

**DETERMINACIÓN DE VARIACIONES DE pH RIZOSFÉRICO Y CONTENIDO
DE FÓSFORO EN TEJIDOS DE *Lupinus mutabilis* L. EN DOS ANDISOLES,
PASTO, NARIÑO**

Deisy Viviana Benavides A.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROFORESTAL
PASTO
2012**

**DETERMINACIÓN DE VARIACIONES DE pH RIZOSFÉRICO Y CONTENIDO
DE FÓSFORO EN TEJIDOS DE *Lupinus mutabilis* L. EN DOS ANDISOLES,
PASTO, NARIÑO**

Deisy Viviana Benavides A.

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera
Agroforestal**

Asesor:

Jorge Alberto Vélez L.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROFORESTAL
PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^{ro} del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2012

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	23

DETERMINACIÓN DE VARIACIONES DE pH RIZOSFÉRICO Y CONTENIDO DE FÓSFORO EN TEJIDOS DE *Lupinus mutabilis* L. EN DOS ANDISOLES, PASTO, NARIÑO ¹

DETERMINATION OF pH VARIATIONS RHIZOSPHERIC AND PHOSPHORUS CONTENT IN TISSUES of *Lupinus mutabilis* L. ON TWO ANDISOLS, PASTO, NARIÑO

Deisy Viviana Benavides A. ²

Jorge Alberto Vélez L. ³

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en dos fases, la primera se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño, ubicado a 2540 msnm, con temperatura promedio de 19,1 °C y humedad relativa del 50% y la segunda fase en el Invernadero del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), finca Lope, municipio de Pasto, con temperaturas controladas entre 26 y 28 °C y humedad relativa de 60%. En la primera fase se evaluaron las variaciones del pH rizosférico de *L. mutabilis* a los 13 y 40 días utilizando dos fuentes fosfatadas. Los cambios de pH generados por la raíz se evaluaron utilizando la solución nutritiva de Marschner Römheld y Ossenberg-Neuhaus, acondicionada con agar y utilizando Púrpura de Bromocresol como indicador de pH bajo un Diseño Irrestrictamente al Azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones. Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y se utilizó Pruebas de Comparación de Medias de Tukey comparando los valores de pH a los 13 y 40 días. Los datos obtenidos indican que el pH de la solución agarizada

¹ Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Agroforestal a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño

² Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2012. E-mail: dvbenavides@gmail.com

³ I. AF., M. Sc., Profesor Asociado. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, 2012. E-mail: jvelezlozano@gmail.com

influenciada por las raíces sufrió disminuciones significativas a través del tiempo especialmente en los tratamientos donde se aplicó fósforo utilizando como fuente fosfatada fosforita Huila.

En la fase dos, se determinó el contenido de materia seca por termogravimetría y el contenido de fósforo en los tejidos de la especie utilizando la técnica de digestión por vía húmeda con ácido ascórbico bajo un Diseño Irrestrictamente al Azar con arreglo factorial 2x2x3. Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y se utilizaron Pruebas de Comparación de Medias de Tukey comparando los porcentajes de materia seca a los 30, 60 y 90 días después de la siembra y de la misma manera para la variable contenido de fósforo en tejidos. La información obtenida indica que el porcentaje de materia seca de la especie se incrementó significativamente a los 60 días después de la siembra al aplicar como fuente de fósforo Rafos y los contenidos de fósforo en tejidos fueron mayores cuando la planta se sembró en suelos de Mapachico aplicando Fosforita Huila en la dosis 25 kg Ha⁻¹ y cuando no se aplicó la fuente fosfatada.

PALABRAS CLAVES: termogravimetría, fuentes fosfatadas, Mapachico

ABSTRACT

The study was conducted in two phases, the first was conducted in the Laboratory of Plant Physiology at the University of Nariño, located at 2540 meters above sea level, with a mean temperature of 19.1° C and relative humidity of 50% and the second phase in the Greenhouse at SENA, Lope Farm, municipality of Pasto, with controlled temperatures between 26 and 28 ° C and relative humidity of 60%. In the first phase evaluated rhizospheric pH variations of *L. mutabilis* at 13 and 40 days using two phosphate sources. The pH changes generated by the root were assessed using the Römheld, Marschner y Ossenberg -Neuhaus nutrient solution, conditioned with agar and using bromocresol purple as a pH indicator under an Unreservedly Random Design with 6 treatments and 3 replications. Was used an Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey test for comparison

of means comparing pH values at 13 and 40 days. The data indicate that the pH of the agarizada solution influenced by roots suffered significant declines over time especially in treatments where was applied phosphorus using Fosforita Huila as phosphate source.

In phase two, was determine the dry matter content by thermogravimetric analysis and the phosphorus content in the tissues of the species using the technique of wet digestion with ascorbic acid under Unrestrictedly Randomized Design with factorial arrangement 2x2x3.

