

**VARIACIONES EN EL pH DE LA RIZÓSFERA Y EL CONTENIDO DE
FÓSFORO CON *Lupinus mutabilis* L. EN UN ANDISOL DE PASTO, COLOMBIA**

LISSETH YURANI HORMAZA GUEVARA

VILMA ORTIZ ORDOÑEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL

PASTO – COLOMBIA

2013

**VARIACIONES EN EL pH DE LA RIZÓSFERA Y EL CONTENIDO DE
FÓSFORO CON *Lupinus mutabilis* L. EN UN ANDISOL DE PASTO, COLOMBIA**

LISSETH YURANI HORMAZA GUEVARA

VILMA ORTIZ ORDOÑEZ

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

Presidente:

JORGE ALBERTO VÉLEZ LOZANO M.Sc

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL

PASTO – COLOMBIA

2013

NOTA DE RESPONSABILIDAD

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

Artículo 1^o 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 de jurado

Firma de jurado

San Juan de Pasto, Mayo 27 de 2013

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y METODOS	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIONES.....	28
AGRADECIMIENTOS.....	28
BIBLIOGRAFIA.....	29

VARIACIONES EN EL pH DE LA RIZÓSFERA Y EL CONTENIDO DE FÓSFORO CON *Lupinus mutabilis* L. EN UN ANDISOL DE PASTO, COLOMBIA¹

VARIATIONS IN THE pH OF THE RHIZOSPHERE AND PHOSPHORUS CONTENT WITH *Lupinus mutabilis* L. ON ONE ANDOSOL OF PASTO, COLOMBIA

Liseth Hormaza G.²

Vilma Ortiz O.³

Jorge Vélez L.⁴

RESUMEN

Se evaluaron las variaciones del pH rizosférico de *L. mutabilis* a los 13 y 40 días utilizando un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con 6 tratamientos y 3 repeticiones, aplicando dos fuentes fosfatadas (fosforita Huila y rafos) en el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad de Nariño, adicionalmente se determinó el contenido de fósforo aprovechable y fósforo unido al aluminio a los 30, 60 y 90 días, en un Andisol (Mapachico y Daza) al cual se le adicionó fosforita Huila y rafos en diferentes dosis (0, 25, 50 kg ha⁻¹) y se sembraron con *L. mutabilis*, se empleó un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con arreglo factorial 2x2x3 con 12 tratamientos y 3 repeticiones, en el invernadero del servicio nacional de aprendizaje (SENA). Los datos obtenidos indican que el pH de la solución agarizada influenciada por las raíces, presento disminuciones significativas a través del tiempo especialmente en el tratamiento donde se aplicó 50 kg ha⁻¹ de rafos. Para el fósforo

¹ Artículo científico presentado a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño para optar el título de Ingeniero Agroforestal.

² Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2013. E-mail: lisethhormazag@gmail.com.

³ Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2013. E-mail: ortizvilma@hotmail.com.

⁴ I.AF., M. Sc. Profesor Asistente. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales. 2013. E-mail: jvelezlozano@gmail.com.

aprovechable se encontraron valores altos a los 30 y 60 días después de la siembra en el suelo de Mapachico, principalmente cuando se aplicó 50 kg ha⁻¹ de rafos; esta condición cambió a los 90 días donde se evidencia mayor cantidad en el suelo de Daza. Para la variable fósforo unido al aluminio, transcurridos 30 días se encontraron mayores cantidades en el suelo de Mapachico al aplicar una dosis de 50 kg ha⁻¹, esta situación se modificó a los 60 y 90 días de evaluación donde se encontraron mayores cantidades en Daza cuando se aplicó fosforita Huila.

Palabras Clave: pH rizosférico, fósforo aprovechable, fósforo unido al aluminio, *L. mutabilis*.

ABSTRACT

Were evaluated rhizospheric pH variations of *L. mutabilis* at 13 and 40 days using a random unreservedly design with 6 treatments and 3 replicates, using two phosphate sources (fosforita Huila and Rafos) at the laboratory of plant physiology, University of Nariño, additionally was determined the content of available phosphorus and phosphorus fixed to aluminum at 30, 60 and 90 days, on one Andisol (Mapachico and Daza) to which were added fosforita Huila and rafos in different doses (0, 25, 50 kg ha⁻¹) and seeded with *L. mutabilis* under an random unreservedly design with factorial arrangement 2x2x3 with 12 treatments and 3 replications in the greenhouse of the SENA (servicio nacional de aprendizaje). The data indicate that the pH of the agarizada solution influenced by roots, present significant declines over time especially in treatment where was applied 50 kg ha⁻¹ of rafos. For the available phosphorus were found higher values at 30 and 60 days after planting on soil Mapachico, mainly when applied 50 kg ha⁻¹ of rafos, this condition changed at 90 days where more evidence on soil Daza. For the variable phosphorus fixed to aluminum, after 30 days were found in greater amounts on soil Mapachico at a dose of 50 kg ha⁻¹, this situation changed at 60 and 90 days of evaluation where found in larger quantities on soil Daza when applied fosforita Huila.

Key Words: pH rhizospheric, available phosphorus, phosphorus fixed to aluminum, *L. mutabilis*.

INTRODUCCION

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) cubren una apreciable área de América Central y América del Sur. La fracción arcilla de estos suelos está dominada por minerales amorfos, especialmente de alófana que proviene de la meteorización de los materiales piroclásticos producto de erupciones volcánicas. Una de las características más importantes de estos suelos es su capacidad para fijar fósforo en la superficie de los minerales amorfos, siendo esta la principal limitante química. Aparentemente, la capacidad de fijación de P de estos suelos varía con el tipo de arcilla presente y esto a su vez cambia el efecto residual de las aplicaciones de los fertilizantes fosfatados (Espinosa, 1998).

En Los Andisoles del departamento de Nariño, la baja disponibilidad de P es una limitante de la producción, dado que el nivel de aprovechabilidad para las plantas muchas veces es bajo y el fósforo aplicado en forma de fertilizante es rápidamente fijado en el suelo, por tal motivo para asegurar una eficiente nutrición vegetal, es necesario potenciar los factores químicos y biológicos del suelo que contribuyan a suplir el fósforo necesario para los cultivos (INPOFOS, 1994).

Al respecto, Parra *et al.* (2004), manifiestan que existen plantas que presentan modificaciones morfológicas y bioquímicas para una mayor eficiencia en la absorción o la utilización de las fuentes fosfatadas.

