamente inferiores a los demás tratamientos.

### 5.9.3 CIC

Para el análisis de CIC en la tabla 38 y la figura 23 se observó que en general, los procesos de fertilización disminuyeron significativamente la CIC en las medidas 2 y 3, siendo la medida 3 la que presenta la mayor disminución. Esta disminución se atribuye probablemente a la disminución significativa del pH en la medida 3, y aún cuando su disminución en la medida 2 no es significativa, sí afecta el valor de la CIC, puesto que se incrementan las cargas positivas aumentando la capacidad de intercambio aniónico en forma inversa a la CIC.

**Figura 23. CIC para las medidas**



**Tabla 38. Prueba de Duncan para el CIC promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
3	21	34,56719		
2	21		38,62181	
1	21			43,44973
Sig.		1,000	1,000	1,000

Dentro de las medidas 2 y 3 (Tabla 39) el tratamiento en común que presentó mayor valor significativo fue el T7, y el menor valor el tratamiento T1. Aunque la CIC disminuyó significativamente, todavía se encuentra en un nivel alto en las medidas 2 y 3. El mayor valor en el T7 se puede atribuir al incremento en el nivel de algunas bases de cambio por efecto del fertilizante.

**Tabla 39. Prueba de Duncan para CIC en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05						
			1	2	3	4	5	6	
3	1	3	32,81100						
3	4	3	33,54500	33,54500					
3	2	3	33,63593	33,63593					
2	3	3	33,88083	33,88083					
3	3	3	34,22373	34,22373					
3	6	3	34,84693	34,84693	34,84693				
3	5	3	34,90247	34,90247	34,90247				
2	1	3		35,88797	35,88797	35,88797			
2	4	3			37,08270	37,08270	37,08270		
3	7	3				38,00527	38,00527		
2	2	3					38,81790		
2	6	3					39,37010		
2	7	3							42,41550
2	5	3							42,89770
1	1	3							43,44973
1	2	3							43,44973
1	3	3							43,44973
1	4	3							43,44973
1	5	3							43,44973
1	6	3							43,44973
1	7	3							43,44973
Sig.			,121	,082	,080	,087	,073	,449	

#### 5.9.4 MATERIA ORGÁNICA

No se presentaron cambios significativos en el nivel de materia orgánica en las tres medidas, esto lo confirma la Prueba de ANOVA (tabla 40) donde hay una significancia de 0,4, por lo tanto no hay una diferencia significativa en las tres medidas. Este resultado se ha comprobado en estudios anteriores [49], donde el nivel de M.O para suelos, no se afecta, en periodos de tiempos cortos.

Considerando los tratamientos, la figura 24 muestra pequeñas variaciones en los valores de MO en los tratamientos dentro de las medidas, pero no son significativos, como se muestra en la tabla 41, correspondiente a la prueba de ANOVA, lo que significa que se mantienen constantes los niveles de materia orgánica en todo el tiempo del cultivo. Como se explicó anteriormente.

**Tabla 40. ANOVA para MO promedio en las medidas**

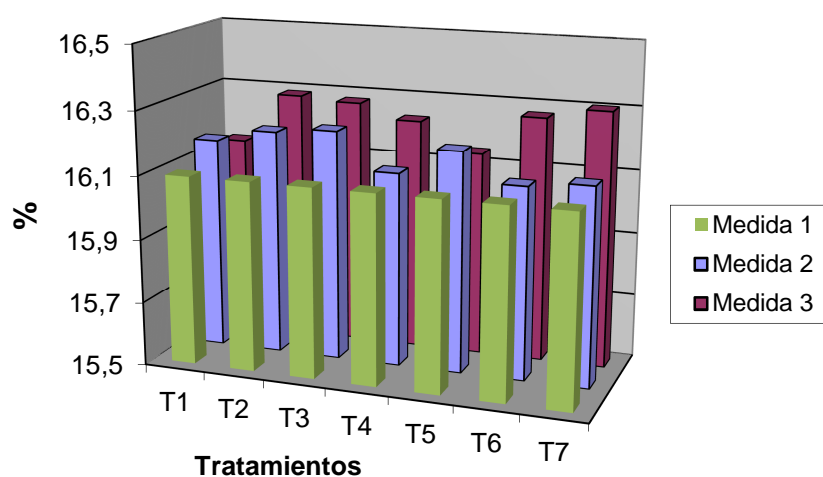
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,201	2	,101	,931	,400
Intra-grupos	6,486	60	,108		
Total	6,687	62			

El nivel de MO presentado por este suelo es óptimo para la mayoría de cultivos y por supuesto para el Rábano, este alto nivel de M.O contribuye a regular las propiedades químicas, las propiedades físicas y los procesos biológicos.

**Tabla 41. ANOVA para MO en los tratamientos**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,039	6	,007	,055	,999
Intra-grupos	6,648	56	,119		
Total	6,687	62			

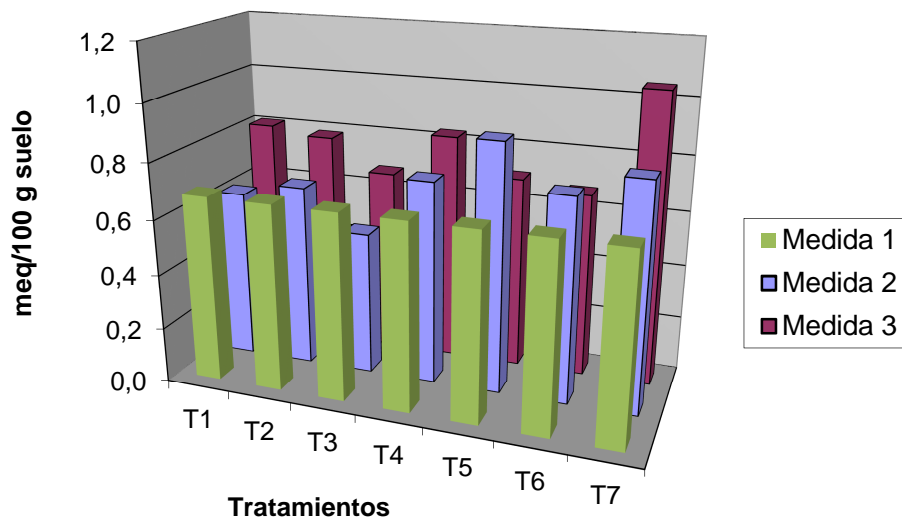
**Figura 24. MO para las medidas**



### 5.9.5 ACIDEZ INTERCAMBIABLE

Los resultados se encuentran representados en la figura 25.

**Figura 25. Acidez intercambiable para las medidas**



El proceso de fertilización y cultivo en el suelo, produjo un incremento en la acidez intercambiable en la medidas 3 como lo muestra la figura 25. Confirmando este aumento significativo esta la prueba de Duncan (tabla 42). Este incremento originó la disminución en el valor promedio de pH en la medida 3, y se explica mediante las reacciones descritas anteriormente (ecuaciones 18-25).

**Tabla 42. Prueba de Duncan para acidez intercambiable promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,68090	
2	21	,71510	
3	21		,78928
Sig.		,292	1,000

Analizando los tratamientos en las medidas 2 y 3 (tabla 43) se encuentran diferencias significativas; en común el tratamiento T3 está en los valores más bajos, y el T7 en los más altos en estas siembras.

**Tabla 43. Prueba de Duncan para acidez intercambiable en los tratamientos**

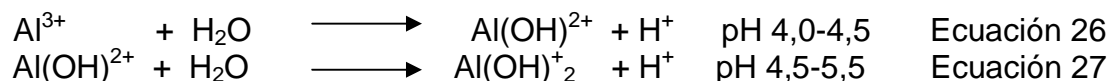
Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05										
			1	2	3	4	5	6	7	8			
2	3	3	,52267										
2	1	3		,61743									
2	2	3		,66577	,66577								
3	6	3		,67253	,67253	,67253							
3	3	3		,67337	,67337	,67337							
1	1	3		,68090	,68090	,68090							
1	2	3		,68090	,68090	,68090							
1	3	3		,68090	,68090	,68090							
1	4	3		,68090	,68090	,68090							
1	5	3		,68090	,68090	,68090							
1	6	3		,68090	,68090	,68090							
1	7	3		,68090	,68090	,68090							
3	5	3			,70340	,70340							
2	4	3					,73863	,73863					
2	6	3					,74197	,74197					
3	2	3						,78537	,78537				
3	1	3							,81060				
2	7	3							,82123				
3	4	3							,83083				
2	5	3								,89803			
3	7	3											1,04883
Sig.			1,000	,074	,287	,052	,139	,164	1,000	1,000			

### 5.9.6 ALUMINIO INTERCAMBIABLE

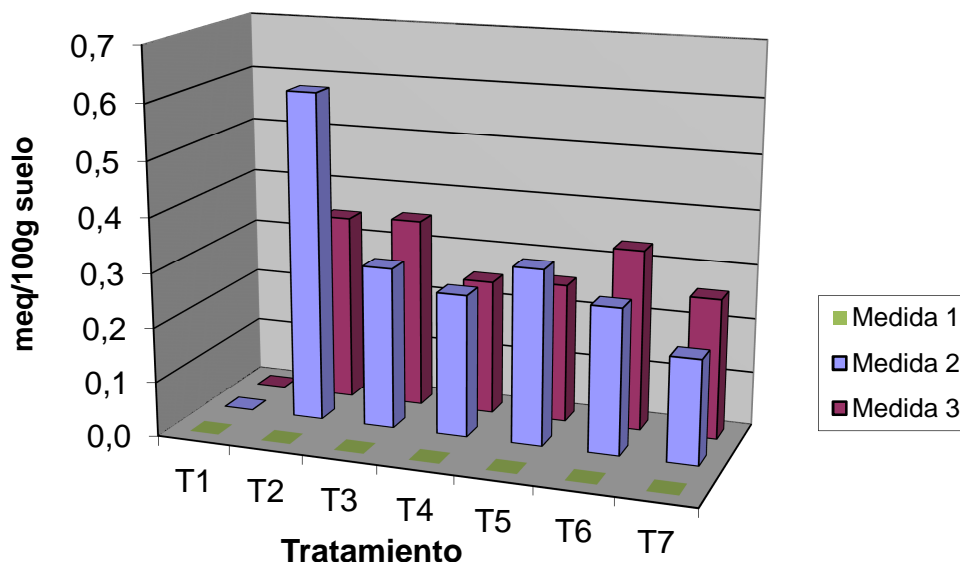
Los resultados en la evaluación de este parámetro, mostrado en la figura 26 indican que al terminar el cultivo, los valores de aluminio intercambiable aumentaron.

En la tabla 44 se advierte que el incremento que experimentan las medidas 2 y 3 es significativo, ya que estas medidas están en el subconjunto alfa No 2, el cual es significativamente superior a la medida 1.

El descenso en el pH que sufren las medidas 2 y 3, es debido también al aumento del aluminio intercambiable en el suelo, para explicar este fenómeno acudimos a las ecuaciones 26 y 27, se puede decir que si la concentración de aluminio aumenta, el equilibrio de la reacciones es desplazando a la derecha, produciendo  $H^+$  a la solución del suelo, y por lo tanto causando el descenso del pH.



**Figura 26. Aluminio intercambiable para las medidas**



**Tabla 44. Prueba de Duncan para Aluminio intercambiable promedio en las medidas.**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,00000	
3	21		,25582
2	21		,27751
Sig.		1,000	,557

En la prueba Duncan, tabla 45, se advierte que los tratamientos testigos T1 son los únicos que no aumentan, permanecen constantes, prueba de ello es que están en el mismo subconjunto alfa; Los tratamientos T2 y T3 en las medidas 2 y 3 son los que, en común, obtuvieron los valores significativamente más altos para la evaluación de este parámetro.

Se afirma entonces que la fertilización foliar sola, causó los más altos valores de aluminio intercambiable en los suelos después de las cosechas.

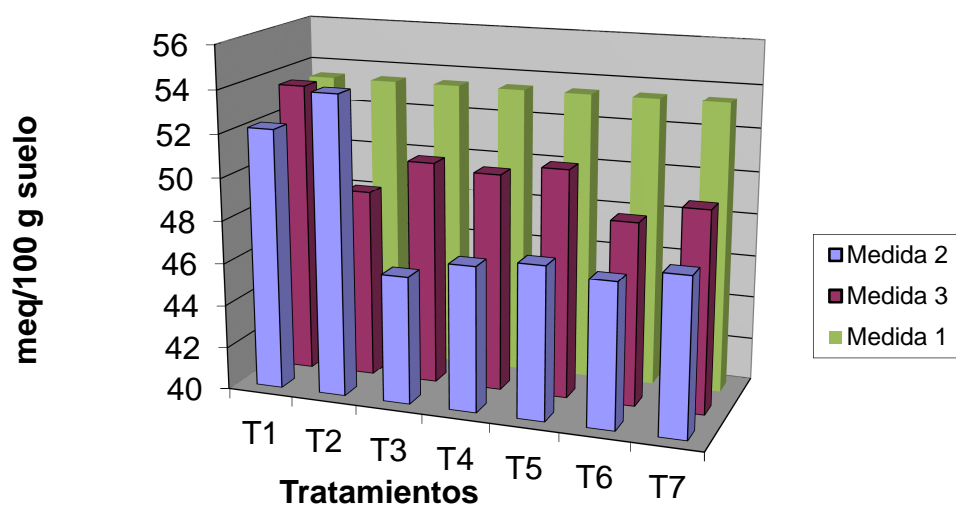


**Tabla 45. Prueba de Duncan para Aluminio intercambiable en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	1	3	0,000											
1	2	3	0,000											
1	3	3	0,000											
1	4	3	0,000											
1	5	3	0,000											
1	6	3	0,000											
1	7	3	0,000											
2	1	3	0,000											
3	1	3	0,000											
2	7	3		0,191										
3	4	3			0,249									
3	5	3			0,256	0,256								
3	7	3			0,258	0,258								
2	4	3			0,262	0,262								
2	6	3				0,267								
2	3	3					0,297							
2	5	3						0,322						
3	6	3						0,333	0,333					
3	2	3							0,344	0,344				
3	3	3								0,351				
2	2	3											0,603	
Sig.			1	1	0,147	0,216	1	0,19	0,148	0,446	1			

### 5.9.7 ACIDEZ TITULABLE

**Figura 27. Acidez titulable para las medidas**



La tendencia que muestra la figura 27, es la de un descenso en los valores de la acidez titulable en los suelos después de las cosechas (medidas 2 y 3).

El promedio de los tratamientos, en las medidas 2 y 3 (tabla 46), sufren una disminución significativa. Prueba de ello, es que se observa que la medida 3, se encuentra en el subconjunto alfa 2 y la medida 2 en el subconjunto alfa 1.

**Tabla 46. Prueba de Duncan para acidez titulable promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
2	21	48,5943		
3	21		50,2472	
1	21			53,4821
Sig.		1,000	1,000	1,000

**Tabla 47 Prueba de Duncan para acidez titulable en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05						
			1	2	3	4	5	6	
2	3	3	45,9778						
2	6	3	46,7221	46,7221					
2	4	3	46,7863	46,7863					
2	5	3	47,1400	47,1400	47,1400				
2	7	3	47,3474	47,3474	47,3474				
3	6	3	48,5315	48,5315	48,5315				
3	2	3	48,8337	48,8337	48,8337	48,8337			
3	7	3	49,3889	49,3889	49,3889	49,3889			
3	4	3		50,2001	50,2001	50,2001	50,2001		
3	3	3			50,4758	50,4758	50,4758	50,4758	50,4758
3	5	3			50,6827	50,6827	50,6827	50,6827	50,6827
2	1	3				52,1809	52,1809	52,1809	52,1809
1	1	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	2	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	3	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	4	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	5	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	6	3					53,4821	53,4821	53,4821
1	7	3					53,4821	53,4821	53,4821
3	1	3					53,6176	53,6176	53,6176
2	2	3							54,0054
Sig.			,064	,059	,054	,063	,071	,062	

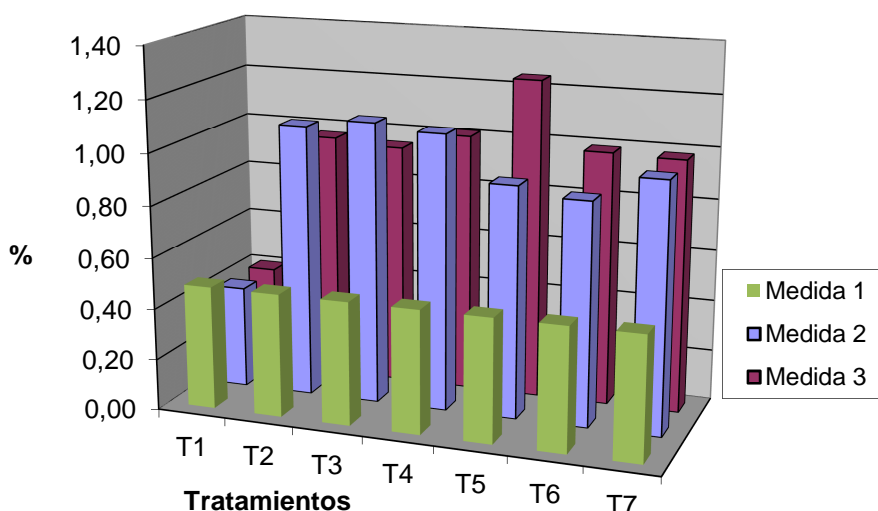
Los tratamientos T1 y T2 en las medidas 2 y 3, presentan los mayores valores de esta acidez (tabla 47). Se puede afirmar entonces, que en general los suelos del cultivo con proceso de fertilización, presentan un descenso en la acidez titulable, atribuible probablemente a la disminución de especies de Al no intercambiable e incremento de Al intercambiable.