Was use an Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey tests for comparison of means comparing the percentages of dry matter at 30, 60 and 90 days after planting and in the same manner for variable phosphorus content in tissues . The information obtained indicates that the percentage of dry matter of the species increased significantly at 60 days after planting to apply as a source of phosphorus Rafos and phosphorus contents in tissues were higher when the plant was planted in soils of Mapachico applying Fosforita Huila in the dose 25 kg Ha⁻¹ and can't be applied when the phosphate source.

KEYWORDS: thermogravimetry, phosphate sources, Mapachico.

INTRODUCCIÓN

La fijación del fósforo es uno de los mayores problemas de la agricultura tropical, sin fósforo no existe crecimiento vegetal, pues es el responsable de la transferencia de energía en la síntesis de sustancias orgánicas. El mayor reto en Colombia es evitar que el fósforo sea fijado formando complejos poco asimilables por las plantas. El fósforo, generalmente se liga a algún compuesto del suelo y puede existir en forma de humatos, apatita o ligado al hierro y aluminio (Primavesi, 1982).

Inicialmente se consideró que la fijación de fósforo (P) ocurría solamente en las superficies activas de la alófana e imogolita; sin embargo, se ha reconocido que los grupos hidroxilo combinados con los complejos de aluminio (Al) entran en reacciones de intercambio con

compuestos fosfatados fijando fuertemente el fósforo (P) aplicado (Espinosa, 1998), haciendo más crítico el manejo de estos suelos y la producción agrícola.

En ese sentido, se hace necesario la aplicación de fuentes comerciales de fósforo asimilable que además de su costo cada vez mayor, no aseguran una eficiencia para la nutrición vegetal, haciéndose necesario aplicar fósforo en cada ciclo de cultivo para obtener un adecuado rendimiento (INPOFOS, 1994). En el mercado, también existen fuentes de menor costo, pero con baja disponibilidad de fósforo asimilable, necesitándose de factores químicos y biológicos del suelo que contribuyan a una liberación del elemento lábil.

En consecuencia, Pérez, (2003) plantea que la condición ideal para aumentar la solubilidad de las fuentes fosfatadas y que el fósforo liberado se mantenga disponible para las especies en el sistema suelo-planta, sería aquel que pudiera proveer suficiente acidez para disolver el fertilizante fosfórico, por lo tanto, la misma autora reporta que ciertas especies de plantas, tales como las leguminosas, pueden acidificar la rizósfera y promover la solubilización de las rocas fosfóricas con mayor eficiencia que otras plantas. Además, en el aspecto de la nutrición vegetal, es de gran interés conocer el valor del pH en las rizósferas que generan las diferentes especies vegetales, bajo distintas condiciones de cultivo (Sandzawka, 1989).

Al respecto, Parra *et al.*, (2004) mencionan que en suelos deficientes en fósforo la producción de muchos cultivos se restringe de manera importante y es así, que en condiciones de deficiencia las plantas tienen modificaciones morfológicas y bioquímicas para una mayor eficiencia en la absorción o la utilización del fosfato. En la investigación se estudió, en invernadero, dos genotipos de frijol *Phaseolus vulgaris* (Canario 60 y MAR1) contrastantes en su capacidad de tolerar la deficiencia en fósforo, con el fin de analizar algunas de sus respuestas a la ausencia de fosfato. Los resultados indicaron que en Canario 60 no se modificó la estructura de la raíz, no se incrementó la actividad de fosfatasas ácidas que se secretan al medio extracelular y la absorción de fosfato tuvo un aumento muy pequeño. En contraste, en MAR1 todas estas respuestas aumentaron considerablemente.

Estos resultados sugieren que existe una menor respuesta a la ausencia de fosfato en C60, que es el genotipo menos tolerante.

En cuanto a las modificaciones bioquímicas, Peñaloza *et al.*, (2000) manifiestan que la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPCasa) en las raíces de plantas del género *Lupinus* proporciona el carbono requerido para justificar la significativa cantidad de citrato que es exudado por las raíces de la planta, modificación que permitió explicar el comportamiento del *Lupinus albus*, lo que logró confirmar la capacidad de la especie para establecerse y crecer en suelos bajos en fósforo disponible y demostrar que esta capacidad puede manifestarse incluso en suelos con 3 mg kg⁻¹ de fósforo inicial. En este ensayo, la cuantificación del fósforo (P) total en la biomasa aérea indicó que éste fluctuó entre 0,14 y 0,19%, concentraciones que se ubican dentro del rango de fósforo definido como deficiente (0,13%) y adecuado (0,22%) en *L. albus*. indicando que la actividad *in vitro* de PEPCasa no cambia significativamente con concentraciones de P en la biomasa aérea entre deficiente y adecuado y sugieren que el mecanismo asociado con la secreción de citrato sería inhibido por concentraciones de fósforo inferiores a aquellas requeridas para inhibir la actividad PEPCasa.