De acuerdo a lo anterior, Pérez (2003), afirma que la condición ideal para aumentar la solubilidad de las fuentes fosfatadas y que el P liberado se mantenga disponible para las especies en el sistema suelo-planta, sería aquel que pudiera proveer suficiente acidez para disolver el fertilizante fosfórico, es así como se han reportado 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.

Sadzawka (1989), afirma que la especie leguminosa *Lupinus* tiene la habilidad de crecer en suelos bajos en P disponible, las evidencias sugieren que la exudación radicular de agentes reductores, quelantes y protones favorece el movimiento del P hacia las raíces.

Fernández y Ramírez (2001), evaluaron el efecto radical en los cambios de pH de la rizósfera y su influencia en la disponibilidad de P en siete líneas de maíz desarrolladas en un suelo ácido y en un suelo encalado, a los cuales se les aplicaron iguales dosis de roca fosfórica y súper fosfato triple, se encontró que a los 45 días los materiales genéticos evaluados y fertilizados con roca fosfórica modificaron de forma diferente el pH de la rizósfera. Estos cambios se relacionaron con la disponibilidad de P en la zona radical. Por otra parte, en el suelo encalado no se produjeron cambios significativos en el pH que permitieran incrementar la solubilidad del P proveniente de la roca fosfórica.

En este sentido, algunos autores han encontrado que bajo condiciones de deficiencia de P, ocurre una mayor acidificación de la rizósfera por el incremento de la exudación de citratos, este es un mecanismo fisiológico empleado por las plantas para incrementar el aprovechamiento del P de las fuentes escasamente solubles (Marschner *et al.*, 1987; Hoffland, 1992; Jones y Darrah, 1994; Tagliavini *et al.*, 1995).

Sadzawka (1989), en la investigación denominada el pH de la rizósfera del trigo y del lupino empleó semillas pregerminadas las cuales se sembraron en cajas de plástico que contenían un suelo Typic Dystrandept y una solución de agar. El trigo cultivado en el suelo desarrolló una rizósfera de pH superior a 6,8; en cambio, la rizósfera del lupino, en el mismo suelo fue de pH inferior a 5,2. La siembra de ambas especies en agar, sin suelo, produjo resultados similares. Estos resultados contribuyeron a explicar la mayor eficiencia del lupino respecto al trigo, en la absorción de P, pues la acidificación de la rizósfera puede aumentar la solubilidad de los compuestos fosfatados del suelo.

Por las consideraciones anteriores el trabajo tuvo como objetivos determinar las variaciones de pH de la rizósfera de *L. mutabilis* a los 13 y 40 días y cuantificar el contenido de P aprovechable y P unido al Al en un Andisol del municipio de San Juan de Pasto (Mapachico y Daza), sembrados con la misma especie; al aplicar 0, 25 y 50 kg ha⁻¹ de P contenido en dos fuentes fosfatadas (fosforita Huila y rafos) a los 30, 60 y 90 días.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en dos fases que se llevaron a cabo simultáneamente:

La fase I (fase de laboratorio) se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, con una altitud de 2540 msnm y una temperatura promedio de 20°C (Benavides y Bravo, 1997).

Se sembraron semillas de *L. mutabilis* pregerminadas en agua desionizada. Para evaluar los cambios generados por la raíz se utilizó la solución nutritiva de Marschner-Römheld y Ossenberg-Neuhaus, acondicionada con agar para proveer de un medio consistente a la raíz permitiéndole un adecuado crecimiento y se empleó purpura de bromocresol como solución indicadora de pH (Marschner *et al.*, 1982).

Se determinó el valor del pH de la solución influenciada por la raíces de la leguminosa, a los 13 y 40 días después de la siembra, utilizando un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con seis (6) tratamientos y tres (3) repeticiones para un total de dieciocho (18) unidades experimentales. En la tabla 1 se observa la descripción de los tratamientos.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados en la Fase I del estudio variaciones en el pH de la rizósfera y el contenido de P con *L. mutabilis* en un Andisol.

Tratamiento	Descripción
1	Solución agarizada sin <i>L. mutabilis</i> (Testigo)
2	Solución agarizada con <i>L. mutabilis</i> , sin fuente fosfatada
3	25 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila con <i>L. mutabilis</i>
4	50 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila con <i>L. mutabilis</i>
5	25 kg ha ⁻¹ de P como rafos con <i>L. mutabilis</i>
6	50 kg ha ⁻¹ de P como rafos con <i>L. mutabilis</i>

La fase II (fase de invernadero) se realizó en el invernadero del servicio nacional de aprendizaje (SENA), Finca Lope, ubicada en el municipio de San Juan de Pasto, a una

altitud de 2583 msnm, dentro del invernadero se manejaron temperaturas entre 26 y 28°C (SENA, 2011).

Los corregimientos correspondientes a Daza y Mapachico se clasifican como Typic Melanudands, se caracterizan por ser superficiales a moderadamente profundos, con abundantes fragmentos rocosos, bien drenados, de textura franco-gruesa o franco-fina; 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 (IGAC, 2003). En la tabla 2 se observa los resultados del análisis de suelos realizado en las dos localidades.

Con respecto a las fuentes fosfatadas empleadas Guerrero (1998), afirma que fosforita Huila es una roca fosfórica soluble en citrato de amonio neutro (NAC), contiene un 28% de fósforo (P_2O_5) y 2% de Calcio (CaO). Y rafos es un fertilizante complejo, altamente soluble en agua, contiene un 12% de nitrógeno total (N), 24% de fósforo (P_2O_5), 12% de potasio (K_2O), 2% de magnesio (MgO), 1% de azufre (S), 0.04% de boro (B) y 0.02% de zinc (Zn).

Tabla 2. Análisis de los suelos utilizados en la Fase II del estudio variaciones en el pH de la rizósfera y el contenido de P con *L. mutabilis* en un Andisol.

Parámetros	Unidad de medida	Mapachico	Daza
Parámetros químicos			
pH		5,42	5,59
Materia orgánica	%	6,18	13,20
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	13,4	2,99
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	23,3	44,9
Calcio de cambio		10,1	6,67
Magnesio de cambio		1,52	1,90
Potasio de cambio		1,11	0,71
Aluminio de cambio		0,22	2,20
Hierro	mg kg ⁻¹	265	110
Parámetros físicos			
Densidad aparente	g cc	1,03	0,74

Se tomaron 54 muestras de suelo en cada localidad a 30 cm de profundidad, con cilindros de PVC de 11 cm de diámetro y 30 cm de largo, posteriormente se sembraron semillas de *L. mutabilis* previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% y se aplicaron las dos fuentes fosfatadas a razón de 0, 25 y 50 kg ha⁻¹.