### 5.9.8 NITRÓGENO

El Nitrógeno encontrado en el suelo antes de la siembra, se cataloga en un nivel alto para un suelo de altitud media y clima medio, además también cubrió el requerimiento del cultivo [46], por esta razón se pudo observar en el aspecto fitosanitario del cultivo del rábano, la poca diferencia del número de hojas en los cultivos de los tratamientos en las siembras 2 y 3.

Como lo muestra la figura 28, hay un aumento generalizado de nitrógeno en el suelo después del cultivo, con excepción del tratamiento testigo en estas medidas.

**Figura 28. Nitrógeno en las medidas**



Las mediciones 2 y 3, tabla 48, presentan un valor significativamente superior al de la medida 1, este incremento se debe a la fertilización que sufrieron los tratamientos en las medidas 2 y 3, indicando que el N aportado por los fertilizantes fue suficiente no solamente para cubrir la necesidad del cultivo, sino también para aportar N al suelo.

Los valores más bajos en los tratamientos para las medidas 2 y 3 los obtuvo los T1 (Tabla 49), y los valores más altos corresponden a los tratamientos T2, T3 y T4 de la siembra 2 y T5 para la siembra 3, Como no se notó un tratamiento común en los más altos valores, de las dos medidas anteriores, confirmando fue la fertilización la que aumentó los niveles de nitrógeno en el suelo.

**Tabla 48. Prueba de Duncan para Nitrógeno promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,4820	
2	21		,9119
3	21		,9356
Sig.		1,000	,696

Si se tiene en cuenta que la abundancia de este nutriente en los cultivos puede general retrasos en el proceso de fructificación [51], se atribuye a este hecho, el retraso en la fructificación del rábano hasta el día 47 del cultivo, ya que generalmente es de un periodo vegetativo de 28 días.

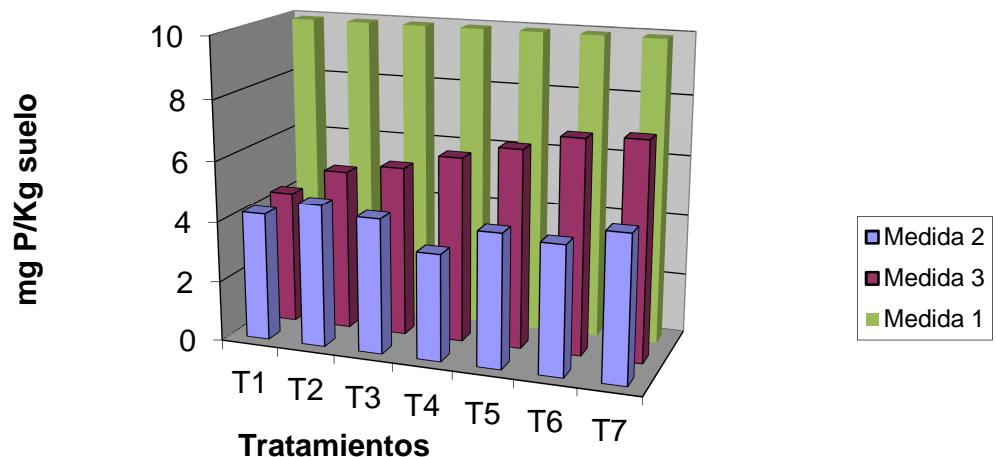
**Tabla 49. Prueba de Duncan para Nitrógeno en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
2	1	3	0,401								
3	1	3	0,404	0,404							
1	1	3		0,482							
1	2	3		0,482							
1	3	3		0,482							
1	4	3		0,482							
1	5	3		0,482							
1	6	3		0,482							
1	7	3		0,482							
2	6	3			0,870						
2	5	3			0,904	0,904					
3	3	3				0,948	0,948				
3	2	3				0,967	0,967				
2	7	3				0,970	0,970				
3	7	3					0,983				
3	6	3					0,989				
3	4	3					1,013	1,013			
2	2	3						1,066	1,066		
2	4	3						1,075	1,075		
2	3	3							1,099		
3	5	3									1,245
Sig.			0,912	0,054	0,322	0,081	0,098	0,086	0,364		1

### 5.9.9 FÓSFORO

Los resultados están gráficamente en la siguiente figura.

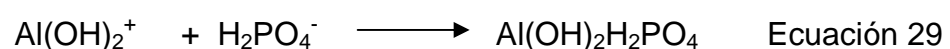
**Figura 29. Fosforo en las medidas**

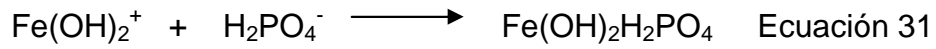


En la figura 29 se advierte que hay una disminución de la cantidad de fósforo en los suelos para las medidas 2 y 3, presentando en general un mayor descenso en los niveles de la medida 2; esto es confirmado por la prueba de Duncan (Tabla 51) donde se observa tres subconjunto alfa, en el cual el promedio de la medida 2 está en el subconjunto 1, siendo el de el valor significativamente más bajo.

Este comportamiento es atribuido principalmente a la extracción del cultivo; el mayor descenso en la medida 2 es coherente ya que hubo una producción mayor en esta medida, por lo tanto el cultivo requirió más de este nutriente, indicando que la cantidad de P agregada por parte de los fertilizantes no fue suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo, puesto que hubo necesidad de extraer mayor cantidad del suelo provocando así este descenso.

Otra posibilidad es que el descenso se atribuya a la disminución en el valor de pH e incremento en la acidez intercambiable que puede generar adsorción de P de acuerdo a las siguientes reacciones:





Cuando el pH disminuye, el fosfato se fija dando lugar a compuestos insolubles de fósforo con hierro y aluminio. La fijación es mayor a valores de pH menores a 5. Algunas reacciones de insolubilización del fosfato con cationes de hierro y aluminio se presentan en las reacciones 28 a 31 [46].

**Tabla 50. Prueba de Duncan para Fosforo en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05										
			1	2	3	4	5	6	7	8			
2	4	3	3,52										
2	6	3		4,24									
2	1	3		4,25									
2	5	3		4,40									
3	1	3		4,44									
2	3	3		4,47									
2	2	3		4,72									
2	7	3		4,79									
3	2	3			5,34								
3	3	3			5,64	5,64							
3	4	3				6,14	6,14						
3	5	3					6,57	6,57					
3	6	3						7,07	7,07				
3	7	3							7,18	7,18			
1	1	3											9,93
1	2	3											9,93
1	3	3											9,93
1	4	3											9,93
1	5	3											9,93
1	6	3											9,93
1	7	3											9,93
Sig.			1	0,076	0,266	0,066	0,108	0,066	0,693				1

**Tabla 51. Prueba de Duncan para Fosforo promedio en las medidas**

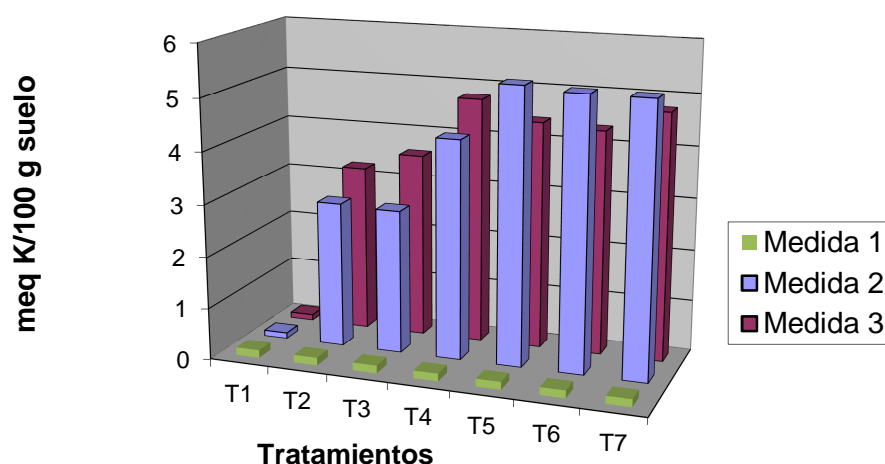
Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
2	21	4,3413		
3	21		6,0531	
1	21			9,9347
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 50, la prueba Duncan confirma que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $\text{sig} = 0,00$ ), Comparando los tratamientos dentro de las medidas, se puede afirmar que los más altos valores en común son para los tratamientos T6 y T7, y los más bajos los T1. Este comportamiento se debe al tipo de fertilización, donde los tratamientos T6 y T7 aportaron más fósforo gracias a que lo obtenían por parte de dos fuentes, del fertilizante edáfico y foliar.

### 5.9.10 POTASIO

Los resultados en los niveles de potasio se muestran en la siguiente figura

**Figura 30. Potasio para las medidas**



En la figura 30, se nota un gran incremento en el contenido de potasio en las medidas 2 y 3, pasando de un nivel bajo en la medida 1, a un nivel alto en las otras medidas, el único tratamiento que no presenta este incremento es el T1. La prueba de Duncan (tabla 52) confirma el incremento significativo donde se advierte que el promedio para las medidas 2 y 3 no se diferencian significativamente entre sí, y están en el subconjunto alfa No 2, el cual es significativamente superior.

**Tabla 52. Prueba de Duncan para Potasio promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,160467	
3	21		3,613610
2	21		3,678829
Sig.		1,000	,880

Teniendo en cuenta que la disminución en el valor de pH, podría inducir a pérdida de  $K^+$  por lixiviación [51], además que el cultivo extrae el necesario para su desarrollo, sus niveles aumentaron, debido principalmente a la fertilización y al posible intercambio de Ca por K, permitiendo su liberación a partir de la fase coloidal del suelo, y disminuyendo el nivel de Ca como se verá más adelante.

En la tabla 53 se nota que en común, en las medidas 1 y 2, los tratamientos con mayor cantidad de potasio fueron T5, T6 y T7, Como en casos anteriores estos tratamientos presentan los más altos valores significativos porque el suelo está captando este nutriente de dos fuentes distintas, edáfica y foliar.

Este resultado muestra el comportamiento similar de nuestro fertilizante al fertilizante comercial.

**Tabla 53. Prueba de Duncan para Potasio en los tratamientos**

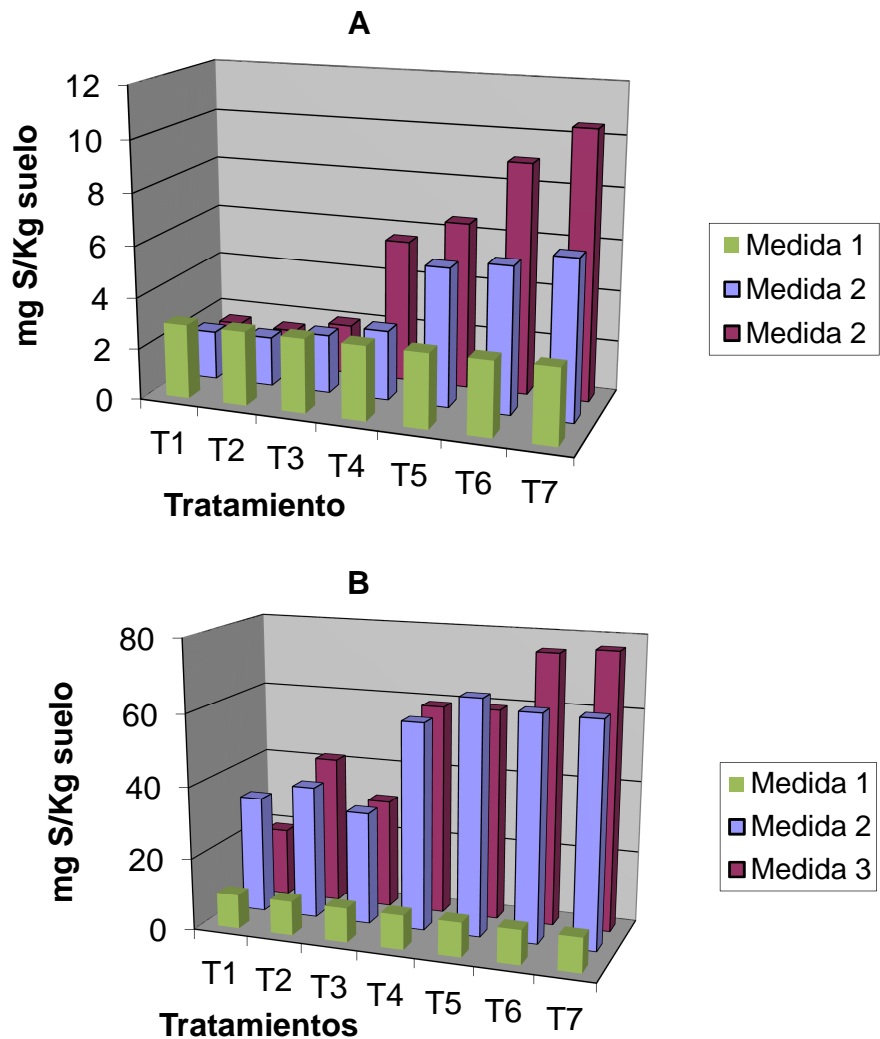
Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
3	1	3	0,11								
2	1	3	0,11								
1	1	3	0,16								
1	2	3	0,16								
1	3	3	0,16								
1	4	3	0,16								
1	5	3	0,16								
1	6	3	0,16								
1	7	3	0,16								
2	3	3		2,78							
2	2	3		2,82							
3	2	3			3,24						
3	3	3				3,51					
2	4	3					4,24				
3	6	3					4,35	4,35			
3	5	3						4,49			
3	7	3							4,79		
3	4	3							4,80		
2	7	3								5,24	
2	6	3								5,24	
2	5	3								5,32	
Sig.			0,652	0,707	1	1	0,227	0,157	0,909	0,383	



### 5.9.11 AZUFRE SOLUBLE Y DISPONIBLE

En la figura 31, se aprecia que en general para este nutriente, los niveles aumentan sustancialmente después de la cosecha (medidas 2 y 3) en todos los tratamientos con fertilización edáfica.

**Figura 31. Azufre Soluble (A) y Disponible (B) para las medidas**



Observando en la tabla 54, se indica que, los niveles de azufre tanto soluble (A) como disponible (B) en las medidas 2 y 3, efectivamente sufren un incremento significativo, sobrepasando el nivel crítico para Azufre disponible (10 ppm); y que dentro del promedio de estas dos medidas no hay diferencias significativas. Este incremento puede indicar que la cantidad de S aplicado superó ampliamente el requerimiento del cultivo.