Por las consideraciones anteriores el trabajo tuvo como objetivos evaluar la variación del pH de la rizósfera de *L. mutabilis* a los 13 y 40 días en ausencia de fuentes fosfatadas y al aplicar 25 y 50 kg Ha⁻¹ de P contenido en dos fuentes de fósforo comerciales (Fosforita Huila y Rafos) y el contenido de materia seca y fósforo en tejidos de *L. mutabilis* L. a los 30, 60 y 90 días en ausencia de fuentes fosfatadas y al aplicar 25 y 50 kg Ha⁻¹ de P como fosforita Huila y Rafos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos fases: la primera se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño, con una altura de 2540 m.s.n.m, temperatura promedio de 19,1 °C y humedad relativa del 50%; la segunda en el Invernadero del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en la Finca Lope del municipio de Pasto, ubicado a 1° 12' 41,00'' latitud norte y 77° 15' 71'' longitud oeste con una altura de 2583 m.s.n.m (SENA, 2011), temperaturas controladas entre 26 y 28 °C y humedad relativa del 60%.

En la primera fase, se sembraron, en medio de cultivo, semillas de *L. mutabilis*. germinadas en agua desionizada tipo I previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% (Vélez, 2005) y los cambios generados por la raíz se evaluaron utilizando la solución nutritiva de Marschner, Römheld y Ossenberg-Neuhaus, acondicionada con agar para proveer de un medio gelatinoso y consistente a la raíz permitiéndole un adecuado crecimiento y Púrpura de Bromocresol ($C_{21}H_{16}Br_2O_5S$) como reactivo indicador de pH (Marschner *et al.*, 1982).

Las evaluaciones de pH se realizaron a los 13 y 40 días después de la siembra con ayuda de un potenciómetro debidamente calibrado.

Para la evaluación de las variaciones de pH se utilizó un Diseño Irrestringidamente al Azar con seis (6) tratamientos (Tabla 1) y tres (3) repeticiones.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos para la determinación de variaciones de pH rizosférico de *L. mutabilis*. Fase I

Tratamiento	Descripción
1	Testigo
2	<i>L. mutabilis</i> sin aplicación de fuentes fosfatadas
3	25 kg de P Ha ⁻¹ (Fosforita) + <i>L. mutabilis</i>
4	50 kg de P Ha ⁻¹ (Fosforita) + <i>L. mutabilis</i>
5	25 kg de P Ha ⁻¹ (Rafos) + <i>L. mutabilis</i>
6	50 kg de P Ha ⁻¹ (Rafos) + <i>L. mutabilis</i>

En la segunda fase, se sembraron semillas de *L. mutabilis* previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% (Vélez, 2005) en núcleos de PVC de 11 cm de diámetro y 30 cm de longitud con suelo de las dos localidades del municipio de Pasto (Daza y Mapachico). Se sembró una semilla en cada núcleo de PVC previa aplicación de las fuentes fosfatadas (Fosforita Huila y Rafos) de acuerdo a los tratamientos.

Materia seca

El contenido de materia seca para la parte aérea de la planta se determinó por el método de secado en dos pasos, un secado parcial a 65 °C, seguido de un secado total a 105 °C, bajo el esquema de Weende (Estrada, 2002) y se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MSR} = \frac{\% \text{ MSP} \times \% \text{ MST}}{100}$$

Dónde,

%MSR: porcentaje de materia seca real

%MSP: porcentaje de materia seca parcial

%MST: porcentaje de materia seca total

Fósforo en tejidos

El contenido de fósforo en tejidos se determinó en forma total por digestión vía húmeda con ácido ascórbico sobre muestras secas y molidas. El análisis constó de dos etapas principales, la mineralización por vía húmeda que destruye la materia orgánica con el fin de dejar el elemento en condiciones adecuadas para ser determinado y la cuantificación espectrofotométrica (De Gracia, 2011). El método se basa en la producción de un complejo fosfomolibdico en una solución ácida, el cual es reducido por el ácido ascórbico para formar una solución de color azul. En el extracto resultante se cuantificó el fósforo absorbido por la planta, mediante intensidad de color en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1, a una longitud de onda de 660 nm aplicando la siguiente fórmula (Pernett y Cháves, 1977):

$$P \text{ tejido (\%)} = P \text{ muestra (ppm)} \times FD$$

De tal manera que:

$$FD = \frac{100 \text{ ml SE}}{1000 \text{ ml Sin E}} \times \frac{20 \text{ ml VF}}{2 \text{ ml extracto}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{100 \text{ g TV}}{0.2500 \text{ TV}}$$