Transcurridos 30, 60 y 90 días después de la siembra se tomaron muestras de suelo rizosférico para determinar el contenido de P aprovechable colorimétricamente a 660 nm, empleando una solución extractora de HCl 0,1 N y NH₄F 3.03 N (método de Bray y Kurtz n° 2), también se evaluó el P-Al, colorimétricamente a 660 nm, utilizando NH₄F 0,5 N y H₃Bo₃ 0.8 molar (método Chang y Jackson). Se empleó un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con un arreglo factorial 2x2x3 con 12 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales. En la tabla 3 se observa la descripción de los tratamientos.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de la Fase II del estudio variaciones en el pH de la rizósfera y el contenido de P con *L. mutabilis* en un Andisol.

Tratamiento	Descripción
1	Suelo Mapachico 0 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
2	Suelo Mapachico 25 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
3	Suelo Mapachico 50 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
4	Suelo Mapachico 0 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>
5	Suelo Mapachico 25 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>
6	Suelo Mapachico 50 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>
7	Suelo Daza 0 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
8	Suelo Daza 25 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
9	Suelo Daza 50 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila sembrado con <i>L. mutabilis</i>
10	Suelo Daza 0 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>
11	Suelo Daza 25 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>
12	Suelo Daza 50 kg ha ⁻¹ de P como rafos sembrado con <i>L. mutabilis</i>

El análisis estadístico de las dos fases se realizó mediante un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan y Tukey empleando el software InfoStat versión 2.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variaciones de pH

El análisis de varianza (Tabla 4) indica diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos a los 13 y 40 días después de la siembra.

Tabla 4. Análisis de varianza para los valores de pH rizosférico de la solución agarizada con *L. mutabilis* aplicando dos fuentes fosfatadas a los 13 y 40 días después de la siembra.

FV	GL	CM		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.

La prueba de comparación de medias de Duncan, registró una disminución en el pH de la solución agarizada a través del tiempo (Tabla 5) efecto que se debe a la fisiología radical de la planta; la disminución fue más evidente en los tratamientos donde se sembró *L. mutabilis* aplicando como fuente fosfatada rafos a una dosis de 50 kg ha⁻¹.

Tabla 5. Comparación de medias para los valores de pH rizosférico de la solución agarizada con *L. mutabilis* aplicando dos fuentes fosfatadas a los 13 y 40 días después de la siembra.

Tratamiento	Promedio	
	13 Días	40 Días
Solución agarizada sin <i>L. mutabilis</i> (Testigo)	6,44 a	6,44 a
Solución agarizada con <i>L. mutabilis</i> , sin fuente fosfatada	5,94 ab	5,72 b
25 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila con <i>L. mutabilis</i>	5,86 b	5,60 b
50 kg ha ⁻¹ de P como fosforita Huila con <i>L. mutabilis</i>	5,76 b	5,41 b
25 kg ha ⁻¹ de P como rafos con <i>L. mutabilis</i>	5,60 b	5,28 bc
50 kg ha ⁻¹ de P como rafos con <i>L. mutabilis</i>	4,93 c	4,71 c

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

Hinsinger (2001), señala que los cambios de pH de la rizósfera se deben a la exudación de ácidos orgánicos, mantenimiento del balance cationes/aniones, liberación de iones H⁺, variaciones del potencial redox, liberación de CO₂ por respiración de raíces, además de la absorción preferencial de NH₄⁺ o NO₃⁻.

En este sentido, algunas investigaciones han permitido conocer que existen especies de lupino como *L. albus*, *L. cosentinni* y *L. angustifolius* que tienen la capacidad de movilizar y solubilizar P de fuentes normalmente no aprovechables para otros cultivos, lo que les permite autoabastecerse de dicho nutrimento. Entre los mecanismos que estas plantas desarrollan están:

- Excreción de protones por las raíces, lo cual provoca descensos de pH en la rizósfera (Aguilar y Van Diets, 1981).
- Capacidad de exploración, las raíces que presentan estas especies les permite aprovechar los nutrientes de las capas más profundas del suelo de manera que además de autoabastecerse de fósforo, lo deja disponible para otros cultivos que se encuentren en asociación con ella, resultando en una mayor producción de biomasa (Bolland, 1995; Hinsinger y Gilkes, 1995).
- Desorción de P de óxidos de Fe^{+3} y Al^{+3} por intercambio de aniones (Dinkelaker *et al.*, 1989; Jungk *et al.*, 1993).
- Secreción de ácido cítrico e iones citrato, compuestos dominantes en los exudados de las raíces proteiodes (Gardner *et al.*, 1983), que permiten la movilización eficiente de P en suelos ácidos.
- Secreción de fosfatasa ácida (Tadano *et al.*, 1993; Ozawa *et al.*, 1995).
- Secreción de iones H^+ (Espinosa, 1997).

De esta manera, la rizósfera ácida que genera el lupino, contribuye a explicar la alta eficiencia frente al fósforo que presenta esta especie, en suelos deficientes en este elemento, ya que puede inducir un aumento de la disponibilidad de fosfato por solubilización de los compuestos de fósforo presentes en el suelo (Sadzawka, 1989).

Por otro lado, la variación del pH también se puede atribuir a la actividad microbial en la rizósfera (Römheld, 1986), ya que los microorganismos secretan compuestos ácidos que se originan en la degradación de la materia orgánica (Navarro, S y Navarro, G; 2003).

Fósforo Aprovechable

El análisis de varianza (Tabla 6), transcurridos 30 días después de la siembra mostró diferencias altamente significativas para los factores suelos y dosis; y diferencias significativas para la interacción suelos*dosis. No se encontraron diferencias para los demás efectos simples e interacciones.

A los 60 días de evaluación se evidencian diferencias significativas para el factor suelos. No se encontraron diferencias para los demás efectos simples e interacciones.

A los 90 días se encontraron diferencias altamente significativas para los factores suelos, dosis y la interacción suelos*dosis; y diferencias significativas para el factor fuentes y la interacción suelos*fuentes. No se encontraron diferencias significativas para las interacciones dosis*fuentes y suelos*dosis*fuentes.