**Tabla 54. Prueba de Duncan para Azufre Soluble (A) y Disponible (B), promedios en las medidas**

**A**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,160467	
3	21		3,613610
2	21		3,678829
Sig.		1,000	,880

**B**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	9,526133	
2	21		46,543443
3	21		50,259857
Sig.		1,000	,503

**Tabla 55. Prueba de Duncan para Azufre Soluble (A) y Disponible (B), en los tratamientos**

**A**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05							
			1	2	3	4	5	6	7	8
3	2	3	1,52							
3	1	3	1,57							
2	1	3		1,92						
2	2	3		1,95						
3	3	3		1,98						
2	3	3			2,31					
2	4	3				2,74				
1	1	3				2,91				
1	2	3				2,91				
1	3	3				2,91				
1	4	3				2,91				
1	5	3				2,91				
1	6	3				2,91				
1	7	3				2,91				
2	5	3						5,43		
3	4	3						5,61		
2	6	3						5,73		
2	7	3							6,25	
3	5	3							6,53	
3	6	3								9,00
3	7	3								10,47
Sig.			0,709	0,71	1	0,32	0,058	0,065	1	1

## B

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05										
			1	2	3	4	5	6	7	8			
3	1	3	9,20										
2	1	3	9,21										
1	1	3	9,53										
1	2	3	9,53										
1	3	3	9,53										
1	4	3	9,53										
1	5	3	9,53										
1	6	3	9,53										
1	7	3	9,53										
3	3	3		30,62									
2	3	3		31,42									
2	2	3			37,20								
3	2	3				41,47							
2	4	3					57,77						
3	4	3					58,95						
3	5	3					59,17						
2	7	3						62,21					
2	6	3						62,58	62,58				
2	5	3							65,42				
3	6	3										75,49	
3	7	3										76,91	
Sig.			0,845	0,576	1	1	0,355	0,792	0,051	0,321			

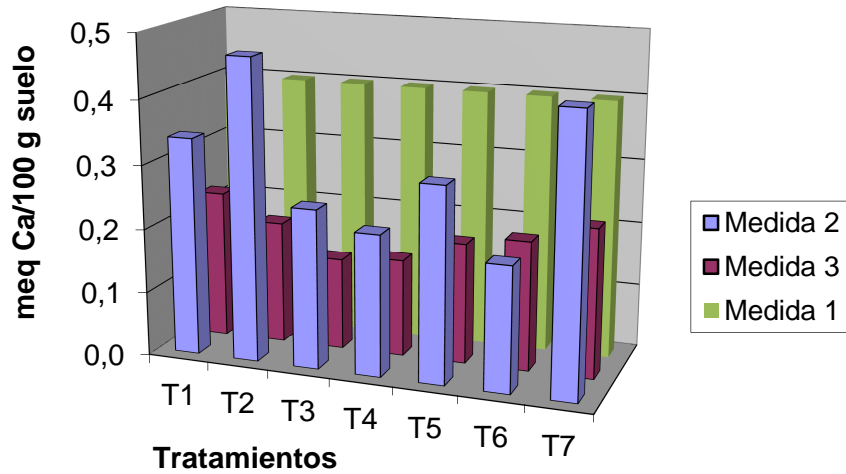
De acuerdo a la prueba Duncan (tabla 55 A y B) los tratamientos T6 y T7 de las medidas 1 y 2 presentan los mayores valores de este nutriente y los valores más bajos se encuentran en los tratamientos T1 y T2, confirmado lo expresado anteriormente, que la fertilización edáfica y foliar conjuntamente aportan más Azufre que la fertilización Foliar. Confirmando además, que el fertilizante foliar preparado es comparable al fertilizante foliar comercial.

### 5.9.12 CALCIO

Como se muestra en la figura 32, hay una disminución apreciable de la cantidad de Calcio en las medidas 2 y 3.

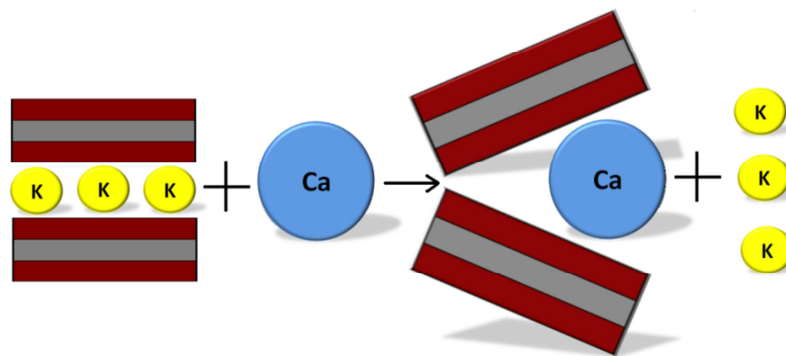
En la prueba de Duncan (Tabla 56) se muestra que efectivamente hay una disminución significativa en las medidas 2 y 3, siendo la medida 3 significativamente inferior a la medida 2 y esta a su vez significativamente inferior a la medida 1. Esta disminución se atribuye en primer lugar a la extracción por parte del cultivo, pero además debido a la disminución del pH, que puede presentar pérdidas de calcio por lixiviación.

**Figura 32. Calcio para las medidas**



Otra posibilidad es la expuesta anteriormente, donde se atribuye el descenso en los niveles de calcio en las medidas 2 y 3 al intercambio de este nutriente por K, existiendo antagonismo entre ellos. Este fenómeno se debe a que, el  $\text{Ca}^{2+}$  tiene un volumen mayor que el  $\text{K}^+$ , y cuando este se introduce dentro de los espacios interlaminares de las arcillas tipo 2:1 principalmente, las separa y libera el potasio como se muestra en la figura 33 [50].

**Figura 33. Antagonismo de Calcio y Potasio**



**Tabla 56. Prueba de Duncan para Calcio promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
3	21	,191686		
2	21		,314743	
1	21			,432400
Sig.		1,000	1,000	1,000

Los resultados de la comparación de los tratamientos dentro de las medidas, están consignados en la prueba Duncan (tabla 57), el tratamiento que obtuvo el valor significativamente más alto en las dos medidas fue T1, y el más bajo T6. Este comportamiento se explica también mediante el antagonismo de  $K^+$  y  $Ca^{+2}$ , prueba de esto, se observó cuando se evaluó los niveles de potasio en las medidas 2 y 3, donde el T6 presentó uno de los niveles más altos y el T1 estaba entre los más bajos, confirmando lo expresado anteriormente.

**Tabla 57. Prueba de Duncan para Calcio en los tratamientos**

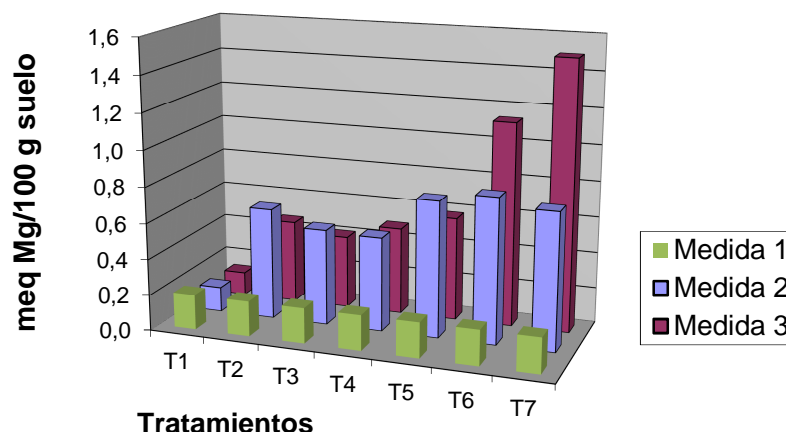
Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05				
			1	2	3	4	5
3	3	3	,1403				
3	4	3	,1529				
3	2	3	,1913	,1913			
3	5	3	,1917	,1917			
2	6	3	,1935	,1935			
3	6	3	,2024	,2024			
2	4	3		,2198			
3	1	3		,2300			
3	7	3		,2332			
2	3	3		,2478	,2478		
2	5	3			,3019	,3019	
2	1	3				,3436	
2	7	3					,4271
1	1	3					,4324
1	2	3					,4324
1	3	3					,4324
1	4	3					,4324
1	5	3					,4324
1	6	3					,4324
1	7	3					,4324
2	2	3					,4694
Sig.			,056	,090	,060	,144	,207

### 5.9.13 MAGNESIO

Se presenta en la figura 34, que en la mayoría de los tratamientos hay un incremento de Magnesio en las medidas 2 y 3. El único tratamiento que no presenta este incremento es el tratamiento testigo T1.

En la prueba Duncan (Tabla 58), es evidente que existen diferencias significativas entre los resultados de las medidas 1, 2 y 3, siendo significativamente superior en las medidas 2 y 3, entre las cuales no hay diferencias significativas. Por lo tanto se dice que hay un incremento significativo en el nivel de este nutriente, sin llegar al nivel óptimo (1.5 meq/100 g suelo).

**Figura 34. Magnesio para las medidas**



El aumento en los niveles de Mg es debido a la fertilización, superando con los tratamientos aplicados, el requerimiento de Mg por parte del cultivo. Otro factor que pudo contribuir al incremento del Mg es el antagonismo con Ca debido a una fuerte disminución en la relación Ca/Mg (Anexo 18) en las medidas 2 y 3 [51].

**Tabla 58. Prueba de Duncan para Magnesio promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	,197367	
2	21		,593224
3	21		,673386
Sig.		1,000	,375

Para el comportamiento de los tratamientos en las medidas, la prueba de Duncan (tabla 59), encontró que, los mayores valores significativos son para los tratamientos T5, T6 y T7, y que los valores más bajos son para los T1.

Los valores más altos pertenecen a los tratamientos con fertilización foliar y edáfica, aunque los niveles de este nutriente aumentaron, los valores siguen estando en un nivel bajo.

Los niveles más altos, en los tratamientos para este nutriente se debe a que están recibiendo cantidades de la fertilización foliar y la edáfica simultáneamente, mientras tanto, como en el caso de T1, solo pueden tomar este nutriente el suelo, o como los T2, T3 y T4 lo toman solamente de una fuente, ya sea foliar o edáfica.

**Tabla 59. Prueba de Duncan para Magnesio en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
3	1	3	0,130												
2	1	3	0,143												
1	1	3		0,197											
1	2	3		0,197											
1	3	3		0,197											
1	4	3		0,197											
1	5	3		0,197											
1	6	3		0,197											
1	7	3		0,197											
3	3	3			0,399										
3	2	3				0,462									
3	4	3				0,491	0,491								
2	4	3					0,525								
2	3	3					0,535								
3	5	3						0,589							
2	2	3						0,621							
2	5	3							0,758						
2	7	3							0,762						
2	6	3								0,808					
3	6	3									1,136				
3	7	3										1,506			
	Sig.		0,548	1	1	0,193	0,066	0,152	0,863	1	1	1			

El incremento en Mg y K produce un fuerte descenso en la relación Ca+Mg/K, (Anexo 18) acentuando aún más la deficiencia de Ca y Mg en estos suelos después del cultivo.

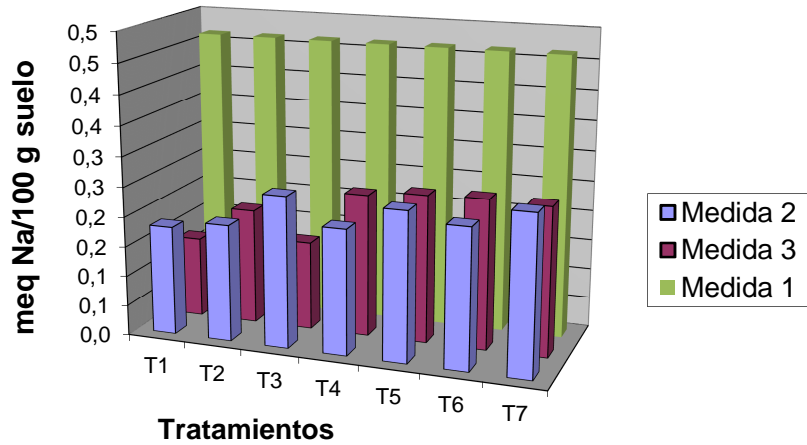
#### 5.9.14 SODIO

En la figura 35 se aprecia una disminución de la cantidad de sodio en los tratamientos para las medidas 2 y 3, comparadas con la medida 1.

El descenso en los niveles de sodio para los suelos de las medidas 2 y 3, es confirmado en la prueba de Duncan (tabla 61), esta prueba muestra que hay una disminución significativa en estas medidas comparada con la medida 1, y que entre las medidas 2 y 3, no hay diferencias significativas ya que se encuentran en el mismo subconjunto alfa.

Este comportamiento se atribuye a la absorción del cultivo o al descenso significativo del pH que produce pérdida de esta base por lavado. El nivel en el que permanece es adecuado.

**Figura 35. Sodio para las medidas**



La prueba Duncan (tabla 60), muestra en general que existen diferencias significativas entre los tratamientos para las medidas 2 y 3 (4 subconjunto alfa), y donde en común los tratamientos T4, T5, T6 y T7 y de estas medidas, son los que mayor cantidad significativa de sodio presentan.

**Tabla 60. Prueba de Duncan para Sodio en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05			
			1	2	3	4
3	1	3	,1343			
3	3	3	,1449	,1449		
2	1	3	,1818	,1818	,1818	
3	2	3	,1932	,1932	,1932	
2	2	3	,1948	,1948	,1948	
2	4	3	,2085	,2085	,2085	
2	6	3		,2322	,2322	
3	4	3		,2397	,2397	
2	5	3			,2480	
3	7	3			,2488	
3	6	3			,2508	
3	5	3			,2515	
2	3	3			,2524	
2	7	3			,2640	
1	1	3				,4156
1	2	3				,4156
1	3	3				,4156
1	4	3				,4156
1	5	3				,4156
1	6	3				,4156
1	7	3				,4156
Sig.			,122	,051	,103	1,000



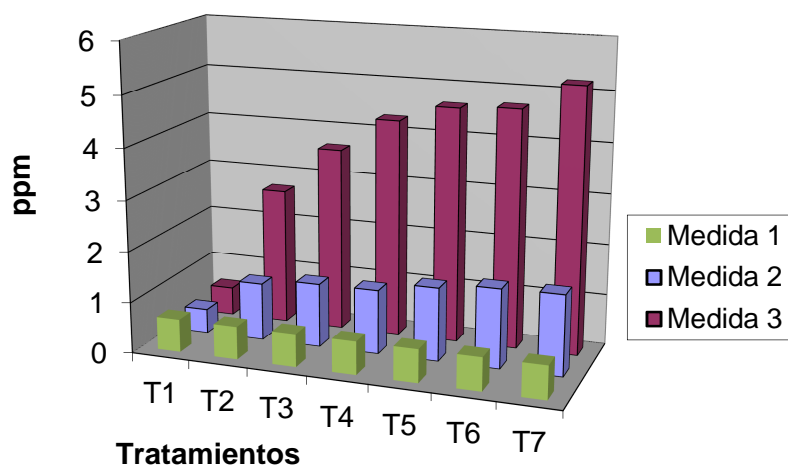
**Tabla 61. Prueba de Duncan para Sodio promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
3	21	,209019	
2	21	,225967	
1	21		,415633
Sig.		,311	1,000

### 5.9.15 COBRE

Se nota en la figura 36 un incremento general, en el nivel de cobre en los tratamientos para las medidas 2 y 3, solo en los T1 se apreció una disminución.

**Figura 36. Cobre para las medidas**



**Tabla 62. Prueba de Duncan para Cobre promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
1	21	,652167		
2	21		1,236481	
3	21			3,669829
Sig.		1,000	1,000	1,000

Un incremento significativo en los valores promedios de las medidas 2 y 3, se evidenció en la prueba de Duncan (tabla 62) donde estas se encuentran en los subconjuntos alfa 2 y 3, siendo la medida 3 significativamente superior a las demás y la única que sobrepasa el nivel crítico (2 ppm) para este microelemento.

El suministro de cobre mediante los procesos de fertilización que se aplicaron en las medidas 2 y 3, son los responsables del incremento que se nota en este análisis, la diferencia entre las cantidades en las medidas 2 y 3 se debe al descenso significativo que tuvo el valor de pH para la medida 3 (4,91), debido a que este elemento disminuye su solubilidad al incrementarse el pH [50].

Los diferentes tratamientos en las medidas, a excepción de la medida 1, aumentan progresivamente desde T1 hasta T7, en la prueba de Duncan (Tabla 63) se aprecia que, los tratamientos T5, T6 y T7 presentan valores significativamente superiores, mientras que el T1 contiene el menor valor.

Los tratamientos testigos T1, al no tener fuentes externas que repongan el cobre extraído por el cultivo, es inevitable que su nivel baje como se observa en este análisis. Nuevamente, los tratamientos que simultáneamente recibieron fertilización edáfica y foliar, obtuvieron los niveles más altos, confirmando que la fertilización foliar es complementaria a la edáfica, también el buen comportamiento del fertilizante fabricado en comparación al fertilizante comercial.