Donde:

FD = Factor de dilución

SE = Solución Extractora

Sin E = Sin extractora

VF = Volumen Final

TV = Tejido Vegetal

Los suelos fueron obtenidos de los corregimientos de Daza y Mapachico del municipio de Pasto, previa verificación de la clasificación taxonómica de suelos correspondiente a Andisoles. De acuerdo al estudio de zonificación de tierras, IGAC (2003), estos suelos son clasificados como Typic Melanudands y se caracterizan por ser suelos superficiales a moderadamente profundos, con abundantes fragmentos rocosos, bien drenados, de textura franco-arenosa o franco-arcillosa, presentan reacción ligeramente ácida, son muy pobres en

fósforo, alta capacidad de intercambio catiónico, baja saturación de bases, altos contenidos de materia orgánica y de fertilidad baja.

Para la evaluación de la segunda fase se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar con arreglo factorial 2x2x3, donde el factor A correspondió a los suelos de las localidades con los niveles Daza y Mapachico, el factor B a las fuentes fosfatadas con los niveles Fosforita Huila y Rafos y el factor C a las dosis con los niveles sin aplicación de fuentes fosfatadas, 25 kg Ha⁻¹ de P y 50 kg Ha⁻¹ de P que en conjunto se organizan en doce (12) tratamientos (Tabla 2) y tres (3) repeticiones.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos en la determinación de contenidos de materia seca y fósforo en tejidos de *L. mutabilis* en dos Andisoles. Fase II

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C
	Localidades	Fuentes	Dosis
1	Daza	Fosforita Huila	Sin aplicación
2			25 kg Ha ⁻¹
3			50 kg Ha ⁻¹
4		Rafos	Sin aplicación
5			25 kg Ha ⁻¹
6			50 kg Ha ⁻¹
7	Mapachico	Fosforita Huila	Sin aplicación
8			25 kg Ha ⁻¹
9			50 kg Ha ⁻¹
10		Rafos	Sin aplicación
11			25 kg Ha ⁻¹
12			50 kg Ha ⁻¹

Análisis de la información

Para la tabulación de la información se utilizó el programa Microsoft Excel 2010 y los datos obtenidos se sometieron a Análisis de Varianza y Pruebas de Comparación de Medias de Tukey. Este análisis se realizó con el programa InfoStat/Profesional 2.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones de pH

El Análisis de Varianza indicó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos a los 13 y 40 días después de la siembra (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para valores de pH rizosférico de *L. mutabilis* utilizando dos fuentes fosfatadas comerciales a los 13 y 40 D.D.S.

F.V	G. L	C.M		p>F	
		13 días	40 días	13 días	40 días
Tratamiento	5	0,73**	0,83**	0,0019	0,0041
Error	10	0,08	0,10		
Total	15				

** Altamente significativo al 99% de confiabilidad.

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey registró disminución en el pH de la solución agarizada a través del tiempo (Tabla 4), efecto que se debe a la presencia del sistema de raíces; la disminución fué mas evidente en los tratamientos donde se sembró *L. mutabilis* sin aplicación de fuentes fosfatadas (Fosforita Huila y Rafos) y cuando se adicionó 0.004108 g de Fosforita Huila correspondiente a 25 kg Ha⁻¹ de fuente fosfatada, diferenciándose estadísticamente de los demás.

Tabla 4. Comparación de Medias de Tukey para variaciones de pH rizosférico a los 13 y 40 D.D.S.

Tratamiento	Promedio	
	(13 días)	(40 días)
Testigo	6,44 a	6,44 a
50 kg de P Ha ⁻¹ (Rafos) + <i>L. mutabilis</i>	5,94 b	5,72 b
25 kg de P Ha ⁻¹ (Rafos) + <i>L. mutabilis</i>	5,86 b	5,60 b
25 kg de P Ha ⁻¹ (Fosforita) + <i>L. mutabilis</i>	5,76 b	5,26 bc
50 kg de P Ha ⁻¹ (Fosforita) + <i>L. mutabilis</i>	5,60 b	5,41 b
<i>L. mutabilis</i> sin aplicación de fuentes fosfatadas	4,93 c	4,71 c

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

De acuerdo a lo anterior, los cambios generados en el pH de la rizósfera están en función del estado nutricional de la planta, suministro de fuentes nitrogenadas (NH_4^+ , NO_3^- o fijación simbiótica de N_2) y la capacidad amortiguadora del suelo (Sandzawka, 1989).

Es importante considerar que el hecho de que la especie haya modificado el pH de la rizósfera en 1,51 unidades en 40 días, dá una idea de la influencia que la planta puede tener sobre la solubilidad de nutrientes en el suelo.