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable P aprovechable con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

FV	GL	30 días (%)		60 días (%)		90 días (%)	
		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
Modelo	11	169,92	0,0001	26,82	0,1034	151,01	0,0001
Suelos	1	1135,02**	0,0001	69,83*	0,0388	1128,40**	0,0001
Dosis	2	290,01**	0,0001	21,68 ^{ns}	0,2469	118,70**	0,0001
Fuentes	1	0,01 ^{ns}	0,9851	19,36 ^{ns}	0,2610	31,64*	0,0204
Suelos*dosis	2	53,59*	0,0440	47,50 ^{ns}	0,0563	103,90**	0,0001
Suelos*fuentes	1	13,40 ^{ns}	0,3545	0,75 ^{ns}	0,8226	31,19*	0,0212
Dosis*fuentes	2	0,38 ^{ns}	0,9748	19,94 ^{ns}	0,2745	5,62 ^{ns}	0,3508
Suelos*dosis*fuentes	2	16,37 ^{ns}	0,3524	13,41 ^{ns}	0,4130	6,73 ^{ns}	0,2880
Error	24	15,03		14,61		5,13	
Total	35						

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad, *Significativo al 99% de confiabilidad, ^{ns} No significativo.

La prueba de comparación de medias de Tukey a los 30 días de evaluación evidencia efectos de interacción, es decir que el suelo afecta el contenido de P aprovechable a ciertas dosis, los datos demuestran un aumento en los valores en las dos localidades, destacándose el suelo de Mapachico al cual se le aplicó una dosis de 50 kg ha⁻¹ de fuente fosfatada (26,52 mg kg⁻¹) diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos (Figura 1).

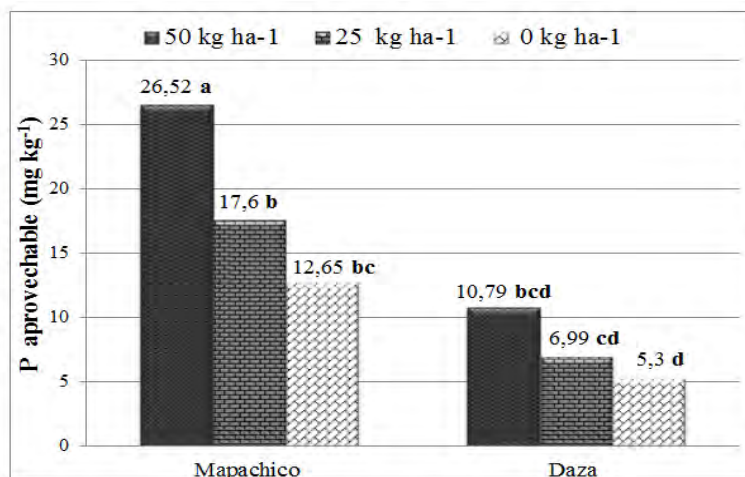


Figura 1. Comparación de medias para la variable P aprovechable con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 30 días después de la siembra, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Este efecto se atribuye a los bajos contenidos de aluminio (0,22 cmol kg⁻¹) y materia orgánica (6,18%) presentes en Mapachico en comparación con el suelo de Daza (2,20 cmol kg⁻¹) y (13,20%), situación que permite manifestar de acuerdo a Guerrero (1998), que el fósforo aprovechable se encuentra directamente relacionado con la capacidad de fijación de P que presente un suelo.

De acuerdo a lo anterior, Fassbender (1969), menciona que el fósforo aprovechable en los suelos es muy variable, y que este comportamiento se puede atribuir a las características que presente determinado suelo y la naturaleza del fenómeno de fijación, de esta manera las arcillas y la materia orgánica pudieron ejercer un efecto de adsorción y, por otro lado, el aluminio y el hierro presentes pudieron precipitar con los iones fosfato en compuestos de menor solubilidad, por lo tanto a mayor contenido de materia orgánica, arcillas, aluminio y

hierro en los suelos, mayor será la fijación de fosfatos y menor será el efecto de los fertilizantes fosfatados.

Por otro lado, Guerrero (1962), afirma que los niveles de fósforo aprovechable están ligados a las dosis de fertilizantes adicionadas al suelo, y a la capacidad de fijación por lo tanto, ciertas dosis de fertilizante pueden ser suficientes para saturar la capacidad de fijación de fósforo en un suelo y de esta manera gran parte del fertilizante aplicado es directamente aprovechable por la planta.

La prueba de comparación de medias de Tukey a los 60 días muestra niveles más altos de P aprovechable en el suelo de Mapachico ($17,12 \text{ mg kg}^{-1}$) diferenciándose estadísticamente del suelo de Daza ($14,34 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de medias para la variable P aprovechable con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 60 días después de la siembra.

Suelos	Medias (mg kg^{-1})
Mapachico	17,12 a
Daza	14,34 b

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

Este comportamiento en el contenido de fósforo aprovechable se relaciona con las propiedades químicas que presentan los suelos de cada localidad.

De acuerdo a lo anterior, Rojas (2002), manifiesta que el contenido de fósforo disponible en el suelo es una variable dinámica, fuertemente influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales.

Al respecto, Finck (1988), afirma que uno de los efectos más importante que presenta el suelo sobre la cantidad de fósforo aprovechable; es su capacidad de fijación, por tal motivo; cuanto más sean las condiciones que favorezcan la fijación, tanto menor es la cantidad de fósforo aprovechable para las plantas. En este sentido, cuando se añade un fertilizante fosfatado al suelo, comienza a solubilizarse y a reaccionar más o menos rápidamente con los compuestos del suelo por este motivo, en los suelos ácidos los fosfatos añadidos como

fertilizantes reaccionan generalmente con compuestos de hierro y aluminio para formar fosfatos poco solubles (Ospina, 1974; Sánchez, 1981; Salinas, 1990).

Finck (1988), expresa que cuando un suelo presenta mayores cantidades de fósforo asimilable el suministro de fuentes de fósforo es variable, y esta cantidad puede resultar suficiente para obtener niveles altos de P aprovechable.

La prueba de comparación de medias de Tukey trascurridos 90 días después de la siembra evidencia mayores valores para el fósforo aprovechable en los suelos a los cuales se les adicionó rafos ($7,40 \text{ mg kg}^{-1}$) diferenciándose estadísticamente de la otra fuente fosfatada aplicada (fosforita Huila) con un promedio de ($5,52 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de medias para la variable P aprovechable con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 90 días después de la siembra.