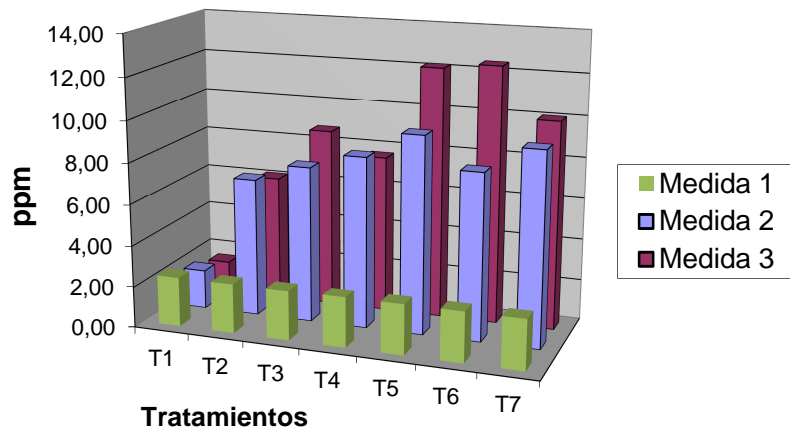
**Tabla 63. Prueba de Duncan para Cobre en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
2	1	3	,4713											
3	1	3	,5538	,5538										
1	1	3		,6522										
1	2	3		,6522										
1	3	3		,6522										
1	4	3		,6522										
1	5	3		,6522										
1	6	3		,6522										
1	7	3		,6522										
2	2	3			1,1219									
2	3	3			1,2449									
2	4	3			1,2556									
2	5	3				1,4347								
2	6	3				1,5497								
2	7	3				1,5772								
3	2	3					2,6883							
3	3	3						3,6267						
3	4	3							4,2999					
3	5	3								4,6275				
3	6	3									4,6865			
3	7	3										5,2061		
	Sig.		,285	,277	,104	,083	1,000	1,000	1,000	1,000	,443	1,000		

### 5.9.16 HIERRO

Como lo muestra la figura 37, el suelo exhibió un incremento en los niveles de hierro en la mayoría de los tratamientos dentro de las medidas 2 y 3, este comportamiento no lo tiene el tratamiento T1, que contrario a la tendencia de los demás tratamientos, presenta un descenso de los niveles de hierro en el suelo.

**Figura 37. Hierro para las medidas**



En la tabla 64 se percibe que efectivamente hay una diferencia significativa entre los niveles de hierro antes y después de las siembras, ya que el nivel de este microelemento para la medida 1 es significativamente menor a las medidas 2 y 3, entre las cuales no existe diferencia significativa.

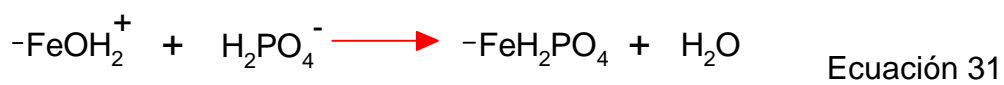
El  $Fe^{2+}$  presenta dificultad de movilidad en suelo (tabla 2), por lo tanto es más difícil su extracción por el cultivo, este hecho ligado al descenso del pH, posiblemente son los que producen el incremento significativo, ya que la fertilización aporta este elemento, a mayor velocidad de la que el cultivo lo puede captar, produciendo su acumulación.

**Tabla 64. Prueba de Duncan para Hierro promedio en las medidas**

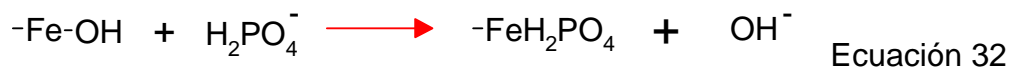
Medida	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1	21	2,426600	
2	21		7,354529
3	21		8,376586
Sig.		1,000	,194

Un incremento de hierro que va desde T1 hasta T7 en las medidas 2 y 3, donde los valores más altos pertenecen en común a los tratamientos T5, T6 y T7, se hizo evidente en la prueba de Duncan (Tabla 65); Se podría explicar el incremento en estos últimos tratamientos por el antagonismo P-Fe ya que en estos disminuye el nivel de P. Este antagonismo se explica mediante el proceso de sorción de fosfatos por óxidos de hierro, que puede ocurrir de varias maneras, como se demuestra a continuación:

a. Sorción química de fosfatos en las superficies protonadas  $\text{OH}_2^+$

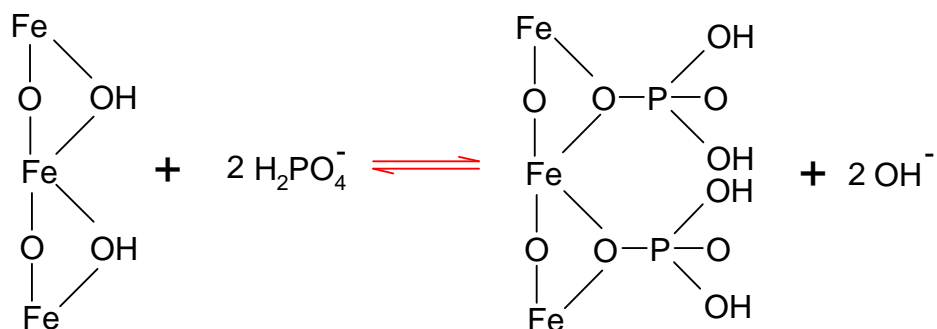


b. Sorción química mediante sustitución de grupos OH de la superficie:



Estructuralmente, la adsorción de fósforo sobre un mineral de óxido de hierro, puede representarse como se muestra en la figura 35.

**Figura 38. Reacción de adsorción de fósforo sobre minerales de hierro**



A pesar de este incremento significativo, los niveles de hierro permanecen por debajo de los niveles críticos para suelos (25-35 ppm), indicando que el nivel aportado por los fertilizantes fue suficiente para cubrir el requerimiento del cultivo, pero no para llevar el suelo a un nivel óptimo.

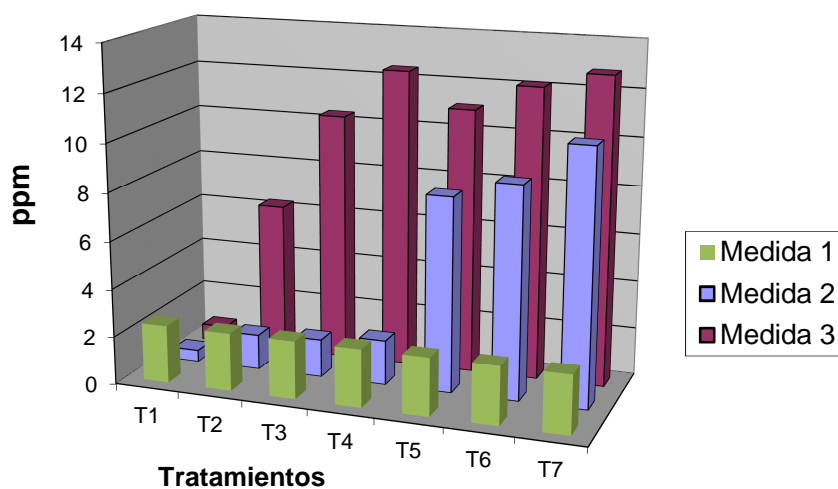
**Tabla 65. Prueba de Duncan para Hierro en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
3	1	3	1,53														
2	1	3	1,92	1,92													
1	1	3		2,43													
1	2	3		2,43													
1	3	3		2,43													
1	4	3		2,43													
1	5	3		2,43													
1	6	3		2,43													
1	7	3		2,43													
3	2	3			6,12												
2	2	3				6,73											
2	3	3					7,57										
3	4	3					7,64	7,64									
2	6	3						8,07	8,07								
2	4	3							8,30	8,30							
3	3	3								8,72							
2	7	3									9,33						
2	5	3									9,56						
3	7	3										10,05					
3	5	3															12,16
3	6	3															12,43
Sig.			0,083	0,057	1	1	0,746	0,059	0,308	0,07	0,325	1	0,239				

### 5.9.17 MANGANESO

Analizando los niveles de manganeso, en la mayoría de los tratamientos de las medidas 2 y 3 (figura 39), se resalta un incremento significativo sin llegar a un nivel óptimo.

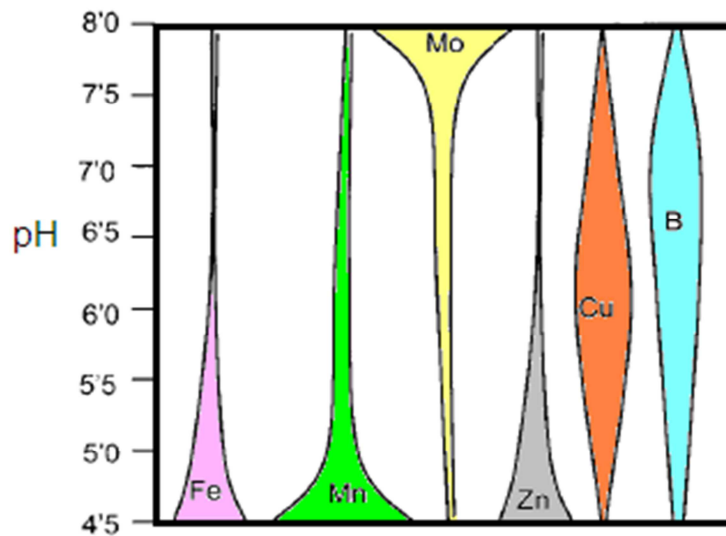
**Figura 39. Manganeso para las medidas**



La tabla 66 muestra una diferencia significativa entre los niveles promedios de las medidas 1, 2 y 3; siendo la medida 3 significativamente superior. Este aumento en el nivel de Mn, se debe al aporte de los fertilizantes, pero sobretodo al descenso del pH sufrido en promedio de esta medida.

El pH como se observa es un factor importante en la variación de los microelementos en el suelo, en la figura 40 se observa la relación que tiene este factor con la disponibilidad de Cu, Fe, Mn y Zn para la planta.

**Figura 40. Disponibilidad de micronutrientes en función del pH**



**Tabla 66. Prueba de Duncan para Manganeso promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
1	21	2,416367		
2	21		4,697529	
3	21			9,386424
Sig.		1,000	1,000	1,000

El comportamiento en general de los tratamientos en las medidas 2 y 3 es de incremento, (Tabla 67) que va desde T1 hasta T7, En común los tratamientos 6 y 7 son los de mayor contenido de manganeso en estas medidas. El calcio compite con el manganeso por la absorción, como lo demuestra un estudio realizado en un suelo de Hawái [51], y como se mostró anteriormente el Ca en estas medidas disminuyó, generando así incremento en el nivel de Mn [50].

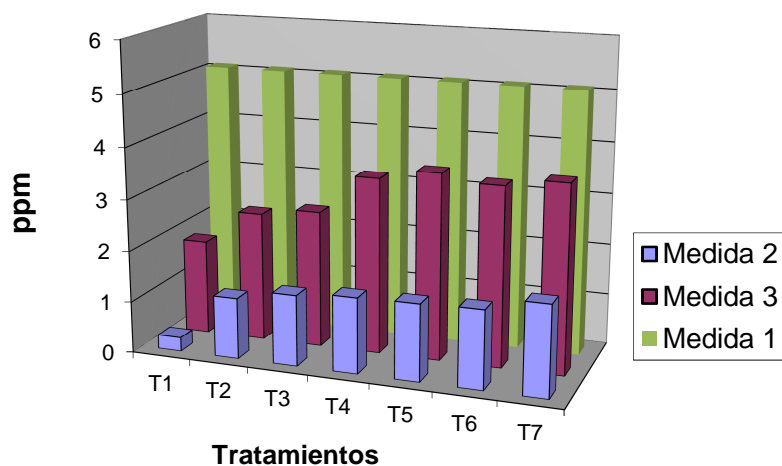
**Tabla 67. Prueba de Duncan para Manganeso en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
2	1	3	0,48																	
3	1	3	0,67																	
2	2	3		1,47																
2	3	3		1,59																
2	4	3		1,87																
1	1	3			2,42															
1	2	3			2,42															
1	3	3			2,42															
1	4	3			2,42															
1	5	3			2,42															
1	6	3			2,42															
1	7	3			2,42															
3	2	3				6,29														
2	5	3					8,09													
2	6	3						8,82												
3	3	3							10,36											
2	7	3							10,55											
3	5	3								11,01										
3	6	3									12,14									
3	4	3									12,45	12,45								
3	7	3										12,78								
Sig.			0,364	0,063	1	1	1	1	0,339	1	0,129	0,098								

### 5.9.19 ZINC

En la figura 41 se aprecia un descenso en los niveles de Zinc después de las siembras, siendo mayor el nivel promedio de la medida 1.

**Figura 41. Zinc para las medidas**



**Tabla 68. Prueba de Duncan para Zinc promedio en las medidas**

Medida	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
2	21	1,298529		
3	21		3,033600	
1	21			5,090500
Sig.		1,000	1,000	1,000

La Prueba de Duncan (Tabla 68) indica una disminución significativa de los valores de Zinc en los promedios de las medidas 2 y 3, siendo más fuerte esta disminución en la media 2. El descenso en el pH, produce disminución del contenido de P precipitándolo posiblemente como fosfato de Zn y de esta manera se disminuye también el nivel de Zn. Por otra parte, cantidades elevadas de compuestos nitrogenados pueden provocar deficiencias de Zinc a causa del diferente ritmo de absorción de las plantas en los dos elementos.

**Tabla 69. Prueba de Duncan para Zinc en los tratamientos**

Medida	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05							
			1	2	3	4	5	6	7	
2	1	3	0,27							
2	2	3		1,19						
2	3	3		1,38	1,38					
2	4	3			1,47					
2	5	3			1,49					
2	6	3			1,52					
2	7	3				1,76				
3	1	3				1,85				
3	2	3					2,52			
3	3	3					2,66			
3	4	3							3,43	
3	6	3							3,49	
3	5	3							3,63	
3	7	3							3,65	
1	1	3								5,09
1	2	3								5,09
1	3	3								5,09
1	4	3								5,09
1	5	3								5,09
1	6	3								5,09
1	7	3								5,09
	Sig.		1	0,103	0,274	0,474	0,215	0,097		1



La prueba de Duncan (Tabla 69) muestra que En las medidas 2 y 3 los tratamientos que presentan los niveles más altos de Cinc corresponden a T4, T5, T6 y T7; A pesar del descenso en el contenido de este microelemento, sigue estando sobre el nivel crítico.

En resultados generales, cuando el factor de agrupación es la **medida**, se notó una disminución en los valores de: pH, Humedad higroscópica, CIC, Acidez Titulable, Fosforo, Calcio, Sodio y Zinc. Por otra parte un aumento significativo en: Aluminio y acidez Intercambiable, Nitrógeno, Potasio, Azufre Soluble, Azufre Disponible, Magnesio, Cobre, Hierro y Manganeseo.

El único parámetro que permaneció constante fue la materia orgánica. Estos resultados permiten afirmar que los fertilizantes empleados produjeron cambios significativos en la reacción del suelo y en el nivel de fertilidad.

Teniendo en cuenta el factor de agrupación **tratamiento**, en la evaluación de los suelos después de los cultivos, se afirma que en la mayoría de los nutrientes, el tratamiento T1 sufre una disminución significativa, esto se debe a que, en el tratamiento testigo el cultivo solamente puede obtener los nutrientes aportados por el suelo, tomándolos y dejando una deficiencia de ellos en suelo. Se observo que los tratamientos con fertilización edáfica mas foliar T5, T6 y T7, en la mayoría de los parámetros evaluados producen los mejores resultados, este comportamiento ratifica que la fertilización foliar es un complemento y no un sustituto de la fertilización edáfica. En varios resultados nuestro fertilizante foliar se comporto a la par del fertilizante comercial, mostrando un excelente desempeño en el cultivo.

## **5.10 CORRELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE FERTILIDAD DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO**

Para ello se tendrán en cuenta el análisis estadístico mediante correlaciones bivariadas de Pearson, consignadas en las tablas 70 y 71 para las medidas 1 y 2 respectivamente.

La producción del rábano en las medidas 2 y 3, tienen una correlación altamente significativa y positiva con el tratamiento, acidez intercambiable, Potasio, Azufre disponible, Magnesio, Sodio, Cobre, Hierro, Manganeseo, Cinc, y  $\Sigma$ NPK. Esta correlación indica que cuando aumentaron la mayoría de los nutrientes aumentó la producción, debido a que cada nutriente como veremos a continuación [52], tiene funciones dentro del metabolismo de las plantas. En el caso del N las grandes funciones en la planta hay que considerarlas sobre la base de su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo. Además de formar parte de la estructura de todas las proteínas y de moléculas tan importantes como las purinas y las pirimidinas, es componente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), básicos para la síntesis proteica. El nitrógeno se

encuentra también como constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos (núcleo porfirínico). Indispensables para la fotosíntesis y respiración; en varias coenzimas, como fosfato de piridoxal (transaminación aminoacídica) y los nicotinamida-adenin-dinucleótidos (NAD y NADP). Muchos fosfátidos, alcaloides, glucósidos, etc. son compuestos abundantes de nitrógeno e importantes en la planta y su cosecha.