En ese sentido, los cambios en el pH inducidos por las raíces están relacionados con la secreción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y con la absorción diferencial de aniones y cationes, ambos mecanismos están asociados con la respuesta de la planta a la deficiencia de fósforo (Ascencio y Lazo, 2001). Otro mecanismo por medio del cual las plantas aprovechan el fósforo es a través del dióxido de carbono desprendido por las raíces en el proceso de respiración, el cual al reaccionar con el agua forma el ácido carbónico, siendo una fuente de iones H^+ , que acidifican el medio, favoreciendo la disolución de los fosfatos insolubles en el suelo (Besoain, 1985).

Por otro lado, la variación del pH se puede atribuir a la cesión activa de protones en la extensión celular de la raíz (acid growth theory), entrada de elementos nutritivos o diferente relación de cationes/aniones y secreción de ácidos orgánicos (Römheld, 1986). El mismo

autor hace referencia que los valores de pH de la rizósfera pueden diferir considerablemente entre especies vegetales; al respecto, en una evaluación realizada en plantas de diferente procedencia de 10 a 15 días de emergencia se apreciaron variaciones del pH de la rizósfera. Es así como leguminosas tales como *Lupinus angustifolius*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*, *Trifolium repens* y *Vicia sativa* presentaron una disminución del pH de la rizósfera calificada como moderada, en cambio *Cicer arietinum*, *Lens culinaris*, y *Arachis hypogaea*, mostraron una disminución del pH de la rizósfera valorada como intensa.

Además, la rizósfera ácida que genera *L. mutabilis*, induce a un aumento de la disponibilidad de fosfatos por solubilización de los compuestos fosfatados presentes en el suelo, explicando de esta manera la alta eficiencia que presenta esta especie frente a la absorción de fósforo en suelos deficientes en este elemento (Sandzawka, 1989).

Contenido de materia seca

El Análisis de Varianza transcurridos 30 y 90 D.D.S. (Tabla 5) no presentó significancia estadística para los efectos simples ni las interacciones, sin embargo a los 60 días de evaluación se detectaron diferencias estadísticas significativas para el factor fuentes, no encontrándose diferencias significativas para los efectos simples ni para las interacciones.

Tabla 5. Análisis de Varianza para contenido de materia seca de *L. mutabilis* a los 30, 60 y 90 D.D.S.

F.V	G. L	30 días (%)	60 días (%)	90 días (%)
-----	------	-------------	-------------	-------------

		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
Modelo	11	2,04 ^{ns}	0,7490	19,34 ^{ns}	0,1795	3,63 ^{ns}	0,9764
Suelos	1	0,26 ^{ns}	0,7717	28,89 ^{ns}	0,1403	0,43 ^{ns}	0,8516
Fuentes	1	0,22 ^{ns}	0,7910	54,30*	0,0479	3,07 ^{ns}	0,6162
Dosis	2	2,36 ^{ns}	0,4752	7,21 ^{ns}	0,5651	2,04 ^{ns}	0,8432
Suelos*Fuentes	1	9,66 ^{ns}	0,0919	0,01 ^{ns}	0,9726	8,22 ^{ns}	0,4143
Suelos*Dosis	2	0,71 ^{ns}	0,7956	19,11 ^{ns}	0,2349	0,94 ^{ns}	0,9238
Fuentes*Dosis	2	2,00 ^{ns}	0,5307	0,09 ^{ns}	0,9926	11,28 ^{ns}	0,4023
Suelos*Fuentes*Dosis	2	0,36 ^{ns}	0,8904	27,21 ^{ns}	0,1244	2,06 ^{ns}	0,8417
Error	21	3,05		12,30		11,86	
Total	32						

* Significativo al 99% de confiabilidad. ns: No significativo

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey indicó que la adición de Rafos incrementa los contenidos de materia seca (13,29%) diferenciándose estadísticamente de la otra fuente aplicada (Fosforita Huila) con un promedio de 10,69% (Tabla 6). Este efecto se atribuye a que los fertilizantes tienen diferentes grados de aprovechamiento de ácido fosfórico influenciado fundamentalmente por su granulometría y solubilidad.

Tabla 6. Comparación de Medias de Tukey para contenido de materia seca de *L. mutabilis* a los 60 D.D.S.

Fuentes	Promedio (%) (60 días)
Rafos	13,29 a
Fosforita Huila	10,69 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05).

Al respecto, Guerrero (1998) menciona que la solubilidad y por tanto la aprovechabilidad del fósforo de los fertilizantes hidrosolubles es mayor que la correspondiente a los citrosolubles y que la importancia del tamaño de partícula en los fertilizantes de alta solubilidad radica en el hecho de que la tasa de disolución está relacionada inversamente

con el tamaño del gránulo, lo cual es clave cuando se trata de fabricar fertilizantes de lenta liberación. De otra parte, se ha demostrado que un tamaño de partícula superior a 5 mm conduce a una mejor eficiencia de los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad (Suárez, 1971).