Fuentes	Medias (mg kg^{-1})
Rafos	7,40 a
Fosforita Huila	5,52 b

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

Efecto que se atribuye a que los fertilizantes tienen grados de aprovechamiento diferentes de ácido fosfórico, influenciado por su granulometría y solubilidad, al respecto se ha encontrado 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 (Suárez, 1971).

Engelstad y Terman (1980), explican que la relación tamaño de partícula-solubilidad del P y su efecto sobre la eficiencia de los fertilizantes fosfatados hidrosolubles, no es clara y tiende a desaparecer en la medida que aumenta la disponibilidad del P en el suelo. Sin embargo, el efecto de la granulometría sobre la aprovechabilidad de los fertilizantes hidrosolubles es muy variable y depende de factores múltiples como las características del suelo, especie cultivada, naturaleza del fertilizante y tecnología utilizada para su aplicación.

A los 90 días de evaluación la prueba de comparación de medias de Tukey mostró efectos de interacción, es decir que el suelo afecta el tipo de P aprovechable a ciertas dosis, encontrando promedios mayores en el suelo de Daza al cual se le aplicó una dosis de 50 kg ha⁻¹ de fuente fosfatada (18,43 mg kg⁻¹), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos (Figura 2).

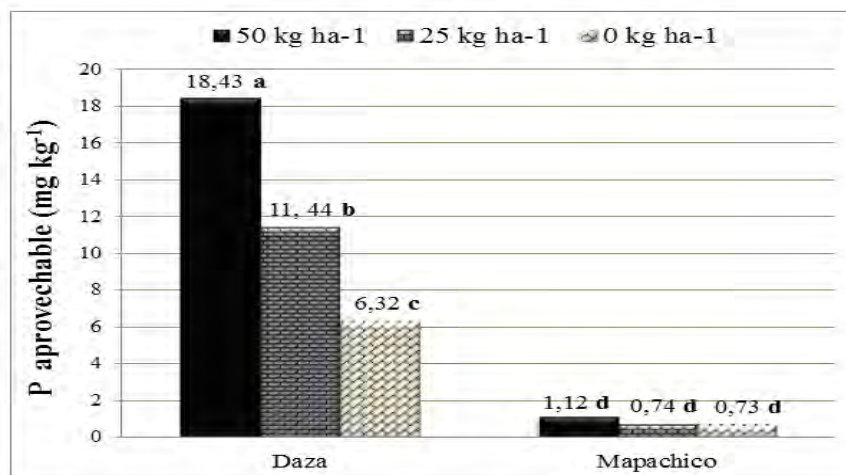


Figura 2. Comparación de medias para la variable P aprovechable con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 90 días después de la siembra, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

El comportamiento del fósforo aprovechable puede atribuirse a la capacidad de restablecer el fósforo de la solución que presentan los dos suelos de estudio y a la extracción efectuada por la planta.

En este sentido, Rojas (2002), expresa que el contenido de P aprovechable en un suelo dependerá fundamentalmente de la cantidad de P agregado, capacidad del suelo de restablecer el fósforo de la solución (capacidad tampón de P del suelo), las características del suelo que permiten el paso de iones fosfato desde las zonas de alta concentración a la superficie de las raíces (difusión) y de la extracción efectuada por el cultivo.

Por otro lado, las dosis bajas de fertilizante fosfatado aplicadas tienen un bajo impacto en el fósforo aprovechable debido a que el P reacciona con los componentes del suelo, que lo

hacen menos disponible, a medida que las dosis de aplicación se incrementan, el fósforo aprovechable aumenta y puede ser absorbido inmediatamente por la planta (Undurraga, 1999).

Fósforo unido al Aluminio

El análisis de varianza (Tabla 9), transcurridos 30 días después de la siembra mostró diferencias altamente significativas para los factores suelos y dosis, y diferencias significativas para la interacción suelos*dosis. No se encontraron diferencias estadísticas para los demás efectos simples e interacciones.

A los 60 días se evidencian diferencias altamente significativas para los factores suelos, dosis y diferencias significativas para la interacción dosis*fuentes. No se encontraron diferencias estadísticas para los demás efectos simples e interacciones.

Después de 90 días de evaluación se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para los factores suelos, dosis, fuentes, y las interacciones suelos*fuentes, dosis*fuentes y suelos*dosis*fuentes. No se encontraron diferencias para la interacción suelos*dosis.

Tabla 9. Análisis de varianza para P-Al con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

FV	GL	30 días (%)		60 días (%)		90 días (%)	
		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
Modelo	11	2595,51	0,0006	1313,40 ^{ns}	0,0001	1576,48	0,0001
Suelos	1	6267,36**	0,0023	8767,20**	0,0001	14506,20**	0,0001
Dosis	2	6135,73**	0,0003	1122,86**	0,0093	112,97**	0,0074
Fuentes	1	1834,69 ^{ns}	0,0776	86,4 ^{ns}	0,5133	506,33**	0,0001
Suelos*dosis	2	2028,75*	0,0380	390,29 ^{ns}	0,1591	36,52 ^{ns}	0,1627
Suelos*fuentes	1	784,00 ^{ns}	0,2398	278,89 ^{ns}	0,2451	1093,29**	0,0001
Dosis*fuentes	2	715,50 ^{ns}	0,2844	928,04*	0,0186	293,39**	0,0001
Suelos*dosis*fuentes	2	952,29 ^{ns}	0,1928	216,20 ^{ns}	0,3489	174,82**	0,001
Error	24	539,69		196,45		18,63	
Total	35						

**Altamente significativo al 99% de confiabilidad, * Significativo al 99% de confiabilidad, ^{ns} No significativo.

La prueba de comparación de medias de Tukey a los 30 días de evaluación evidencia efectos de interacción, es decir que el suelo afecta el tipo de P-Al a ciertas dosis, encontrándose mayores valores en el suelo de Mapachico al aplicar 50 kg ha⁻¹ de P (114,83 mg kg⁻¹) y en el suelo de daza al aplicar las tres dosis, diferenciándose estadísticamente de los suelos de Mapachico a los cuales se les aplicó 25 y 0 kg ha⁻¹ con promedios de 68,63 mg kg⁻¹ y 44,78 mg kg⁻¹ correspondientemente (Figura 3).