En el caso del fósforo, los fosfolípidos forman parte fundamental de la estructura del protoplasma, pero además de formar parte de los elementos plásticos de la planta, el P se encuentran también en ella como constituyentes de numerosas coenzimas como: NAD, NADP, FAD, CoASH, LIPS<sub>2</sub>, UDP, TPP y PAL . De los compuestos anteriormente nombrados el AMP, ADP y ATP son los compuestos fosforilados encargados del almacenamiento y transporte de energía necesaria para procesos vitales en la plantas como lo son la síntesis de glúcidos, síntesis de lípidos, síntesis de Clorofila, compuestos carotenoides y glucolisis.

El potasio debido a su gran movilidad, actúa en la planta, básicamente, como neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo, y asegura así la constancia de la concentración en H<sup>+</sup> de los líquidos celulares. También desempeña una importante función en la fotosíntesis y es activador enzimático en los procesos de síntesis de glúcidos, metabolismo de Nitrógeno, glucolisis y metabolismo de ácidos grasos, constituyéndose en el principal elemento fundamental para la fructificación.

El azufre además de estar involucrado en la biosíntesis de lípidos, clorofilas, carotenos y ácidos orgánicos, también es importante en dos procesos esenciales en el metabolismo de las plantas, la biosíntesis de aminoácidos sulfurados (cisteína, cistina y metionina) y la formación de acetilcoenzima A.

La función más importante del Mg en las plantas es formar parte de la molécula de clorofila, por lo tanto, está involucrado activamente en el proceso de fotosíntesis. Sin embargo, en este rol está implicado sólo entre el 15 al 20 % del Mg total de las hojas. Tiene importantes acciones enzimáticas, en especial en relación con el proceso de fijación del CO<sub>2</sub>; el magnesio activa específicamente a la enzima Rubisco, aumentando la afinidad de la misma para incorporar el CO<sub>2</sub>. De allí el efecto positivo de Mg en la asimilación del CO<sub>2</sub> y procesos asociados como producción de azúcares y almidón. Además, participa en una serie de procesos vitales para las plantas que requieren de energía, como la fotosíntesis, respiración, síntesis de macromoléculas como carbohidratos, proteínas y lípidos.

El hierro interviene en procesos fisiológicos importantes como, la fotosíntesis, mediante su participación en complejos proteicos con Fe-S y en aceptores de electrones tipo ferredoxina, así como en transportadores de electrones como los citocromos. En la fosforilación, durante el acoplamiento entre el flujo de

electrones en la fotosíntesis y síntesis de ATP. En la fosforilación oxidativa. El hierro también es un componente integral de la ferredoxina la cual participa en la reducción de nitratos y por último participa en el sistema enzimático encargado de la síntesis de la clorofila, mediante la regulación de la síntesis del ácido delta aminolevulinico, precursor de las porfirinas.

El Cobre participa en la fotosíntesis mediante su unión a la proteína plastocianina, esta es una proteína del cloroplasto que participa en el transporte de electrones entre el fotosistema II y I. También en la fosforilación oxidativa ya que la citocromooxidasa contiene cobre, este se reduce y pasa sus electrones al O<sub>2</sub>. Por último hace parte del complejo enzimático de la fenolasa que oxida fenoles y se relaciona con la síntesis de lignina, puesto que forma alguno de sus precursores.

El manganeso participa en la fotosíntesis durante la fase inicial de la fotólisis del agua. En esta reacción en donde se descompone el agua se requiere al menos 4 átomos de Mn por centro de reacción, el Mn se compleja con la proteína que transporta electrones desde el agua hasta el fotosistema II. En la enzima superóxido dismutasa (SOD-Mn) que tiene como propósito destruir los peligrosos y reactivos superóxidos muy tóxicos para las membranas celulares el Mn hace también presencia.

Por último el Zinc se requiere para la actividad de al menos 80 sistemas enzimáticos, normalmente formado parte de la estructura de enzimas. Ejemplos: NADH deshidrogenasa, alcohol deshidrogenasa, anhidrasa carbonica, aldolasas, peptidasas, en estos sistemas el Zn puede actuar como metal componente de enzima o como cofactor funcional estructural o regulador. Durante su actividad metabólica en la planta el Zn permanece funcionando como Zn<sup>2+</sup> y no cambia su número de oxidación.

Ya mencionadas la mayoría de las funciones de los nutrientes en las plantas, es comprensible las correlaciones que se evidencian entre el cultivo y estos elementos.

La correlación que presenta la producción con los tratamientos está de acuerdo con los análisis anteriores, donde la producción más baja se obtuvo con los tratamientos T0, T1, T2 y T3 y la mayor producción se obtuvo con T5, T6 y T7, confirmando que a medida que aumenta el número del tratamiento se incrementa la producción del rábano, siendo por lo tanto los últimos tratamientos, los más óptimos para dicha producción, permitiendo ratificar que la fertilización foliar suple deficiencias que la fertilización edáfica no puede alcanzar y por tanto mostrando la importancia de los fertilizantes foliares en el cultivo. El tratamiento está correlacionado positiva y altamente significativa con la mayoría de los nutrientes a excepción del calcio, esto es comprensible ya que cuando se aumenta el número del tratamiento en la fertilizaciones, crece el número de nutrientes que incorporamos al suelo.

La humedad higroscópica presenta en general una correlación significativa y negativa con los nutrientes y micronutrientes; cuando la humedad disminuye afecta el intercambio iónico del suelo hacia el cultivo, produciendo una deficiencia en la absorción por parte de las plantas.

En el pH de la medida 2 se aprecia una correlación altamente significativa y positiva con los nutrientes y micronutrientes, Los vegetales sólo pueden absorber a los minerales disueltos, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales, por esta razón se presenta esta correlación.

La capacidad de intercambio catiónico como lo muestra las tablas 69 y 70, pose en la mayoría de los elementos una correlación altamente significativa y positiva, En suelos que presentan una CIC alta, como el suelo estudiado, presentan una mayor capacidad para almacenar y suministrar nutrientes al cultivo, mastranto esta correlación ya que si aumenta la CIC va ser mayor los elementos y microelemntos que el cultivo pueda extraer del suelo.

Cuando los nutrientes en el suelo sufren un incremento, estos elementos hidrolizados aumenta el valor de la acidez titulable, puesto que el aumento en el número de cargas positivas produce un menor pH aumentando la acidez. Este comportamiento conlleva a que la acidez intercambiable presente una correlación altamente significativa y positiva con los nutrientes.

La valores de la acidez titulable presenta un descenso cuando el numero de cationes aumenta, ya que estos remplazan a los  $H^+$  adsorbidos en la fase coloidal, la correlación significativa y negativa que en su mayoría presenta la acidez titulable con la mayoría de nutrientes y micronutrientes confirman lo expresado anteriormente.

## 6. CONCLUSIONES

- El proceso de calcinación de la gallinaza aumenta el contenido de fosforo soluble en los extractos, demostrando ser la mejor opción en la extracción de la gallinaza para la obtención del fertilizante foliar, con una relación optima de 20 g en 250 mL de acido cítrico 2000 ppm.
- De los diferentes métodos probados en la estabilización del fertilizante foliar, el más apropiado fue el acido Benzoico en concentración de 500 ppm, puesto que permitió la estabilización del pH durante el tiempo del ensayo.
- El Fosforo y el Magnesio presentan el mayor contenido dentro del fertilizante foliar estabilizado, esto es de mucha importancia ya que el P participa en muchas fases del metabolismo celular y esencial para la transformación de energía en procesos catabólicos y anabólicos, por su parte el Mg está presente en la composición de pigmentos verdes, utilización de la energía solar y la síntesis de constituyentes orgánicos indispensables en la vida vegetal y animal.
- Los tratamientos con fertilización edáfica mas foliar (T5, T6 y T7) presentan los mejores resultados en el crecimiento y biomasa del cultivo del rábano en las medidas 2 y 3; En la evaluación del número de hojas, como resultado del alto nivel de nitrógeno en el suelo, no se pudo comprobar la diferencias comunes en las dos medidas.
- La producción del cultivo en la medida 2 es significativamente mayor que en la medida 3, esta diferencia es debida probablemente a un ataque de pulgones durante el cultivo en la medida 3, afectando así su cosecha. Los tratamientos T5, T6 y T7 obtienen el mayor peso de los rábanos en la cosecha, demostrando que el comportamiento del fertilizante foliar preparado no se diferencia significativamente del comercial.
- El suelo antes del cultivo presenta deficiencias en los niveles de P, Ca, Mg, Fe, Cu, y Mn producidas por el pH, y altos niveles de MO, La Humedad, CIC, N y Zn también presentan niveles altos. Teniendo en cuenta lo anterior y en el requerimiento del cultivo se desarrollo el programa de fertilización.
- El contenido de P, Ca, Na y Zn en el suelo, disminuyeron significativamente después de las cosechas (Medidas 2 y 3) principalmente por de la disminución del pH y extracción del cultivo.

- La fertilización logro incrementar significativamente los niveles N, K, S, Mg, Cu, Fe y Mn en el suelo después del cultivo, siendo los tratamientos de mayor aporte los correspondientes a la mezcla de fertilización foliar y edáfica (T5, T6 y T7).
- Entre la medida 2 y 3, se presenta una diferencia significativa del comportamiento en el suelo de la CIC, acidez titulable, P, Ca, Cu, Mn y Zn, esta diferencia indica que el tiempo en el que se siembra el cultivo repercute en el desarrollo del cultivo, pero atribuible a la variable introducida por el ataque del pulgón
- A partir de la gallinaza fresca se puede obtener un fertilizante foliar que a excepción del N, es fuente de nutrientes útiles para suplir necesidades de fertilización de cultivos, como el rábano y cuyo comportamiento es igual al de fertilizantes comerciales. Siendo una alternativa de fertilización en condiciones que no generarían contaminación al suelo y otra forma de aprovechar un desecho agropecuario.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. OSCAR FERNEY LUCERO. Incremento en la disponibilidad de fosforo y obtencion de un fertilizante liquido a partir de gallinazas. Tesis, Universidad del Cauca, 2010.
2. PAREJA, M. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. Revista lasallista de investigación Medellín. 2005; p.43-48.
3. CASTELLÓ. La gallinaza. En: Selecciones Avícolas. España. 2000. p. 5-35.
4. PEÑA F. La gallinaza y su utilización en ganado de carne. En: Revista Nacional de Zootecnia. 1996; p.111- 14.
5. WYATT CJ, TRIANA- Tejas A. Soluble and insoluble Fe, Zn. Ca and phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. J Agric Food Chem 1994; 42: 2204-209.
6. PETERSON DF, HARRIS DJ, Rayner CJ, Blakeney AB, Choct M. Methods for the analysis of premium livestock grains. Australian J Agric Res 1999; 50: 775-87.
7. FAUBA. ZHOU JR, ERDMAN JW Jr. Phytic acid in health and disease. C.R.C. Crit Rev Food Sci Nutr 1995; 35, 495-508.
8. WALSH GA. POWER RF, Headon DR. Enzymes in the animal- feed industry. Trends Food Sci Technol 1994; 5: 81-87.
9. SUGIURA S H, RABOY V. Young KA, Dong FM, Hardy RW. Availability of phosphorus and trace-elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*.l). Aquaculture 1999; 170: 285-96.
10. Conti, M. 1998. Principios de Edafología. 1era Edición.
11. SNIDER M. LIEBMAN M. Calcium additives and sprouted wheat effects on phytate hydrolysis in whole wheat bread. J Food Sci 1992; 57 118-20.
12. HARLAND BF, OBERLEAS D. Phytate in foods. Wld Rev Nutr Diet 1987; 52: 235-59.
13. KHAN N. ZAMAN R. ELAHI M. Effect of processing on the phytic acid content of bengal grams (*Cicer arietinum*) products. J Agric Food Chem 1988; 36: 1274-276.

14. SZKUDELSKI T. Phytic acid-its influence on organism. J Anim Feed Sci 1997; 427-438.
15. ANDERSON. RJ. Contribution to the chemistry of phytin. J Biol Chem 1914; pag. 17- 171.
16. KNUCKLES BE, KUZMICKY DD, GUMBMAN MR, Betschart AA. Effect of myoinositol phosphate esters and *in vivo* digestibility of proteins. J Food Sci 1989; 54: 1348-50.
17. HARLAND BF, Oberleas D. Anion exchange method for determination of phytate in foods: a collaborative study. J AOAC 1986; 69: 667- 70.
18. THOMPSON LV. Reduction of phytic acid concentration in protein isolates by acylation techniques. J AOCS 1987; 64: 1712-717.
19. WANG J. Improvement of citric-acid production by *Aspergillus niger* with addition of phytate to beet molasses. Bioresource Technol 1998; 65: 243-45.
20. CHERYAN M. Phytic acid interactions in food systems. C.R.C. Crit Rev Food Sci Nutr 1980; 13: 297-35.
21. YOSHIDA KT, WADA T, KOYAMA H, MIZOBUCHIFUKUOKA R. NAITO S. Temporal and spatial patterns of accumulation of the transcript of myo-inositol-l-phosphate synthase and phytin- containing particles during seed development in rice. Plant Physiol 1999; 119: 65-72.
22. WANG CF, TSAY SM, LEE CY, LIU SM, ARAS NK. Phytate content in taiwanese diet determined by <sup>31</sup>p Fourier Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. J Agric Food Chem 1992; 40: 1030-33.
23. NOLAN KB, DUFFIN PA, MCWEENY D.J. Effects of phytate on mineral bioavailability. *In vitro* studies on Mg, Ca, Fe, Cu, Zn, Cd. Solubilities in presence of phytate. J Sci Food Agric 1987; 40: 79-85.
24. DESHPANDE SS, DAMODARAN S. Effect of phytate on solubility, activity and conformation of trypsin and chymotrypsin. J Food Sci 1989; 54: 695-99.
25. HAN, YW. Removal of phytic acid from soybean and cottonseed meals. J Agric Food Chem 1988; 36: 1181-83.
26. DUA S, Mahajan A, Mahajan A. Improvement of functional properties of rapeseed (*Brassica campestris* var. Toria) preparations by chemical modifications. J Agric Food Chem 1996; 44: 706-10.



27. THOMPSON LU. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *Food Res Int* 1993; 26: 131-49.
28. ESPINOSA, JOSE. Efecto residual de fosforo en andisoles. *Rev fac agron. (Maracay)* 17: 39-47.1991.
29. CHANG, S., and JACKSON, M., 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil science society American journal*. 84:133-144.
30. FLOREZ, M.T., 2004. Meteorización Experimental de los Fragmentos de Matriz y los Vidrios Volcánicos. Tesis Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira 300.
31. GARAVITO, F., 1974. Propiedades químicas de los suelos. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Vol. 10 numero 11.
32. ANDRIESE, J.P., VAN ROSMALEN, H.A. y MULLER, 1976. On The Variability of Amorphous Materials in Andisoles and Their Relationships to Irreversible Drying and P – Retention. *Geoderma*, 16: 125 – 138.
33. LUIS A. KHAN PRADO, ALEXANDRE GIL, GABRIELA ESTRADA E, RAUL ZAPATA H, EDGAR AMEZQUITA C, ALBARO GARCIA O, BLAS MOVILLA, DANIEL ORTEGA REY, SAMUEL S. ROMAN, SADI SHAHAR, Fertirrigacion, Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, 1997, 62-71.
34. Eibner, R. 1986. Foliar fertilization, importance and prospects in crop production. pp. 3-13. *In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.*
35. Pérez I., C. 1988. Fertilización foliar de macro y micronutrientes en un Andosol de la Sierra Tarasca, Michoacán. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
36. Trinidad S., A., R. Núñez E y F. Baldovinos de la P. 1971. Aplicaciones foliares de Fe, Mn, Zn y Cu en los árboles de durazno. *Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Guadalajara, Jal.*
37. Cardona B., D.J. 1988. Fertilización edáfica y foliar en Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) tipo mercado. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
38. Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. *In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the*

- First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
39. Bear, F.E. 1965. Chemistry of soil. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation. New York, N.Y. USA.
  40. Tisdale, S.W., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA. Bidwell, R.G.S. 1979. Plant physiology. MacMillan Publishing Co, Inc. New York, N.Y. USA.
  41. ANTONIO Trinidad Santos, DIANA Aguilar Manjarrez. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Área de Fertilidad de Suelos. IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México 2009.
  42. FEDERICO Ramírez D. Fertilización foliar. Corporación Misti S.A. 2009.
  43. SILVA, Francisco. Fertilidad de suelos "Diagnostico y control" ed. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Capítulo 10. Santafé de Bogotá. Colombia. 1980, pag 156-403.
  44. LU Z.-I., LIU L.-w., LI X.-y., GONG Y.-q., HOU X.-I., ZHU X.-w., YANG J.-I., WANG L.-z. Analysis and Evaluation of Nutritional Quality in Chinese Radish (*Raphanus sativus* L.) (2008) *Agricultural Sciences in China*, 7 (7), pp. 823-830.
  45. Kang Y., Wan S. Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation (2005) *Scientia Horticulturae*, 106 (3), pp. 275-292.
  46. POTOSÍ, S. MARQUÍNEZ, L. Fraccionamiento del Fósforo y su Correlación Con la Materia Orgánica y Otras Propiedades de Dos Suelos del Departamento del Cauca Departamento de Química. Universidad del Cauca. 2006.
  47. BRAVO REALPE, Isabel., GIRALDO RINCON., Efrén. Manual de prácticas de química agrícola: análisis de suelos, última actualización. Departamento de Química, Universidad del Cauca. Popayán, 2003.
  48. SLAVADOR BADUI dergal. Química de los alimentos, segunda edición. Editorial Halambra Mexicana 1990. Pag 463-464.
  49. CLAVIJO, J., LORA, R., MALAVOLTA, E., ZAPATA, R., ESPINOSA, J., AMEZQUITA, E., LEON, A., GUERRERO, R., MUÑOZ, R., BURBANO, H., SÁNCHEZ, L., VILLAR, L., GARCIA, A. Fertilidad de suelos –

Diagnostico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. 1994. 221-282 p.