De acuerdo a lo anterior, Fassbender (1968), bajo condiciones de invernadero, encontró que cuando la capacidad de fijación de fosfatos en el suelo es muy acentuada, como ocurre en los Andisoles, la eficacia del superfosfato hidrosoluble en polvo fué prácticamente nula, pero se incrementó sustancialmente cuando se utilizó superfosfato granulado, contrario a lo esperado, la eficacia de las escorias Thomas, bajo las mismas condiciones, fué igualmente baja o nula.

Contenido de fósforo en tejidos

El Análisis de Varianza detectó diferencias estadísticas altamente significativas para el factor suelos a los 30 D.D.S., no encontrándose diferencias estadísticas para los demás efectos simples y la interacción; transcurridos 60 D.D.S. indicó diferencias altamente significativas para los factores suelos y fuentes, así mismo mostró diferencias estadísticas significativas para las interacciones suelos*fuentes y suelos*fuentes*dosis (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de Varianza para contenido de fósforo en tejidos de *L. mutabilis* a los 30, 60 y 90 D.D.S.

F.V	G. L	30 días	60 días	90 días
-----	------	---------	---------	---------

		C.M	p>F	C.M	p>F	C.M	p>F
Modelo	11	0,03 ^{ns}	0,0641	0,02**	0,0007	0,0039 ^{ns}	0,8814
Suelos	1	0,14**	0,0029	0,07**	0,0008	0,00012 ^{ns}	0,9019
Fuentes	1	0,0015 ^{ns}	0,7220	0,06**	0,0021	0,00012 ^{ns}	0,9019
Dosis	2	0,0014 ^{ns}	0,8856	0,004 ^{ns}	0,3663	0,01 ^{ns}	0,2372
Suelos*Fuentes	1	0,03 ^{ns}	0,1099	0,02*	0,0472	0,01 ^{ns}	0,2260
Suelos*Dosis	2	0,02 ^{ns}	0,1652	0,01 ^{ns}	0,0846	0,00013 ^{ns}	0,9830
Fuentes*Dosis	2	0,03 ^{ns}	0,1279	0,002 ^{ns}	0,5800	0,0021 ^{ns}	0,7664
Suelos*Fuentes*Dosis	2	0,0013 ^{ns}	0,8939	0,02*	0,0246	0,00051 ^{ns}	0,9371
Error	21	0,01		0,0046		0,001	
Total	32						

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad. * Significativo al 95% de confiabilidad ns: nos significativo

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey mostró diferencias estadísticas altamente significativas para el factor suelos a los 30 días después de la siembra, evidenciando promedios mas bajos cuando las plantas se sembraron en el suelo proveniente de Daza (Tabla 8).

Este comportamiento en el contenido de fósforo en tejidos se relaciona con el alto contenido de aluminio presente en el suelo de la localidad de Daza, cuyo valor corresponde a 2.20 cmol (+) kg⁻¹, situación que permite manifestar que la fracción humus en Andisoles forma fácilmente complejos con metales como el aluminio donde los grupos hidroxilo combinados con el complejo de aluminio entran en reacciones de intercambio con HPO₄⁻² y H₂PO₄⁻, fijando fuertemente el fósforo aplicado, traduciéndose en una disminución en el contenido de fósforo en tejidos según lo realizado por Espinosa, (1998).

Ospina (1974), señala que el aluminio es el responsable, en gran parte, de la retención de fosfatos, a través de mecanismos de adsorción, precipitación, hidrólisis o disociación lo que conduce a alterar procesos a nivel de la superficie celular, generando fijación de fósforo por una reacción de absorción – precipitación que tiene lugar en las raíces y dentro de la

célula, en la mitocondria, que da como resultado una marcada disminución de la tasa de fosforilación del azúcar y que afecta la inhibición de la hexoquinasa (Clarkson, 1966).

Tabla 8. Comparación de Medias de Tukey para contenido de fósforo en tejidos de *L. mutabilis* a los 30 D.D.S.

Suelos	Promedio P (30 días)
Mapachico	0,35 a
Daza	0,21 b

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

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey transcurridos 60 días después de la siembra para la interacción Suelos*Fuentes*Dosis muestra que los suelos, las fuentes fosfatadas comerciales y las dosis, cada uno con sus respectivos niveles influyen en el comportamiento de esta variable (Tabla 9).

Es así como, cuando se aplican 25 kg Ha⁻¹ de fosforita Huila y cuando no se realiza aplicación de fuente fosfatada en el suelo proveniente de la localidad de Mapachico del municipio de Pasto, los contenidos de fósforo en tejidos son mayores, diferenciándose estadísticamente de los demás.