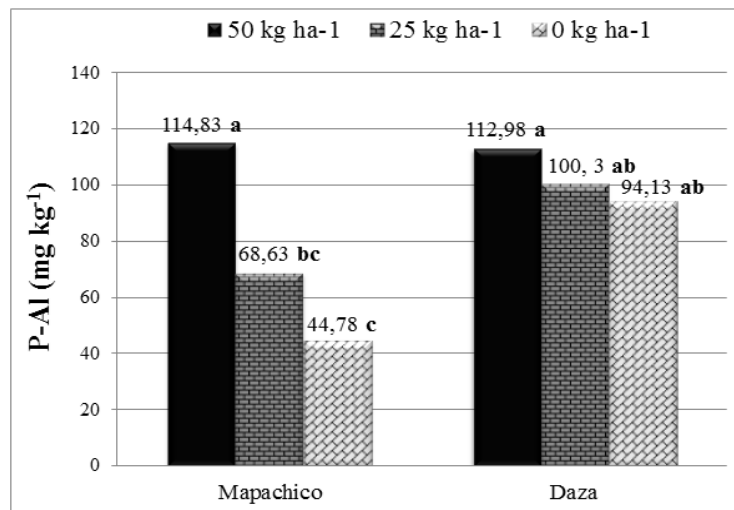


Figura 3. Comparación de medias para la variable P-Al con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 30 días después de la siembra, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los altos contenidos de P unido al aluminio en el suelo de Mapachico se deben probablemente al hecho de que los fosfatos de Al^{+3} se incrementan cuando las dosis de P aplicado aumentan, estos resultados concuerdan con los hallados por Martínez *et al.*, (1986). Por otro lado las fracciones de P unido al aluminio en Daza se pueden atribuir a los altos contenidos de aluminio y materia orgánica presentes en este suelo.

León (1981), manifiesta que en los Andisoles, la fijación es el resultado de la reacción del P con compuestos de Fe^{+3} y Al^{+3} , generalmente óxidos e hidróxidos y con arcillas de tipo alofánico. Los factores que influyen en la fijación del P en el suelo son: el tipo de arcilla, el tiempo de reacción, el pH del suelo, la materia orgánica y el contenido original de P en el suelo.

Al respecto Espinosa (1998), afirma que la fracción humus en los Andisoles forma fácilmente complejos con el Al^{+3} , los grupos hidroxilo combinados con el Al^{+3} acomplexado entran en reacciones de intercambio de ligandos con $HPO_4^{=}$ y $H_2PO_4^{-}$, fijando fuertemente el P aplicado.

La prueba de comparación de medias de Tukey a los 60 días después de la siembra mostró mayores valores de P-Al en el suelo de Daza (77,31 mg kg⁻¹) diferenciándose estadísticamente de los valores encontrados en el suelo de Mapachico (46,10 mg kg⁻¹) (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de medias para la variable P-Al con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 60 días después de la siembra.

Suelos	Medias (mg kg ⁻¹)
Daza	77,31 a
Mapachico	46,10 b

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

Este comportamiento puede estar relacionado con los altos contenidos de Al⁺³ y materia orgánica presentes en el suelo de Daza. Al respecto Espinosa (1998), manifiesta que los suelos dominados por complejos humus-Al⁺³ parecen tener un mayor potencial de fijar P, la cual aparentemente es difícil de satisfacer.

A los 60 días de evaluación se encontraron efectos de interacción, es decir que las fuentes afectan el contenido de P-Al a ciertas dosis. Los resultados muestran un comportamiento similar cuando se aplicó la fuente fosfatada fosforita Huila a unas dosis de 50 kg ha⁻¹ (78,70 mg kg⁻¹) y 0 kg ha⁻¹ (62,07 mg kg⁻¹), el mismo comportamiento se observó cuando se aplicó 50 kg ha⁻¹ de rafos (66,82 mg kg⁻¹) y 25 kg ha⁻¹ (66,15 mg kg⁻¹); los promedios más bajos se evidenciaron cuando se aplicaron 25 kg ha⁻¹ de fosforita Huila (49,0 mg kg⁻¹) y 0 kg ha⁻¹ de rafos (47,50 mg kg⁻¹) (Figura 4).

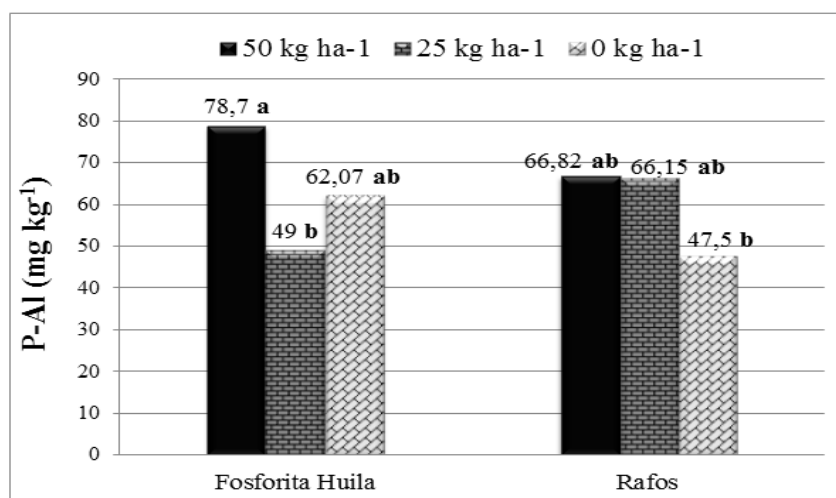


Figura 4. Comparación de medias para la variable P-Al con *L. mutabilis* bajo dos fuentes fosfatadas 60 días después de la siembra, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Guerrero (1998), menciona que la solubilidad y por tanto la aprovechabilidad del P de los fertilizantes hidrosolubles es mayor que la correspondiente a los citrosolubles. No obstante, en determinadas circunstancias los citrosolubles resultan de igual o mayor eficacia agronómica que los hidrosolubles.

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 fue prácticamente nula, pero se incrementó sustancialmente cuando se utilizó superfosfato granulado.

La prueba de comparación de medias de Tukey a los 90 días de evaluación para la interacción suelos*dosis*fuentes, muestra que el suelo, las fuentes fosfatadas y las dosis, cada uno con sus respectivos niveles, influyen en el comportamiento del P-Al.

Los resultados evidencian que cuando se hicieron aplicaciones de la fuente fosfatada fosforita Huila, el contenido de P-Al obtuvo un mayor promedio cuando se adiciono 50 kg ha⁻¹ de P en el suelo de Daza (51,60 mg kg⁻¹) (Figura 5).

