

**VARIACIONES EN EL pH DE LA RIZÓSFERA, CONTENIDO DE FÓSFORO
APROVECHABLE Y FÓSFORO UNIDO AL HIERRO CON COBERTURA DE
*Lupinus mutabilis*L. EN UN ANDISOL DE NARIÑO**

LEIDY ANDREA MAYA CORAL.

LENIS JOHANA OLIVA ANDRADE

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL.

PASTO

2013

**VARIACIONES EN EL pH DE LA RIZÓSFERA, CONTENIDO DE FÓSFORO
APROVECHABLE Y FÓSFORO UNIDO AL HIERRO CON COBERTURA DE
*Lupinus mutabilis*L. EN UN ANDISOL DE NARIÑO**

LEIDY ANDREA MAYA CORAL.

LENIS JOHANA OLIVA ANDRADE

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

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL.

PASTO

2013

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, agosto de 2013

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION.....	8
MATERIALES Y METODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
CONCLUSIONES.....	20
BIBLIOGRAFIA.....	21

RESUMEN

El estudio se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño y en la Finca Lope, en el Invernadero del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), municipio de Pasto. Se evaluaron las variaciones del pH rizosférico, el contenido de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro con cobertura de *L. mutabillis*. La evaluación del pH rizosférico se realizó a los 13 y 40 días después de la siembra de *L. mutabillis* utilizando la solución nutritiva de Marschner Römheld y Ossenberg-Neuhaus, acondicionada con agar y adicionando simultáneamente dos fuentes fosfatadas (fosforita huila y ráfos) bajo un diseño irrestrictamente al azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones. El contenido de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro se determinó a los 30, 60 y 90 días después de la siembra de *L. mutabillis* utilizando suelo del corregimiento de Genoy bajo un diseño irrestrictamente al azar con un arreglo factorial 2x3 con 6 tratamientos y 3 repeticiones; el contenido de fósforo aprovechable se determinó mediante método de Bray y KurtzN° 2 y el contenido de fósforo unido al hierro se lo determinó siguiendo el método de Chang y Jackson (1957) modificado por Peterson y Corey (1966). Se realizó un análisis de varianza y se utilizaron pruebas de comparación de medias de Tukey para las dos fases. Los datos obtenidos indican que el pH de la solución agarizada influenciada por las raíces presentó disminuciones significativas a través del tiempo especialmente en los tratamientos donde no se aplicaron fuentes fosfatadas, la concentración de fósforo aprovechable a través del tiempo evidencia incrementos significativos principalmente donde se adicionó fertilizantes fosfatados, por el contrario, los contenidos de fósforo unido al hierro presentan disminuciones significativas a través del tiempo bajo cobertura de *L. mutabillis*.

Palabras clave: Andisoles, solubilidad, raíz, fijación.

ABSTRACT

The study was conducted in the vegetable physiology laboratory of the Nariño University, and in the Lope ranch, in the Green house of the Learning National Service (SENA), Pasto Town. It was evaluated the rhizosphere pH variations, the content of available phosphorus and phosphorus joined to iron with *L. mutabillis* covering. The evaluation of the Rhizosphere pH was carried out to the thirteen and forty days before the sowing of *L. mutabillis* using the nutritious solution of Römheld Marschner and Ossenbergh-Neuhaus, conditioned with agar and adding simultaneously two phosphates sources (Huila phosphorite and rafos) under a random unreservedly design with six treatments and 3 replications. The available phosphorus content and phosphorus joined to iron, it was determined at the thirty, sixty and ninety days after the sowing of *L. mutabillis* using ground of Genoy tiny village under a design unreservedly with a factorial arrangement 2x3 with 6 treatments and 3 replications, the available phosphorus content was determined through the Bray and Kurtz N° 2 method and the phosphorus content joined to iron was determined following the Chang and Jackson (1957) modified by Peterson and Corey (1966). It was carried out an analysis of variance and was used measure Tukey comparison tests for the two phases.

The obtained data indicate the pH of the agarized solution influenced by the roots presented significant decreases through time specially in the treatments where don't applied phosphate sources, the concentration of available phosphorus through time shows significant increases mainly where was added phosphates fertilizer, on the contrary, the contains of phosphorus joined to presents significant decreases through time under *L. mutabillis* covering.

Keywords: Andisols, solubility, root, fixation.

INTRODUCCION

Los suelos del municipio de Pasto, son derivados de cenizas volcánicas y generalmente deficientes en fósforo aprovechable donde se fijan grandes cantidades de este elemento contenido en los fertilizantes al ser aplicados al suelo (Amézquita, 1998); por lo cual es necesario realizar aplicaciones de materiales solubles, ya que tienen la capacidad de liberar nutrientes del estado sólido no aprovechables para las plantas (Guerrero, 1996), además, permiten la liberación lenta de fósforo lo cual depende de la adición de fertilizantes fosfatados de lenta solubilidad (Mesa y Hernández, 1989).