50. SIMON Navarro Blaya, GINES Navarro García. Química Agrícola, segunda edición. Ediciones mundi-prensa. México, 2003.
51. HUE, N. V.; VEGA, S.; SILVA, J.A. 2001. Manganese Toxicity in a Hawaiian Oxisol Affected by Soil pH and Organic Amendments. Dep. of Tropical Plant and Soil Science, University of Hawaii. Soil Science Society American 65: 153-160
52. EFREN Giraldo. Agroquímica un estudio de los nutrientes esenciales en la producción agrícola. Universidad del Cauca, 2002.

## ANEXOS

### Anexo 1. ANOVA para extracciones de gallinazas calcinadas y gallinazas secas

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	102727,894	5	20545,579	345,321	,000
Intra-grupos	713,964	12	59,497		
Total	103441,858	17			

### Anexo 2. ANOVA en extracciones con diferentes gramos de gallinaza

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	847817,948	6	141302,991	1135,283	,000
Intra-grupos	1742,510	14	124,465		
Total	849560,458	20			

### Anexo 3. En página 132

### Anexo 4. ANOVA para pH de extractos con ácido nítrico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	108,530	14	7,752	257,775	,000
Intra-grupos	,902	30	,030		
Total	109,432	44			

### Anexo 5. ANOVA para Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1%

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,006	2	,003	1,656	,194
Intra-grupos	,272	150	,002		
Total	,278	152			

### Anexo 3. Duncan para pH en extractos con hipoclorito de sodio

Día	% hipoclorito	Subconjunto para alfa = .05																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0,00	4,49																			
3	0,00	4,55																			
1	0,00	4,59																			
4	0,00		4,79																		
5	0,00		4,81																		
7	0,44			5,34																	
6	0,44			5,36	5,36																
5	0,44			5,48	5,48	5,48															
4	0,44				5,51	5,51															
3	0,44					5,55															
2	0,44					5,57															
1	0,44						5,85														
6	0,00							6,11													
2	0,85								6,34												
7	0,00								6,35												
3	0,85									6,51											
1	0,85									6,58											
4	0,85										6,76										
5	0,85										6,78										
6	0,85											6,94									
7	0,85											6,99									

2	1,56												7,38									
3	1,56												7,46									
4	1,56													7,94								
5	1,56													7,98								
1	1,56													8,04								
6	1,56														8,36							
7	1,56															8,50						
4	2,54																8,69					
3	2,54																8,72					
2	2,54																8,73					
5	2,54																8,76					
6	2,54																8,76					
7	2,54																8,85	8,85				
3	2,90																	8,99	8,99			
4	2,90																			9,02		
5	2,90																			9,02		
2	2,90																			9,02		
6	2,90																			9,06		
7	2,90																			9,12		
1	2,54																				9,83	
1	2,90																					10,20
Sig.		0,198	0,784	0,071	0,053	0,303	1	1	0,891	0,338	0,784	0,465	0,274	0,198	1	1	0,061	0,052	0,143	1	1	

**Anexo 6. ANOVA para Seguimiento de pH en los extractos con ácido benzoico y pH ajustado con ácido fosfórico 1% (variable de agrupación tiempo)**

Día	N	Subconjunto para alfa = .05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	9	4,0111								
1	9		4,0300							
2	9		4,0333	4,0333						
3	9		4,0356	4,0356						
4	9		4,0367	4,0367						
5	9		4,0411	4,0411						
6	9		4,0456	4,0456	4,0456					
7	9		4,0467	4,0467	4,0467					
8	9			4,0533	4,0533	4,0533				
9	9				4,0622	4,0622	4,0622			
12	9					4,0722	4,0722			
11	9					4,0733	4,0733			
10	9						4,0756			
15	9							4,0989		
16	9							4,1000		
25	9								4,1300	
31	9									4,1644
Sig.		1,000	,129	,066	,107	,052	,199	,906	1,000	1,000

**Anexo 7. ANOVA para el Crecimiento y Biomasa en la medida 2 (siembra 1)**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CRECIMIENTO	Inter-grupos	1092,642	34	32,137	14,267	,000
	Intra-grupos	157,680	70	2,253		
	Total	1250,322	104			
Biomasa	Inter-grupos	657840,861	34	19348,261	14,626	,000
	Intra-grupos	92603,770	70	1322,911		
	Total	750444,631	104			

**Anexo 8. Correlaciones bivariadas de Pearson para la siembra 1**

		CRECIMIENTO	Biomasa	No HOJAS	TIEMPO	TRATAMIENTO
CRECIMIENTO	Correlación de Pearson	1	,523(**)	,605(**)	,814(**)	,294(**)
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,002
	N	105	105	105	105	105
Biomasa	Correlación de Pearson	,523(**)	1	,661(**)	,596(**)	,034
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,728

	N	105	105	105	105	105
No HOJAS	Correlación de Pearson	,605(**)	,661(**)	1	,717(**)	,046
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,640
	N	105	105	105	105	105
TIEMPO	Correlación de Pearson	,814(**)	,596(**)	,717(**)	1	,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	1,000
	N	105	105	105	105	105
TRATAMIENTO	Correlación de Pearson	,294(**)	,034	,046	,000	1
	Sig. (bilateral)	,002	,728	,640	1,000	.
	N	105	105	105	105	105

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

### Anexo 9. Correlaciones de Rho Spearman para el No de hojas de la siembra1

		No HOJAS	Biomasa	CRECIMIENTO	TIEMPO	TRATAMIENTO
No HOJAS	Coefficiente de correlación	1,000	,641(**)	,680(**)	,726(**)	,178
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,070
	N	105	105	105	105	105
Biomasa	Coefficiente de correlación	,641(**)	1,000	,771(**)	,858(**)	,114
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,245
	N	105	105	105	105	105
CRECIMIENTO	Coefficiente de correlación	,680(**)	,771(**)	1,000	,824(**)	,225(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,021
	N	105	105	105	105	105
TIEMPO	Coefficiente de correlación	,726(**)	,858(**)	,824(**)	1,000	,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	1,000
	N	105	105	105	105	105
TRATAMIENTO	Coefficiente de correlación	,178	,114	,225(*)	,000	1,000
	Sig. (bilateral)	,070	,245	,021	1,000	.
	N	105	105	105	105	105



**Anexo 10. ANOVA para el Crecimiento y Biomasa en la medida 3 (siembra 2)**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CRECIMIENTO	Inter-grupos	848,915	34	24,968	7,870	,000
	Intra-grupos	222,067	70	3,172		
	Total	1070,981	104			
Biomasa	Inter-grupos	164609,796	34	4841,465	4,086	,000
	Intra-grupos	82939,707	70	1184,853		
	Total	247549,502	104			

**Anexo 11. Correlaciones bivariadas de Pearson para la siembra 2**

		CRECIMIENTO	Biomasa	No HOJAS	TIEMPO	TRATAMIENTO
CRECIMIENTO	Correlación de Pearson	1	,693(**)	,625(**)	,751(**)	,034
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,732
	N	105	105	105	105	105
Biomasa	Correlación de Pearson	,693(**)	1	,523(**)	,594(**)	,124
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,209
	N	105	105	105	105	105
No HOJAS	Correlación de Pearson	,625(**)	,523(**)	1	,683(**)	,280(**)
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,004
	N	105	105	105	105	105
TIEMPO	Correlación de Pearson	,751(**)	,594(**)	,683(**)	1	,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	1,000
	N	105	105	105	105	105
TRATAMIENTO	Correlación de Pearson	,034	,124	,280(**)	,000	1
	Sig. (bilateral)	,732	,209	,004	1,000	.
	N	105	105	105	105	105

**Anexo 12. Correlaciones de Rho Spearman para el No de hojas de la siembra 2**

		No HOJAS	Biomasa	CRECIMIENTO	TIEMPO	TRATAMIENTO
No HOJAS	Coefficiente de correlación	1,000	,591(**)	,608(**)	,644(**)	,246(*)
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,012
	N	105	105	105	105	105
Biomasa	Coefficiente de correlación	,591(**)	1,000	,787(**)	,787(**)	,149
	Sig.	,000	.	,000	,000	,128

	(bilateral)					
	N	105	105	105	105	105
CRECIMIENTO	Coefficiente de correlación	,608(**)	,787(**)	1,000	,852(**)	,069
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,482
	N	105	105	105	105	105
TIEMPO	Coefficiente de correlación	,644(**)	,787(**)	,852(**)	1,000	,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	1,000
	N	105	105	105	105	105
TRATAMIENTO	Coefficiente de correlación	,246(*)	,149	,069	,000	1,000
	Sig. (bilateral)	,012	,128	,482	1,000	.
	N	105	105	105	105	105

### Anexo 13. ANOVA para la producción de las siembras

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5,348	6	,891	6,957	,001
Intra-grupos	1,794	14	,128		
Total	7,142	20			

### Anexo 14. ANOVA para la producción de las siembras 1 y 2 (Factor Tratamiento)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5,348	6	,891	6,957	,001
Intra-grupos	1,794	14	,128		
Total	7,142	20			

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4,857	6	,809	24,436	,000
Intra-grupos	,464	14	,033		
Total	5,320	20			

**Anexo 15. Parámetros de comparación para niveles de fertilidad en suelos de clima medio (SCCS. 2000)**

**Tabla 1. Nivel de densidad real**

Nivel	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.1 – 2.3	2.3 – 2.5	2.6 – 2.8	> 2.8

**Tabla 2. Nivel de MO en suelo de clima frío**

Nivel	Bajo	Medio	Alto
% MO	<5	5-10	>10

**Tabla 3. Clasificación de acidez de suelos de acuerdo al valor de pH**

pH	Clasificación
4.0 - 4.5	Acidez extrema
4.5 - 5.0	Acidez muy fuerte
5.0 - 5.5	Acidez fuerte
5.5 - 6.0	Acidez media
6.0 - 6.5	Acidez suave
6.5 - 7.0	Acidez muy suave
7.0 - 8.0	Alcalinidad suave
8.0 - 8.5	Alcalinidad moderada
8.5 - 9.0	Alcalinidad moderada
9.0 - 9.5	Alcalinidad fuerte
9.5 - 10.0	Alcalinidad muy fuerte

**Tabla 4. Toxicidad de aluminio en el suelo (S.C.C.S. 2000)**

Al Int. Meq/100g. suelo	Evaluación	Efectos tóxicos
< 1.5 meq	Bajo	No tóxico
1.6 a 3.0 meq	Medio	Mod. Tóxico
> 3.0 meq	Alto	Tóxico, especialmente en leguminosas
% Saturación de aluminio	>60 Reducción severa del crecimiento de plantas	30-60 Reduce moderadamente el crecimiento y desarrollo
		<30 Generalmente no tóxica

**Tabla 5. Clasificación del Suelo de acuerdo a niveles de Ca, Mg y K**

Nutriente	(meq/100 g suelo)		
	Bajo	Medio	Alto
Ca	< 3.00	3.00 - 6.00	> 6.00
Mg	< 1.50	1.50 - 2.50	> 2.50
K	< 0.15	0.15 - 0.30	> 0.30

**Tabla 6. Disponibilidad del fósforo para el método de Bray II**

Nivel crítico	Disponibilidad
< 15 ppm	Bajo
15 – 30 ppm	Medio
> 30 ppm	Alto

**Anexo 16. Prueba Shapiro-Wilk para todos los parámetros del suelo en las medidas 1, 2 y 3**

	Medida	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
			Estadístico	gl	Sig.
<b>Humedad higroscópica</b>	1	1	,830	3	,189
	1	2	,830	3	,189
	1	3	,830	3	,189
	1	4	,830	3	,189
	1	5	,830	3	,189
	1	6	,830	3	,189
	1	7	,830	3	,189
	2	1	1,000	3	,990
	2	2	,791	3	,092
	2	3	,825	3	,176
	2	4	,887	3	,347
	2	5	,977	3	,710
	2	6	,772	3	,050
	2	7	,772	3	,049
	3	1	,999	3	,943
	3	2	,996	3	,884
	3	3	,863	3	,276
	3	4	,797	3	,108
	3	5	,981	3	,735
	3	6	,943	3	,538
<b>pH</b>	3	7	,781	3	,071
	1	1	,750	3	,000
	1	2	,750	3	,000
	1	3	,750	3	,000
	1	4	,750	3	,000
	1	5	,750	3	,000
	1	6	,750	3	,000
	1	7	,750	3	,000
	2	1	,912	3	,424
	2	2	,993	3	,843
	2	3	,871	3	,298
	2	4	,999	3	,948
	2	5	,893	3	,363
2	6	,893	3	,363	
2	7	,812	3	,144	
3	1	,987	3	,780	
3	2	,999	3	,948	
3	3	1,000	3	1,000	
3	4	,974	3	,688	
3	5	,989	3	,797	
3	6	,964	3	,637	
3	7	,832	3	,194	

<b>CIC</b>	1	1	,967	3	,650
	1	2	,967	3	,650
	1	3	,967	3	,650
	1	4	,967	3	,650
	1	5	,967	3	,650
	1	6	,967	3	,650
	1	7	,967	3	,650
	2	1	,807	3	,132
	2	2	,894	3	,368
	2	3	,975	3	,699
	2	4	,991	3	,814
	2	5	,775	3	,055
	2	6	,956	3	,598
	2	7	,771	3	,048
	3	1	,815	3	,151
	3	2	,975	3	,696
	3	3	,991	3	,814
	3	4	1,000	3	,970
	3	5	,982	3	,740
	3	6	,883	3	,334
	3	7	,902	3	,392
<b>Materia Orgánica</b>	1	1	,917	3	,442
	1	2	,917	3	,442
	1	3	,917	3	,442
	1	4	,917	3	,442
	1	5	,917	3	,442
	1	6	,917	3	,442
	1	7	,917	3	,442
	2	1	,910	3	,419
	2	2	,835	3	,201
	2	3	,790	3	,091
	2	4	,961	3	,623
	2	5	,791	3	,094
	2	6	,995	3	,865
	2	7	,809	3	,136
	3	1	,829	3	,186
	3	2	,931	3	,494
	3	3	,859	3	,265
	3	4	,983	3	,749
	3	5	,780	3	,069
	3	6	,948	3	,562
	3	7	,991	3	,819
<b>Acidez Intercambiable</b>	1	1	,767	3	,038
	1	2	,767	3	,038
	1	3	,767	3	,038
	1	4	,767	3	,038
	1	5	,767	3	,038
	1	6	,767	3	,038
	1	7	,767	3	,038
	2	1	,800	3	,115
	2	2	,754	3	,008
	2	3	1,000	3	,967
	2	4	,876	3	,312
	2	5	,955	3	,593
	2	6	,881	3	,327
	2	7	,981	3	,737
	3	1	1,000	3	,995