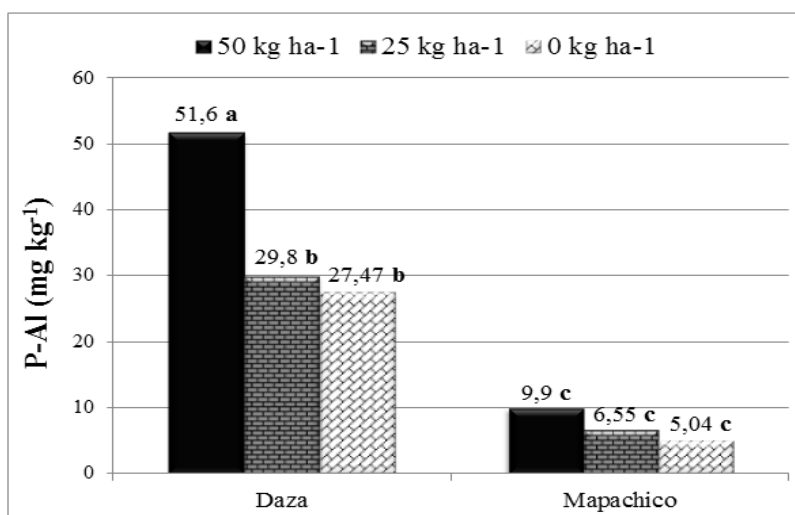


Figura 5. Promedio de P-Al para la interacción Suelos*Dosis*Fuentes 90 días después de la siembra cuando se aplicó la fuente fosfatada fosforita Huila, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Teniendo en cuenta estos resultados se puede expresar que existe un comportamiento directamente proporcional entre las dosis de fuentes fosfatadas empleadas y los valores de P-Al en los suelos, este comportamiento puede estar relacionado con el grado de disolución del fertilizante fosforita Huila que se caracteriza por ser de lenta liberación y con las características del suelo entre ellas la alófana la cual posee una alta capacidad de retención de agua, alta superficie específica, alto coeficiente de fijación de fósforo y una gran afinidad con sustancias húmicas (Sadzawka y Besoain, 1985). Además de los altos contenidos de materia orgánica y aluminio.

Con la aplicación de rafos, el P-Al presentó mayores promedios en el suelo de Daza, al aplicar las tres dosis. (figura 6).

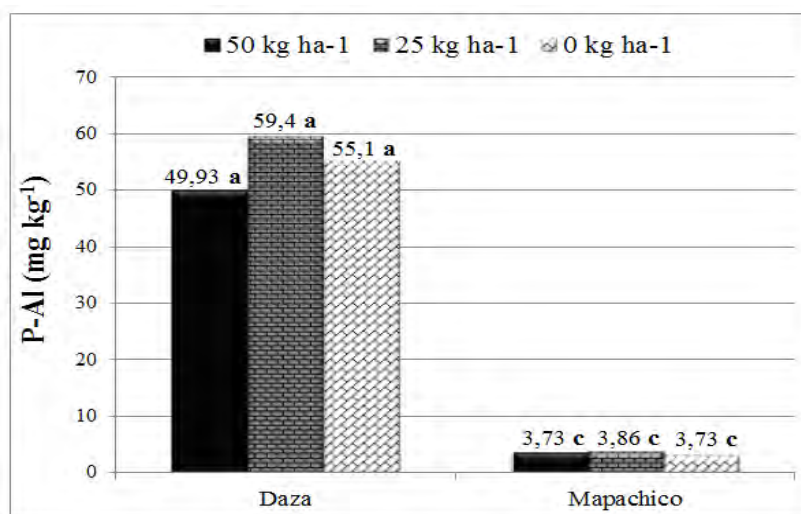


Figura 6. Promedio de P-Al para la interacción Suelos*Dosis*Fuentes 90 días después de la siembra cuando se aplicó la fuente fosfatada rafos, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Este efecto se puede atribuir a la alta solubilidad de la fuente fosfatada rafos y a las características que presenta el suelo Daza (altos contenidos de Al^{+3} y materia orgánica).

Estos resultados corroboran la influencia de los altos contenidos de Al^{+3} presentes en el suelo de Daza, cuyo valor corresponde a $2.20 \text{ cmol kg}^{-1}$. Situación que permite manifestar de acuerdo a Ospina (1974), que el Al^{+3} 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 P.

Los suelos del municipio de San Juan de Pasto, presentan una acentuada capacidad para fijar fosfatos, siendo los principales compuestos responsables de esta fijación la alófana, el aluminio intercambiable, el aluminio ligado a la materia orgánica y a los sesquióxidos de hierro y aluminio, confirmando así, los resultados obtenidos por Mora y Legarda (1969), quienes reconocieron el alto poder de fijación de P de los suelos de Nariño los cuales se caracterizan por ser de reacción ácida, con una alta saturación de aluminio intercambiable y bajo contenido de P disponible, reportándose valores de fijación hasta del 99% del P aplicado en suelos volcánicos de este departamento.

Cuando el suelo está intemperizado, es mayor la fijación de P. Así mismo, donde la arcilla está intacta y cristalizada la fijación es menor, mientras que en los óxidos amorfos de Al^{+3} y Fe^{+3} , Al^{+3} intercambiable y alófanos tienen un alto poder de fijación (Primavesi, 1982).

Al respecto Ryan *et al.* (2001), mencionan que, los fosfatos que están fijados en los hidróxidos de Al^{+3} y Fe^{+3} son desplazados o remplazados por aniones orgánicos producidos por las raíces de las leguminosas incrementando así la disponibilidad de P para su nutrición.

CONCLUSIONES

El pH de la solución agarizada sufrió disminuciones significativas a través del tiempo especialmente en los tratamientos donde se aplicó 50 kg ha^{-1} de fósforo como rafos.

El contenido de fósforo aprovechable presente en los suelos de las dos localidades evidencia incrementos significativos, destacándose el suelo de Mapachico a los 30 ($26,52 \text{ mg kg}^{-1}$) y 60 ($17,12 \text{ mg kg}^{-1}$) días cuando se aplicó 50 kg ha^{-1} de fósforo como rafos.

El contenido de fósforo unido al aluminio en las dos localidades, evidencia disminuciones significativas a través del tiempo, encontrando valores promedio de $89,25 \text{ mg kg}^{-1}$ y $25,47 \text{ mg kg}^{-1}$ a los 30 y 90 días correspondientemente.