Según Guerrero, (1996), la solubilidad es una propiedad fundamental en los fertilizantes químicos, ya que es en ella donde reside la mayor o menor disponibilidad de los nutrientes, por esta razón, 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 aquella que pudiera proveer suficiente acidez para disolver el fertilizante fosfórico; por lo tanto, se ha 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 (Vélez , 2005).

Las leguminosas, adaptadas a suelos ácidos han mostrado un adecuado comportamiento en suelos limitantes de fósforo disponible, este comportamiento se atribuye a la capacidad de la planta para exudar citrato a través de las raíces proteoideas y ácido orgánico que favorece la desorción del fosfato retenido en las fracciones arcillosas (Vélez, *et. al*, 2006), al respecto, Sandzawka, (1989), menciona que *Vigna sinensis*, *Pueraria phaseoloides* y *Cajanus indicus* movilizan fósforo a través de aminoácidos secretados por micorrizas y *Phaseolus spp*, aprovecha el P ligado al Fe^{+3} y al Al^{+3} .

Sanzawca, (1989), evaluó el pH de la rizósfera del trigo *Triticum aestivum* y el Lupino *Lupinus albus* en el cual sembró semillas pregerminadas de estas especies sobre suelo utilizando cajas de plástico, cuando las raíces llegaron hasta el fondo de la caja, se infiltraron con una solución de agar y purpura de bromocresol según la técnica descrita por

Marschner y Romheld, (1982), al transcurrir 1 hora se fotografió el aspecto característico desarrollado a lo largo de las raíces y encontró como resultados que el trigo y el lupino sembrados en suelo con pH de 5.9 desarrollaron una rizósfera de pH superior a 6.8 e inferior a 5.2 respectivamente; cuyos resultados contribuyen 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 y el hecho de que estas especies hayan modificado el pH rizosférico da una idea de la magnitud que la influencia de la planta puede tener sobre la solubilidad y movilidad de nutrientes en el suelo.

Cruz *et al.* (2007), determinaron la relación entre el desarrollo de algunos genotipos de maíz *Zea mays* y trigo *Triticum aestivum*, con mayor y menor eficiencia de uso de N y P, y su actividad radical, medida a través de las variaciones de la actividad fosfatasa ácida y el pH del suelo adyacente a la rizósfera. La medición, tanto de la actividad fosfatasa ácida como del pH de suelo adyacente a la rizósfera, se realizó a los 30 y 90 días posteriores al trasplante.

Los resultados mostraron que, en comparación con los testigos, la actividad fosfatasa ácida, aumentó entre 100 y 500% en los tratamientos sin suministro de P y las variaciones de pH del suelo adyacente a la rizósfera, a los 30 días después del trasplante mostraron mayor tendencia acidificante con mayor contenido de materia orgánica en el suelo, a los 90 días, los valores de pH del suelo adyacente a la rizósfera mostraron disminución en la acidez (tendencia a la neutralidad) alcanzada en el primer periodo (Cruz *et al.*, 2007).

Sandzawca, (1989), afirma que el pH de la rizósfera puede ser apreciablemente diferente del que tiene el suelo alejado de la misma, por lo que, en el aspecto de nutrición vegetal, es de gran interés conocer el valor de la rizósfera que generen las diferentes especies vegetales bajo distintas condiciones de cultivo, ya que existen evidencias que sugieren que el movimiento del fósforo hacia las raíces del Lupino se ve favorecida por la exudación de agentes reductores, quelantes y protones.

De acuerdo a lo anterior, esta investigación se realizó, con el objetivo de determinar las variaciones del pH rizosférico, el contenido de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro con cobertura de *L. mutabillis* aplicando dos fuentes de baja solubilidad en un andisol del departamento de Nariño.

MATERIALES Y METODOS

La investigación, se dividió en dos fases, que se llevaron a cabo simultáneamente con sus respectivos diseños experimentales y tratamientos.

La primera fase, 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%.

Para la evaluación de las variaciones de pH, se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con seis (6) tratamientos y tres (3) repeticiones (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos para la determinación de variaciones de pH rizosférico de *L. mutabillis*. Fase I. San Juan de Pasto, 2013.