	3	2	,828	3	,183
	3	3	,820	3	,164
	3	4	,958	3	,607
	3	5	,932	3	,497
	3	6	,991	3	,814
	3	7	1,000	3	,970
<b>Aluminio Intercambiable</b>	2	2	,921	3	,456
	2	3	,952	3	,578
	2	4	,981	3	,739
	2	5	,829	3	,186
	2	6	,814	3	,148
	3	7	,985	3	,763
	3	2	,991	3	,821
	3	3	,804	3	,124
	3	4	,984	3	,757
	3	5	1,000	3	,990
	3	6	,986	3	,770
	3	7	,982	3	,741
<b>Acidez Titulable</b>	1	1	,928	3	,480
	1	2	,928	3	,480
	1	3	,928	3	,480
	1	4	,928	3	,480
	1	5	,928	3	,480
	1	6	,928	3	,480
	1	7	,928	3	,480
	2	1	,984	3	,755
	2	2	,915	3	,434
	2	3	,945	3	,549
	2	4	,892	3	,359
	2	5	,968	3	,654
	2	6	,981	3	,734
	2	7	,760	3	,023
	3	1	,873	3	,305
	3	2	,768	3	,040
	3	3	1,000	3	,994
	3	4	,973	3	,684
	3	5	,787	3	,083
	3	6	,859	3	,264
	3	7	,829	3	,187
<b>Nitrogeno</b>	1	1	,803	3	,121
	1	2	,803	3	,121
	1	3	,803	3	,121
	1	4	,803	3	,121
	1	5	,803	3	,121
	1	6	,803	3	,121
	1	7	,803	3	,121
	2	1	,998	3	,909
	2	2	,884	3	,336
	2	3	,776	3	,059
	2	4	,973	3	,687
	2	5	,934	3	,504
	2	6	,990	3	,809
	2	7	1,000	3	,967
	3	1	,924	3	,467
	3	2	,996	3	,885
	3	3	,854	3	,252
	3	4	,924	3	,468

	3	5	1,000	3	,965
	3	6	,969	3	,660
	3	7	,817	3	,155
<b>Fosforo</b>	1	1	,895	3	,370
	1	2	,895	3	,370
	1	3	,895	3	,370
	1	4	,895	3	,370
	1	5	,895	3	,370
	1	6	,895	3	,370
	1	7	,895	3	,370
	2	1	,905	3	,400
	2	2	,753	3	,007
	2	3	1,000	3	,962
	2	4	,803	3	,121
	2	5	,841	3	,217
	2	6	,987	3	,778
	2	7	,808	3	,135
	3	1	,999	3	,945
	3	2	,893	3	,364
	3	3	,878	3	,319
	3	4	,999	3	,937
	3	5	,772	3	,050
	3	6	,984	3	,759
	3	7	,886	3	,341
<b>Potasio</b>	1	1	,842	3	,220
	1	2	,842	3	,220
	1	3	,842	3	,220
	1	4	,842	3	,220
	1	5	,842	3	,220
	1	6	,842	3	,220
	1	7	,842	3	,220
	2	1	,973	3	,687
	2	2	,993	3	,836
	2	3	,989	3	,801
	2	4	,955	3	,589
	2	5	1,000	3	,993
	2	6	,922	3	,458
	2	7	,878	3	,319
	3	1	1,000	3	,996
	3	2	,827	3	,182
	3	3	,948	3	,559
	3	4	,998	3	,922
	3	5	,963	3	,629
	3	6	,774	3	,055
	3	7	,849	3	,238
<b>Azufre Soluble</b>	1	1	,757	3	,016
	1	2	,757	3	,016
	1	3	,757	3	,016
	1	4	,757	3	,016
	1	5	,757	3	,016
	1	6	,757	3	,016
	1	7	,757	3	,016
	2	1	,974	3	,690
	2	2	,871	3	,298
	2	3	,806	3	,130
	2	4	,805	3	,126
	2	5	,999	3	,937
	2	6	,998	3	,905
	2	7	,867	3	,288

	3	1	,834	3	,198
	3	2	,963	3	,629
	3	3	,973	3	,685
	3	4	,948	3	,559
	3	5	,994	3	,855
	3	6	,989	3	,799
	3	7	,831	3	,191
<b>Azufre Disponible</b>	1	1	,801	3	,118
	1	2	,801	3	,118
	1	3	,801	3	,118
	1	4	,801	3	,118
	1	5	,801	3	,118
	1	6	,801	3	,118
	1	7	,801	3	,118
	2	1	,964	3	,637
	2	2	,954	3	,586
	2	3	,895	3	,370
	2	4	,998	3	,907
	2	5	,766	3	,035
	2	6	,963	3	,629
	2	7	,857	3	,258
	3	1	,995	3	,862
	3	2	,856	3	,257
	3	3	,997	3	,897
	3	4	,946	3	,553
	3	5	,812	3	,143
	3	6	,795	3	,102
	3	7	,824	3	,174
<b>Calcio</b>	1	1	,915	3	,435
	1	2	,915	3	,435
	1	3	,915	3	,435
	1	4	,915	3	,435
	1	5	,915	3	,435
	1	6	,915	3	,435
	1	7	,915	3	,435
	2	1	,824	3	,173
	2	2	,899	3	,383
	2	3	,973	3	,683
	2	4	,967	3	,653
	2	5	,920	3	,451
	2	6	,979	3	,724
	2	7	,995	3	,866
	3	1	1,000	3	1,000
	3	2	,807	3	,132
	3	3	,999	3	,937
	3	4	,995	3	,864
	3	5	,876	3	,313
	3	6	,944	3	,544
	3	7	,975	3	,694
<b>Magnesio</b>	1	1	,750	3	,000
	1	2	,750	3	,000
	1	3	,750	3	,000
	1	4	,750	3	,000
	1	5	,750	3	,000
	1	6	,750	3	,000
	1	7	,750	3	,000
	2	1	,964	3	,637
	2	2	,974	3	,690



	2	3	1,000	3	,982
	2	4	,999	3	,936
	2	5	,918	3	,446
	2	6	,842	3	,218
	2	7	,814	3	,149
	3	1	1,000	3	1,000
	3	2	,994	3	,856
	3	3	,996	3	,877
	3	4	,826	3	,177
	3	5	,997	3	,888
	3	6	1,000	3	,986
	3	7	,995	3	,871
<b>Sodio</b>	1	1	,875	3	,310
	1	2	,875	3	,310
	1	3	,875	3	,310
	1	4	,875	3	,310
	1	5	,875	3	,310
	1	6	,875	3	,310
	1	7	,875	3	,310
	2	1	,956	3	,595
	2	2	,854	3	,251
	2	3	,999	3	,949
	2	4	,925	3	,471
	2	5	,957	3	,600
	2	6	,918	3	,445
	2	7	,985	3	,769
	3	1	,977	3	,712
	3	2	1,000	3	,971
	3	3	,927	3	,477
	3	4	,994	3	,853
	3	5	,923	3	,463
	3	6	,977	3	,709
	3	7	,913	3	,430
<b>Cobre</b>	1	1	,797	3	,107
	1	2	,797	3	,107
	1	3	,797	3	,107
	1	4	,797	3	,107
	1	5	,797	3	,107
	1	6	,797	3	,107
	1	7	,797	3	,107
	2	1	,909	3	,415
	2	2	,750	3	,000
	2	3	,961	3	,623
	2	4	1,000	3	,989
	2	5	,957	3	,602
	2	6	,933	3	,498
	2	7	,993	3	,835
	3	1	,911	3	,422
	3	2	,913	3	,429
	3	3	,967	3	,651
	3	4	,994	3	,854
	3	5	,874	3	,308
	3	6	,805	3	,127
	3	7	,820	3	,163
<b>Hierro</b>	1	1	,803	3	,122
	1	2	,803	3	,122
	1	3	,803	3	,122
	1	4	,803	3	,122
	1	5	,803	3	,122

	1	6	,803	3	,122
	1	7	,803	3	,122
	2	1	,804	3	,125
	2	2	,897	3	,375
	2	3	,928	3	,483
	2	4	,921	3	,456
	2	5	,907	3	,407
	2	6	,869	3	,292
	2	7	,784	3	,077
	3	1	,999	3	,950
	3	2	,895	3	,371
	3	3	,984	3	,761
	3	4	,962	3	,628
	3	5	,975	3	,697
	3	6	,980	3	,732
	3	7	,959	3	,612
<b>Manganeso</b>	1	1	,754	3	,008
	1	2	,754	3	,008
	1	3	,754	3	,008
	1	4	,754	3	,008
	1	5	,754	3	,008
	1	6	,754	3	,008
	1	7	,754	3	,008
	2	1	,804	3	,124
	2	2	,751	3	,002
	2	3	1,000	3	,979
	2	4	,756	3	,013
	2	5	,963	3	,632
	2	6	,987	3	,784
	2	7	,763	3	,028
	3	1	,981	3	,736
	3	2	,997	3	,898
	3	3	,891	3	,357
	3	4	,977	3	,710
	3	5	,997	3	,898
	3	6	,988	3	,788
	3	7	,841	3	,217
<b>Zinc</b>	1	1	,999	3	,932
	1	2	,999	3	,932
	1	3	,999	3	,932
	1	4	,999	3	,932
	1	5	,999	3	,932
	1	6	,999	3	,932
	1	7	,999	3	,932
	2	1	,952	3	,578
	2	2	,802	3	,119
	2	3	,926	3	,475
	2	4	,844	3	,224
	2	5	,996	3	,884
	2	6	,961	3	,623
	2	7	,974	3	,692
	3	1	,976	3	,703
	3	2	,773	3	,051
	3	3	,805	3	,126
	3	4	,799	3	,112
	3	5	,956	3	,595
	3	6	,793	3	,098
	3	7	,820	3	,163

**Anexo 17. ANOVA para todos los parámetros del suelo en las medidas 1, 2 y 3**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad higroscópica	Inter-grupos	66,060	20	3,303	17,826	,000
	Intra-grupos	7,782	42	,185		
	Total	73,843	62			
pH	Inter-grupos	,615	20	,031	7,932	,000
	Intra-grupos	,163	42	,004		
	Total	,777	62			
CIC	Inter-grupos	1078,694	20	53,935	27,473	,000
	Intra-grupos	82,453	42	1,963		
	Total	1161,148	62			
Materia Orgánica	Inter-grupos	,337	20	,017	,112	1,000
	Intra-grupos	6,350	42	,151		
	Total	6,687	62			
Acidez Intercambiable	Inter-grupos	,726	20	,036	28,259	,000
	Intra-grupos	,054	42	,001		
	Total	,780	62			
Aluminio Intercambiable	Inter-grupos	1,845	20			,000
	Intra-grupos	,004	42	,000		
	Total	1,849	62			
Acidez Titulable	Inter-grupos	489,761	20	24,488	6,811	,000
	Intra-grupos	150,999	42	3,595		
	Total	640,759	62			
Nitrógeno	Inter-grupos	4,964	20	,248	144,371	,000
	Intra-grupos	,072	42	,002		
	Total	5,036	62			
Fosforo	Inter-grupos	365,841	20	18,292	173,290	,000
	Intra-grupos	4,433	42	,106		
	Total	370,274	62			
Potasio	Inter-grupos	286,207	20	14,310	1130,220	,000
	Intra-grupos	,532	42	,013		
	Total	286,738	62			
Azufre Soluble	Inter-grupos	370,068	20	18,503	565,655	,000
	Intra-grupos	1,374	42	,033		
	Total	371,442	62			
Azufre Disponible	Inter-grupos	40341,579	20	2017,079	675,152	,000
	Intra-grupos	125,479	42	2,988		
	Total	40467,058	62			
Calcio	Inter-grupos	,828	20	,041	35,159	,000
	Intra-grupos	,049	42	,001		
	Total	,878	62			
Magnesio	Inter-grupos	7,756	20	,388	533,107	,000
	Intra-grupos	,031	42	,001		

	Total	7,787	62			
Sodio	Inter-grupos	,618	20	,031	12,062	,000
	Intra-grupos	,108	42	,003		
	Total	,726	62			
Cobre	Inter-grupos	156,288	20	7,814	897,819	,000
	Intra-grupos	,366	42	,009		
	Total	156,653	62			
Hierro	Inter-grupos	804,046	20	40,202	541,455	,000
	Intra-grupos	3,118	42	,074		
	Total	807,165	62			
Manganeso	Inter-grupos	1209,697	20	60,485	1036,605	,000
	Intra-grupos	2,451	42	,058		
	Total	1212,147	62			
Zinc	Inter-grupos	164,309	20	8,215	402,485	,000
	Intra-grupos	,857	42	,020		
	Total	165,167	62			