AGRADECIMIENTOS

A Jorge Vélez Lozano I.AF. M.Sc. Asesor principal de la investigación por su apoyo y enseñanzas.

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño por la financiación de la investigación.

A Jorge Navia I.A Ph.D; Jesús Castillo I.A Ph.D y Germán Chávez I.A. Esp. M.Sc. por su orientación.

A Juan Carlos Delgado, Químico. Por su apoyo en Laboratorio.

Al Plan de Investigación para el Fortalecimiento Integral de las comunidades (PIFIL) por respaldar nuestro espíritu investigativo y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar, S., y Van Diest, A. 1981. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant Soil*. 61 (1): 27-42.

Benavides, C. y Bravo, M. 1997. Diseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales para la Universidad de Nariño. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Nariño. Pasto. p. 320.

Bolland, M. 1995. *Lupinus cosentinni* more effectively utilizes low levels of phosphorus from superphosphate than *Lupinus angustifolius*. *Journal of Plant Nutrition*. 18: 421-435.

Dinkelaker, B., Romheld, V., Marschner. H. 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell and Environ*. 12: 285-292.

Engelstad, O. y Terman, G. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. p. 311-332. En: *The Role of Phosphorus in Agriculture*. United states.

Espinosa, V. 1997. Nutritional ecology of legume species with particular reference to phosphorus. Ph. D. Thesis, Oxford, Inglaterra.

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

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

Fassbender, H. 1969. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América. p. 45-46. En: panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina.

Fernández, S. y Ramírez, R. 2001. Efecto del sistema radical de siete líneas de maíz en los cambios de pH de la rizósfera y su influencia en la disponibilidad del fósforo. Bioagro. 13 (1): 3-9.

Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial reverté, S.A. España. p. 74.

Gardner, W. 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. Plant Soil 70: 107-124; 391-402.

Guerrero, R. 1998. Propiedades generales de los fertilizantes. Tercera edición. Monómeros Colombo-Venezolanos. Santafé de Bogotá, Colombia. p. 12, 80.

Guerrero, R. 1962. Estudio del efecto de dosis ascendentes de nitrógeno, dosis ascendentes de P_2O_5 con dos formas de aplicación y cuatro combinaciones sobre la producción y composición del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Tesis de grado Magister Scientiae. Instituto interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. Costa Rica. p. 54.

Hinsinger, P. y Gilkes, R. 1995. Root-induced dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of lupins grown in alkaline soil. Aust. J. Soil Res. 6 (33): 477-489.

Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes. Plant Soil. 237 (1): 173-195.

Hoffland, E. 1992. Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. Plant and Soil. 140 (2): 279-289.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2003. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Nariño, Colombia. [CD – ROM].

- Instituto de la Potasa y el Fósforo - INFOPOS. 1994. Fósforo en el suelo: propiedades y dinámica. *Informaciones Agronómicas*. 14: 1–14.
- Jones, D. y Darrah, P. 1994. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. *Plant and Soil*. 166 (2): 247-257.
- Jungk, A., Seeling, B., Gerke, J. y Barrow, N. 1993. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. *Plant Soil*. 54: 91-94; 155-156.
- León, L. 1981. Fertilización fosfórica del arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Colombia. p. 10-12.
- Martínez, J., Jiménez, R., y Lora, R. 1986. Dinámica del fósforo en el suelo de un páramo de Cundinamarca. *Suelos Ecuatoriales. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*. 16 (1): 192–205.
- Marschner, H., Römheld, V. y Ossenber, N. 1982. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along roots of intact plants. *Zeitschrift für pflanzenphysiologie*. 105 (5): 407-416.
- Marschner, H., Römheld, V. y Cakmak, I. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal Plant Nutrition*. 10 (9): 1175-1184.
- Mora, E. y Legarda, L. 1969. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de America Latina. Ed. Bib. Orton IICA/CATIE. Turrialba. Costa Rica. p. 978.
- Navarro, S. y Navarro, G. 2003. *Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida*. 2da Ed. Mundiprensa. Madrid, España. p. 122.
- Ozawa, K., Osaki, M., Matsul, H., Honma, M. y Tadano, T. 1995. Purification and properties of acid phosphatase secreted from lupin roots under phosphorus, deficiency conditions. *Plant Nutrition*. 41: 461-469.

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

Parra, C.; Martínez, 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 (2): 131-139.

Pérez, M. 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. Venezuela. En: <http://www.ceniap.gov.ve/seminarios/mperez.htm>; Consulta: Septiembre de 2012.

Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. Editorial el ateneo. Buenos Aires Argentina. p. 499.

Rojas, C. 2002. Disponibilidad del fósforo y su corrección. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA. p. 67-81. En: *Memorias curso tecnologías y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de los suelos degradados*. Santiago de Chile.

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*. 6 (12): 1-8.

Ryan, P., Delhaize, E. y Jones, D. 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 52 (1): 527-560.

Salinas, J. 1990. Sorgo para suelos ácidos. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Colombia. p. 68,75.

Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico: Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA. Costa Rica. p. 272-278.

Sadzawka, A., Besoain, E. 1985. Espectrofotometría infrarroja diferencial y disolución selectiva aplicados al análisis mineralógico de Andosoles de la décima región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA. Santiago de Chile. p. 257–273.

Sadzawka, A. 1989. El pH de la rizósfera del trigo y del lupino. *Agricultura Técnica*. 49 (1): 71-73.

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. 2011. Plan de manejo Integral de residuos hospitalarios y similares. Regional Nariño. p.27.

Suarez, F. 1971. Efecto del tamaño de granulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fosforo. Tesis de grado para obtener el título de Magister. IICA/OEA-CTEL. Turrialba, Costa Rica. p.89.

Tadano, T., Ozawa, K., Sakai, H., Osaki, M., Matsui, H. y Barrow, N. 1993. Secretion of acid phosphatase by the roots of crop plants under phosphorus deficient conditions and some properties of the enzyme secreted by lupin roots. *Plant Soil*. 155 (156): 95-98.

Tagliavini, M., Masia, A. y Quartieri, M. 1995. Bulk soil pH and rhizosphere pH of peach trees in calcareous and alkaline soils as effected by the form of nitrogen fertilizers. *Plant and Soil*. 176 (2): 263-271.

Undarraga, P. 1999. Conceptos de fertilidad fosfatada en suelos volcánicos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA. p. 36-46. En: curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados. Santiago de Chile.