Tabla 9. Comparación de Medias de Tukey para contenido de fósforo en tejidos de *L. mutabilis* a los 60 D.D.S.

Suelos	Fuentes	Dosis (kg Ha ⁻¹)	Promedio (60 días)
--------	---------	---------------------------------	-----------------------

Mapachico	Fosforita Huila	25	0,44 a
Mapachico	Fosforita Huila	0	0,29 ab
Mapachico	Fosforita Huila	50	0,23 b
Daza	Fosforita Huila	50	0,23 b
Mapachico	Rafos	0	0,21 b
Mapachico	Rafos	50	0,18 b
Mapachico	Rafos	25	0,18 b
Daza	Rafos	25	0,17 b
Daza	Fosforita Huila	0	0,17 b
Daza	Rafos	50	0,14 b
Daza	Fosforita Huila	25	0,14 b
Daza	Rafos	0	0,12 b

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

Este comportamiento se debe a que algunos materiales fertilizantes de solubilidad limitada en agua han demostrado ser aprovechados por la planta. No obstante, bajo determinadas circunstancias los citrosolubles pueden resultar de igual o mayor eficacia agronómica que los hidrosolubles (Guerrero, 1998).

Adicionalmente, la eficiencia en la absorción se atribuye a adaptaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de las raíces (Abel *et al.*, 2002). Morfológicamente, estas adaptaciones van desde cambios en la estructura de la raíz, hasta modificaciones en la cantidad, densidad y longitud de las raíces laterales, raíces adventicias y pelos radicales (Bates y Lynch, 2000). Además, las raíces responden bioquímicamente con la expresión y secreción de enzimas como fosfatasas ácidas y ARNsas (Trull y Deikman, 1998); con la síntesis y exudación de ácidos orgánicos (Jones, 1998), cuya presencia y abundancia se correlaciona con la concentración de fósforo en el medio de crecimiento (Gardner *et al.*, 1982) favoreciendo la recuperación de fosfato retenido dejándolo disponible para su absorción por la planta (Peñaloza *et al.*, 2000).

En ese sentido, probablemente Mapachico cuenta con las características físico-químicas ideales para que la planta pueda desarrollarse satisfactoriamente (pH 5,4; MO 14,8%; Da 0,9 Mg m⁻³, Al 1,3 cmol kg⁻¹), en comparación con las características físico-químicas de Daza (pH 4,8; MO 28,8%; Da 0,8 Mg m⁻³; Al 2,2 cmol kg⁻¹), además, la baja solubilidad en agua de la fuente fosfatada (citrosoluble) y finalmente las dosis mínimas sumadas a la carencia de fósforo en el suelo, le dán a la planta el ambiente propicio para buscar este elemento de tal manera que la carencia de fósforo soluble en el suelo promueve el uso de fósforo almacenado en la vacuola y su movilización hacia estructuras en desarrollo (Rao *et al.*, 1993) y se aumenta la superficie de absorción (Lynch y Brown, 2001), además, se estimula la producción y secreción de ácidos orgánicos (cítrico y málico) y enzimas (fosfatasas y ARNasas) que incrementan la disponibilidad de fosfatos en el suelo (Parra *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

El pH de la solución agarizada sufrió disminuciones significativas a través del tiempo en los tratamientos donde se aplicaron 25 kg Ha⁻¹ de P como fosforita Huila y donde no se aplicó la fuente fosfatada.

El porcentaje de materia seca de *L. mutabilis* se incrementó significativamente a los 60 días después de la siembra al aplicar Rafos.

Los contenidos de fósforo en tejidos fueron mayores cuando la planta se sembró en suelo de la localidad de Mapachico aplicando Fosforita Huila en la dosis 25 kg Ha⁻¹ y cuando no se aplicó la fuente fosfatada.

AGRADECIMIENTOS

A Jorge Vélez Lozano I. AF., M. Sc. asesor principal de la investigación por su incondicional apoyo y valiosas enseñanzas. A la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño por la financiación de

la investigación. A Germán Cháves I. A., Esp., M. Sc. por su orientación y dedicación. A Miriam Guapucal I. AF., M. Sc. por su apoyo. A Juan Carlos Delgado, Químico, Técnico de Laboratorio. A PIFIL por fortalecer mi espíritu investigativo y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Abel, C.; Ticconi, C. y Delatorre, C. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plantarum* 115: 1-8.

Ascencio, J. y Lazo, J. V. 2001. Crecimiento y eficiencia de fósforo de algunas leguminosas cultivadas en arena regada con soluciones nutritivas con fosfatos inorgánicos de hierro y calcio. *Rev Fac Agron.* Vol. 18 No. 1. Pág. 13 – 32.