### Anexo 18. Relación Ca/Mg y Ca+Mg/K en las medidas

Medida	Ca/Mg	Ca+Mg/K
1	2,1908	3,9246
2	0,5306	0,2468
3	0,2847	0,2394

## Anexo 19. Correlaciones de Pearson para la medida 2

		Tratamiento	Humedad higroscópica	pH	CIC	Materia Orgánica	Acidez Intercambiable	Aluminio Intercambiable	Acidez Titulable	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Azufre Soluble	Azufre Disponible	Calcio	Magnesio	Sodio	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	NPK	Peso Rabano
Tratamiento	Correlación de Pearson	1	-.783(**)	.508(*)	.631(*)	-.112	.676(**)	-.032	-.572(**)	.355	.104	.912(*)	.934(*)	.884(**)	-.181	.824(**)	.761(*)	.885(*)	.799(*)	.931(**)	.835(*)	.887(*)	.820(*)
	Sig. (bilateral)	.	.000	.019	.002	.630	.001	.892	.007	.114	.655	.000	.000	.000	.432	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Humedad higroscópica	Correlación de Pearson	-.783(**)	1	-.567(*)	-.294	.211	-.447(*)	.318	.535(*)	-.083	.288	.643(*)	.720(*)	-.644(**)	.436(*)	-.477(*)	.455(*)	.557(*)	.460(*)	-.661(**)	.503(*)	.529(*)	.586(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.	.007	.196	.359	.042	.160	.013	.722	.205	.002	.000	.002	.048	.029	.038	.009	.036	.001	.020	.014	.005
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
pH	Correlación de Pearson	.508(*)	-.567(**)	1	.143	-.249	.293	-.531(*)	-.303	-.116	-.157	.270	.446(*)	.308	-.102	.087	.350	.236	.188	.425	.228	.197	.432
	Sig. (bilateral)	.019	.007	.	.535	.276	.198	.013	.182	.616	.497	.236	.043	.174	.660	.707	.120	.302	.414	.055	.320	.391	.051
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
CIC	Correlación de Pearson	.631(**)	-.294	.143	1	.110	.795(**)	.149	-.092	.079	.327	.642(*)	.723(*)	.650(**)	.315	.639(**)	.348	.530(*)	.525(*)	.755(**)	.474(*)	.659(*)	.748(*)
	Sig. (bilateral)	.002	.196	.535	.	.636	.000	.518	.691	.732	.148	.002	.000	.001	.165	.002	.122	.014	.015	.000	.030	.001	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Materia Orgánica	Correlación de Pearson	-.112	.211	-.249	.110	1	-.009	.057	-.196	.008	-.007	-.099	-.080	-.095	.031	-.033	.023	-.111	-.056	-.090	-.047	-.090	-.080
	Sig. (bilateral)	.630	.359	.276	.636	.	.968	.806	.395	.973	.975	.669	.729	.681	.893	.886	.920	.632	.808	.697	.838	.698	.731
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Acidez Intercambiable	Correlación de Pearson	.676(**)	-.447(*)	.293	.795(*)	-.009	1	.043	-.228	.067	.009	.722(*)	.751(*)	.781(**)	.072	.595(**)	.341	.533(*)	.574(*)	.741(**)	.494(*)	.662(*)	.639(*)
	Sig. (bilateral)	.001	.042	.198	.000	.968	.	.852	.320	.772	.969	.000	.000	.000	.756	.004	.130	.013	.006	.000	.023	.001	.002
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Aluminio Intercambiable	Correlación de Pearson	-.032	.318	-.531(*)	.149	.057	.043	1	.205	.718(**)	.272	.291	-.121	.269	.297	.500(*)	.011	.371	.432	-.063	.408	.403	.017
	Sig. (bilateral)	.892	.160	.013	.518	.806	.852	.	.374	.000	.232	.200	.602	.238	.191	.021	.963	.098	.050	.786	.066	.070	.941
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Acidez Titulable	Correlación de Pearson	-.572(**)	.535(*)	-.303	-.092	-.196	-.228	.205	1	-.309	.283	.521(*)	.452(*)	-.512(*)	.574(*)	-.421	.661(*)	.534(*)	.538(*)	-.403	.549(*)	.445(*)	-.310
	Sig. (bilateral)	.007	.013	.182	.691	.395	.320	.374	.	.173	.214	.015	.040	.018	.007	.058	.001	.013	.012	.070	.010	.043	.171
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Nitrogeno	Correlación de Pearson	,355	-,083	-,116	,079	,008	,067	,718(**)	-,309	1	,037	,579(*)	,098	,538(*)	-,045	,626(**)	,457(*)	,697(*)	,771(*)	,120	,798(*)	,645(*)	,196
	Sig. (bilateral)	,114	,722	,616	,732	,973	,772	,000	,173	.	,872	,006	,674	,012	,846	,002	,037	,000	,000	,605	,000	,002	,395
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Fosforo	Correlación de Pearson	,104	,288	-,157	,327	-,007	,009	,272	,283	,037	1	,012	,224	-,084	,679(*)	,259	,286	,150	,070	,319	,100	,227	,240
	Sig. (bilateral)	,655	,205	,497	,148	,975	,969	,232	,214	,872	.	,958	,328	,716	,001	,257	,209	,516	,762	,159	,665	,322	,295
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Potasio	Correlación de Pearson	,912(**)	-,643(**)	,270	,642(*)	-,099	,722(**)	,291	-,521(*)	-,579(**)	,012	1	,823(*)	,983(**)	-,219	,929(**)	,691(*)	,951(*)	,935(*)	,816(**)	,923(*)	,972(*)	,755(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,002	,236	,002	,669	,000	,200	,015	,006	,958	.	,000	,000	,339	,000	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Azufre Soluble	Correlación de Pearson	,934(**)	-,720(**)	,446(*)	,723(*)	-,080	,751(**)	-,121	-,452(*)	,098	,224	,823(*)	1	,795(**)	-,096	,758(**)	,693(*)	,753(*)	,652(*)	,988(**)	,652(*)	,802(*)	,828(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,043	,000	,729	,000	,602	,040	,674	,328	,000	.	,000	,679	,000	,000	,000	,001	,000	,001	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Azufre Disponible	Correlación de Pearson	,884(**)	-,644(**)	,308	,650(*)	-,095	,781(**)	,269	-,512(*)	-,538(*)	-,084	,983(*)	,795(*)	1	-,225	,880(**)	,597(*)	,903(*)	,907(*)	,782(**)	,883(*)	,931(*)	,726(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,002	,174	,001	,681	,000	,238	,018	,012	,716	,000	,000	.	,328	,000	,004	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Calcio	Correlación de Pearson	-,181	,436(*)	-,102	,315	,031	,072	,297	,574(**)	-,045	,679(*)	-,219	-,096	-,225	1	-,050	-,150	-,181	-,155	-,011	-,149	-,059	,047
	Sig. (bilateral)	,432	,048	,660	,165	,893	,756	,191	,007	,846	,001	,339	,679	,328	.	,828	,517	,433	,504	,964	,518	,799	,841
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Magnesio	Correlación de Pearson	,824(**)	-,477(*)	,087	,639(*)	-,033	,595(**)	,500(*)	-,421	,626(**)	,259	,929(*)	,758(*)	,880(**)	-,050	1	,677(*)	,945(*)	,892(*)	,784(**)	,898(*)	,966(*)	,720(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,029	,707	,002	,886	,004	,021	,058	,002	,257	,000	,000	,000	,828	.	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Sodio	Correlación de Pearson	,761(**)	-,455(*)	,350	,348	,023	,341	,011	-,661(**)	,457(*)	,286	,691(*)	,693(*)	,597(**)	-,150	,677(**)	1	,760(*)	,747(*)	,696(**)	,752(*)	,736(*)	,654(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,038	,120	,122	,920	,130	,963	,001	,037	,209	,001	,000	,004	,517	,001	.	,000	,000	,000	,000	,000	,001
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Cobre	Correlación de Pearson	,885(**)	-,557(**)	,236	,530(*)	-,111	,533(*)	,371	-,534(*)	,697(**)	,150	,951(*)	,753(*)	,903(**)	-,181	,945(**)	,760(*)	1	,936(*)	,769(**)	,968(*)	,971(*)	,685(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,009	,302	,014	,632	,013	,098	,013	,000	,516	,000	,000	,000	,433	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,001

	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Hierro	Correlación de Pearson	,799(**)	-,460(*)	,188	,525(*)	-,056	,574(**)	,432	-,538(*)	,771(**)	,070	,935(*)	,652(*)	,907(**)	-,155	,892(**)	,747(*)	,936(*)	1	,658(**)	,969(*)	,948(*)	,651(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,036	,414	,015	,808	,006	,050	,012	,000	,762	,000	,001	,000	,504	,000	,000	,000	.	,001	,000	,000	,001
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Manganeso	Correlación de Pearson	,931(**)	-,661(**)	,425	,755(*)	-,090	,741(**)	-,063	-,403	,120	,319	,816(*)	,988(*)	,782(**)	-,011	,784(**)	,696(*)	,769(*)	,658(*)	1	,666(*)	,818(*)	,835(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,001	,055	,000	,697	,000	,786	,070	,605	,159	,000	,000	,000	,964	,000	,000	,000	,001	.	,001	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Zinc	Correlación de Pearson	,835(**)	-,503(*)	,228	,474(*)	-,047	,494(*)	,408	-,549(**)	,798(**)	,100	,923(*)	,652(*)	,883(**)	-,149	,898(**)	,752(*)	,968(*)	,969(*)	,666(**)	1	,946(*)	,628(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,020	,320	,030	,838	,023	,066	,010	,000	,665	,000	,001	,000	,518	,000	,000	,000	,000	,001	.	,000	,002
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
NPK	Correlación de Pearson	,887(**)	-,529(*)	,197	,659(*)	-,090	,662(**)	,403	-,445(*)	,645(**)	,227	,972(*)	,802(*)	,931(**)	-,059	,966(**)	,736(*)	,971(*)	,948(*)	,818(**)	,946(*)	1	,755(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,014	,391	,001	,698	,001	,070	,043	,002	,322	,000	,000	,000	,799	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Peso Rabano	Correlación de Pearson	,820(**)	-,586(**)	,432	,748(*)	-,080	,639(**)	,017	-,310	,196	,240	,755(*)	,828(*)	,726(**)	,047	,720(**)	,654(*)	,685(*)	,651(*)	,835(**)	,628(*)	,755(*)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,005	,051	,000	,731	,002	,941	,171	,395	,295	,000	,000	,000	,841	,000	,001	,001	,001	,000	,002	,000	.
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

## Anexo 20. Correlaciones de Pearson para la medida 3

		Tratamiento	Humedad higroscópica	pH	CIC	Materia Orgánica	Acidez Intercambiable	Aluminio Intercambiable	Acidez Titulable	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Azufre Soluble	Azufre Disponible	Calcio	Magnesio	Sodio	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	NPK	Peso Rábano
Tratamiento	Correlación de Pearson	1	-.493(*)	.781(*)	.701(*)	.068	.295	.415	-.412	.620(**)	.968(*)	.800(*)	.968(*)	.935(**)	.178	.915(**)	.839(*)	.910(*)	.844(*)	.847(**)	.911(*)	.880(*)	.897(*)
	Sig. (bilateral)	.	.023	.000	.000	.769	.194	.062	.064	.003	.000	.000	.000	.000	.440	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Humedad higroscópica	Correlación de Pearson	-.493(*)	1	-.361	-.129	-.074	-.080	-.307	.323	-.197	.505(*)	.510(*)	.502(*)	-.519(*)	.278	-.441(*)	-.415	.512(*)	-.377	-.615(**)	.468(*)	.502(*)	-.320
	Sig. (bilateral)	.023	.	.108	.577	.751	.729	.175	.153	.391	.019	.018	.020	.016	.223	.046	.062	.018	.092	.003	.033	.020	.158
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
pH	Correlación de Pearson	.781(**)	-.361	1	.425	.256	.193	.433(*)	-.401	.690(**)	.762(*)	.754(*)	.692(*)	.736(**)	-.144	.625(**)	.664(*)	.842(*)	.745(*)	.776(**)	.801(*)	.786(*)	.750(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.108	.	.055	.263	.401	.050	.072	.001	.000	.000	.001	.000	.533	.002	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
CIC	Correlación de Pearson	.701(**)	-.129	.425	1	.193	.449(*)	.255	-.204	.335	.623(*)	.495(*)	.657(*)	.583(**)	.358	.764(**)	.479(*)	.568(*)	.482(*)	.520(*)	.579(*)	.549(*)	.489(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.577	.055	.	.403	.041	.265	.376	.138	.003	.022	.001	.006	.111	.000	.028	.007	.027	.016	.006	.010	.024
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Materia Orgánica	Correlación de Pearson	.068	-.074	.256	.193	1	.135	.139	-.439(*)	.062	.060	.118	.020	.100	-.065	.115	.016	.091	.046	.105	.056	.097	-.061
	Sig. (bilateral)	.769	.751	.263	.403	.	.558	.547	.047	.789	.795	.610	.931	.665	.778	.619	.946	.694	.842	.650	.809	.675	.792
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Acidez Intercambiable	Correlación de Pearson	.295	-.080	.193	.449(*)	.135	1	-.264	-.065	-.142	.194	.088	.377	.249	.487(*)	.473(*)	.215	.137	-.187	.078	.168	.109	.190
	Sig. (bilateral)	.194	.729	.401	.041	.558	.	.248	.778	.538	.399	.703	.092	.277	.025	.030	.350	.554	.416	.736	.466	.638	.411
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Aluminio Intercambiable	Correlación de Pearson	.415	-.307	.433(*)	.255	.139	-.264	1	.586(**)	.764(**)	.523(*)	.746(*)	.220	.541(*)	-.506(*)	.381	.388	.662(*)	.687(*)	.690(**)	.494(*)	.702(*)	.326
	Sig. (bilateral)	.062	.175	.050	.265	.547	.248	.	.005	.000	.015	.000	.337	.011	.019	.089	.082	.001	.001	.001	.023	.000	.149
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21



	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Acidez Titulable	Correlación de Pearson	-.412	.323	-.401	-.204	-.439(*)	-.065	-.586(**)	1	-.483(*)	-.468(*)	-.529(*)	-.330	-.541(*)	.137	-.447(*)	-.427	-.514(*)	-.465(*)	-.503(*)	-.435(*)	-.527(*)	-.385
	Sig. (bilateral)	.064	.153	.072	.376	.047	.778	.005	.	.026	.033	.014	.144	.011	.553	.042	.054	.017	.033	.020	.049	.014	.085
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Nitrogeno	Correlación de Pearson	.620(**)	-.197	.690(*)	.335	.062	-.142	.764(**)	-.483(*)	1	.715(*)	.895(*)	.467(*)	.711(**)	-.379	.411	.717(*)	.844(*)	.850(*)	.815(**)	.797(*)	.881(*)	.600(*)
	Sig. (bilateral)	.003	.391	.001	.138	.789	.538	.000	.026	.	.000	.000	.033	.000	.090	.064	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Fosforo	Correlación de Pearson	.968(**)	-.505(*)	.762(*)	.623(*)	.060	.194	.523(*)	-.468(*)	.715(**)	1	.854(*)	.918(*)	.945(**)	.072	.865(**)	.860(*)	.940(*)	.892(*)	.883(**)	.919(*)	.932(*)	.874(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.019	.000	.003	.795	.399	.015	.033	.000	.	.000	.000	.000	.756	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Potasio	Correlación de Pearson	.800(**)	-.510(*)	.754(*)	.495(*)	.118	.088	.746(**)	-.529(*)	.895(**)	.854(*)	1	.681(*)	.881(**)	-.322	.639(**)	.819(*)	.959(*)	.849(*)	.961(**)	.910(*)	.983(*)	.678(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.018	.000	.022	.610	.703	.000	.014	.000	.000	.	.001	.000	.154	.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Azufre Soluble	Correlación de Pearson	.968(**)	-.502(*)	.692(*)	.657(*)	.020	.377	.220	-.330	.467(*)	.918(*)	.681(*)	1	.907(**)	.341	.907(**)	.846(*)	.804(*)	.725(*)	.731(**)	.855(*)	.777(*)	.894(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.020	.001	.001	.931	.092	.337	.144	.033	.000	.001	.	.000	.131	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Azufre Disponible	Correlación de Pearson	.935(**)	-.519(*)	.736(*)	.583(*)	.100	.249	.541(*)	-.541(*)	.711(**)	.945(*)	.881(*)	.907(*)	1	.088	.860(**)	.938(*)	.913(*)	.827(*)	.859(**)	.929(*)	.928(*)	.871(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.016	.000	.006	.665	.277	.011	.011	.000	.000	.000	.000	.	.706	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Calcio	Correlación de Pearson	.178	.278	-.144	.358	-.065	.487(*)	-.506(*)	.137	-.379	.072	-.322	.341	.088	1	.390	.128	-.202	-.168	-.341	-.070	-.201	.267
	Sig. (bilateral)	.440	.223	.533	.111	.778	.025	.019	.553	.090	.756	.154	.131	.706	.	.081	.579	.379	.466	.130	.763	.383	.243
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Magnesio	Correlación de Pearson	.915(**)	-.441(*)	.625(*)	.764(*)	.115	.473(*)	.381	-.447(*)	.411	.865(*)	.639(*)	.907(*)	.860(**)	.390	1	.705(*)	.752(*)	.661(*)	.672(**)	.723(*)	.728(*)	.802(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.046	.002	.000	.619	.030	.089	.042	.064	.000	.002	.000	.000	.081	.	.000	.000	.001	.001	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Sodio	Correlación de Pearson	.839(**)	-.415	.664(*)	.479(*)	.016	.215	.388	-.427	.717(**)	.860(*)	.819(*)	.846(*)	.938(**)	.128	.705(**)	1	.823(*)	.761(*)	.760(**)	.923(*)	.862(*)	.861(*)
	Sig. (bilateral)	.000	.062	.001	.028	.946	.350	.082	.054	.000	.000	.000	.000	.000	.579	.000	.	.000	.000	.000	.000	.000	.000

	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Cobre	Correlación de Pearson	,910(**)	-,512(*)	,842(*)	,568(*)	,091	,137	,662(**)	-,514(*)	,844(**)	,940(*)	,959(*)	,804(*)	,913(**)	-,202	,752(**)	,823(*)	1	,910(*)	,975(**)	,950(*)	,985(*)	,796(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,018	,000	,007	,694	,554	,001	,017	,000	,000	,000	,000	,000	,379	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Hierro	Correlación de Pearson	,844(**)	-,377	,745(*)	,482(*)	,046	-,187	,687(**)	-,465(*)	,850(**)	,892(*)	,849(*)	,725(*)	,827(**)	-,168	,661(**)	,761(*)	,910(*)	1	,866(**)	,867(*)	,903(*)	,811(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,092	,000	,027	,842	,416	,001	,033	,000	,000	,000	,000	,000	,466	,001	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Manganeso	Correlación de Pearson	,847(**)	-,615(**)	,776(*)	,520(*)	,105	,078	,690(**)	-,503(*)	,815(**)	,883(*)	,961(*)	,731(*)	,859(**)	-,341	,672(**)	,760(*)	,975(*)	,866(*)	1	,918(*)	,964(*)	,677(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,003	,000	,016	,650	,736	,001	,020	,000	,000	,000	,000	,000	,130	,001	,000	,000	.	,000	,000	,000	,001
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Zinc	Correlación de Pearson	,911(**)	-,468(*)	,801(*)	,579(*)	,056	,168	,494(*)	-,435(*)	,797(**)	,919(*)	,910(*)	,855(*)	,929(**)	-,070	,723(**)	,923(*)	,950(*)	,867(*)	,918(**)	1	,944(*)	,843(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,033	,000	,006	,809	,466	,023	,049	,000	,000	,000	,000	,000	,763	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
NPK	Correlación de Pearson	,880(**)	-,502(*)	,786(*)	,549(*)	,097	,109	,702(**)	-,527(*)	,881(**)	,932(*)	,983(*)	,777(*)	,928(**)	-,201	,728(**)	,862(*)	,985(*)	,903(*)	,964(**)	,944(*)	1	,772(*)
	Sig. (bilateral)	,000	,020	,000	,010	,675	,638	,000	,014	,000	,000	,000	,000	,000	,383	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Peso Rabano	Correlación de Pearson	,897(**)	-,320	,750(*)	,489(*)	-,061	,190	,326	-,385	,600(**)	,874(*)	,678(*)	,894(*)	,871(**)	,267	,802(**)	,861(*)	,796(*)	,811(*)	,677(**)	,843(*)	,772(*)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,158	,000	,024	,792	,411	,149	,085	,004	,000	,001	,000	,000	,243	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	.
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).