Bates, T. y Lynch, J. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *American Journal of Botany.* 87 (7): 964-970.

Benavides, A., Bravo, M. 1997. Diseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales para la Universidad de Nariño. Pasto. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería. Universidad de Nariño. 320 p.

Besoain, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Costa Rica: IICA. 1205 p.

Clarkson, D. 1966. Effect of Aluminum on the Uptake and metabolism of Phosphorus by Barley Seedlings. *Plant Physiology.* 41 (165-172)

De Gracia, M. 2011. Guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. 57 p.

Espinosa, J. 1998. Fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas y fertilización fosfórica del cultivo de la papa. *En*: Fertilización de cultivos de clima frío. Santafé de Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos. Pág. 103-111.

Estrada, J. 2002. Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano. 1ra Ed. Universidad de Caldas. Manizales. Pag.167

Fassbender, H. 1968. Efectividad de fertilizantes fosfóricos en suelos con diferente capacidad de fijación de fosfatos. *Fitotecnia Latinoamericana* 9 (2): 230-241.

Gardner W.; Parbery, D. y Barber, D. 1982. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. II. The effect of varying phosphorus supply and soil type on some characteristics of the soil/root interface. *Plant and Soil* 68:33-4.

Guerrero, R. 1998. Propiedades generales de los fertilizantes. 3 ed. Santafé de Bogotá, Colombia, Monómeros Colombo Venezolanos. 80 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2003. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. [CD – ROM]. IGAC.

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FÓSFORO (INPOFOS). 1994. Fósforo en el suelo: propiedades y dinámica. *En*: Informaciones Agronómicas. No 14, (ene.); pág. 1 – 14.

Jones, D. 1998. Organic acids in the rhizosphere a critical review. *Plant Soil* 205: 25-44

Lynch, J. y Brown. K. 2001. Topsoil foraging: an architectural adaptation of Plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237: 225-237.

Marschner, H.; Römheld, V.; y Ossenber, N. 1982. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along roots of intact plants. *Z. Pflanzenphysiol Bd.* No. 105. Pág. 407-416.

Ospina, L. 1974. El fósforo en los Andisoles. *Revistas Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 6(1): 97-136.

Parra, C.; Martínez-Barajas, E.; Acosta, J. y Coello, P. 2004. Respuesta a la deficiencia de fosfato de genotipos de frijol contrastantes en su capacidad de crecer en suelos con bajo contenido de fósforo. *Agrociencia* 38: 131-139.

Peñaloza, E.; Carvajal, N.; Corcuera, L. y Martínez, J. 2000. Exudación de citrato y actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa en raíces de lupino blanco, en respuesta a variaciones en la disponibilidad de fósforo. *Agric. Téc.* v. 60 n.2.

Pérez, M. J. 2003. “Mecanismos fisiológicos y anatómicos que desarrollan algunas especies de plantas para solubilizar rocas fosfóricas y la utilización de P en suelos deficientes”, CENIAP-INIA de Venezuela, [en línea]. Dirección URL: <http://www.ceniap.gov.ve/seminarios/mperez.htm> [Consulta 2 de septiembre de 2011].

Pernett, Y. y Cháves, C. 1977. Efecto de la succión matricial sobre la absorción del fósforo por el maíz *Zea mays* y persistencia de su acción fertilizante en un Andosol de Nariño. Pasto, Colombia, 49 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. Argentina: El Ateneo. 499 p.

Rao, I.; Freeden, A. y Terry, N. 1993. Influence of phosphorus limitation on photosynthesis, carbon allocation and partitioning in sugar beet and soybean grown with a short photoperiod. *Plant Physiol.* 31: 223-231.

Römheld, V. 1986. Variaciones en el pH de la rizósfera de varias especies de plantas cultivadas en función de las aplicaciones de elementos. *Rev Potasa*. Sec 6, No 12. (1986); p. 1-8.

Sandzawka, A. 1989. El pH de la rizósfera del trigo y del lupino. *Agric Téc* (Chile), Vol. 49. Pág. 71-73.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. 2011. Plan de manejo Integral de residuos hospitalarios y similares. SENA Regional Nariño. Pág. 27.

Suárez, F. 1971. Efecto del tamaño de gránulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Tesis de Grado de M.Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA/OEA-CTEL. 89 p.

Trull, M. y Deikman, J. 1998. An Arabidopsis mutant missing one acid phosphatase isoform. *Plants* 206: 544-550.

Vélez, J. 2005. Evaluación del efecto solubilizante de la vicia andina (*Vicia sativa* L.) en sus diferentes estados de crecimiento, sobre dos fuentes de fósforo, en tres Andisoles con problemas de fijación, presentes en el Municipio de Pasto Departamento de Nariño. Trabajo de Grado de Magister en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño – Universidad Nacional de Colombia. 107 p.