Tratamiento	Descripción
1	Solución agarizada sin <i>L. mutabillis</i> (testigo)
2	Solución agarizada con <i>L. mutabillis</i> sin aplicación de fuentes fosfatadas
3	25 kg ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>
4	50 kg ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>
5	25 kg ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>
6	50 kg ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>

Se sembraron, en medio de cultivo, semillas germinadas de *L. mutabillis* previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% (Vélez, 2005), los cambios generados por la raíz se determinaron 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 como reactivo indicador de pH (Marschner *et al.* 1982). Las evaluaciones de pH rizosférico se realizaron a los 13 y 40 días después de la siembra con ayuda de un potenciómetro debidamente calibrado.

El suelo del corregimiento de Genoy, se clasifica como Typic Melanudands y se caracteriza por ser superficial a moderadamente profundo, 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, 2004). Según el análisis de suelo (Tabla 2), el corregimiento de Genoy presenta las siguientes características:

Tabla 2. Análisis del suelo utilizado en la Fase II del estudio variaciones en el pH de la rizósfera y el contenido de P con cobertura de *L. mutabilis* en un Andisól de Nariño. San Juan de Pasto, 2013.

Parámetros	Unidad de medida	Genoy
Parámetros químicos		
Ph		5,78
Materia orgánica	%	5,63
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	2,77
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	30,7
Calcio de cambio		21,2
Magnesio de cambio		4,85
Potasio de cambio		1,82
Aluminio de cambio		ND

Hierro	mg kg ⁻¹	141
Parámetros físicos		
Densidad aparente	g /cc	0,86

De acuerdo a la tabla 2, el suelo del corregimiento de Genoy presenta un pH y un nivel de hierro adecuados ya que según Sánchez (1981), los niveles óptimos corresponden a valores de 5,31 y 200 mg kg⁻¹ respectivamente, el mismo autor menciona que el nivel óptimo de materia orgánica es 10 % y de fósforo disponible 40 mg kg⁻¹, lo cual indica que el contenido en el suelo es medio y muy bajo, respectivamente.

La segunda fase, se realizó en el Invernadero del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en la finca Lope del municipio de Pasto, con una altura de 2583 m.s.n.m (SENA, 2011), temperaturas controladas entre 26 y 28 °C y humedad relativa del 60%.

Para ello se recolectaron 54 muestras de suelo en el corregimiento de Genoy, municipio de Pasto utilizando cilindros de PVC de 11 cm de diámetro x 30 cm de largo; se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con un arreglo factorial 2x3 donde el factor A corresponde a fuentes fosfatadas (Ráfos y Fosforita) y el factor B a dosis (0, 25 y 50 kg ha⁻¹) con 6 tratamientos (Tabla 3) y 3 repeticiones.

El contenido de fósforo aprovechable, se determinó colorimétricamente a 660 nm empleando una solución extractora de HCl 0,1 N y NH₄ al 3.03N (método de Bray y Kurtz N° 2) y el contenido de fósforo unido al hierro se determinó siguiendo el método de Chang y Jackson (1957) modificado por Peterson y Corey (1966), en donde se determinó el P-Fe, agregando NaOH (hidróxido de sodio) 0.5 N, agitado durante 17 horas, luego se centrifugaron a 2000 r.p.m. durante 10 minutos y se decantó la fracción líquida. En el sobrenadante se determinó colorimétricamente el P-Fe.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos para la determinación de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro con cobertura de *L. mutabillis* en un andisol de Nariño. Fase 2. San Juan de Pasto, 2013.

Tratamiento	Descripción
1	Suelo Genoy 0 kg ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>
2	Suelo Genoy 25 kg ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>
3	Suelo Genoy 50 kg ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>
4	Suelo Genoy 0 kg ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>
5	Suelo Genoy 25 kg ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>
6	Suelo Genoy 50 kg ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>

Las evaluaciones de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de la siembra de *L. mutabillis* adicionando simultáneamente los fertilizantes fosfatados.

Con respecto a las fuentes fosfatadas empleadas Guerrero (1998), afirma que fosforita Huila es una roca fosfórica soluble en citrato de amonio neutro (NAC) la cual contiene 22% de fósforo (P₂O₅) y 40% de Calcio (CaO) y ráfos es un fertilizante complejo, altamente soluble en agua, contiene un 12% de nitrógeno total (N), 24% de fósforo (P₂O₅), 12% de potasio (K₂O), 2% de magnesio (MgO), 1% de azufre (S), 0.04% de boro (B) y 0.02% de zinc (Zn).

El análisis estadístico de las dos fases se realizó mediante un análisis de varianza y cuando se presentó diferencias estadísticas para los tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey empleando el software InfoStat versión 2.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variaciones de pH rizosférico

En la tabla 4, se observa que el análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos a los 13 y 40 días después de la siembra.

Tabla 4. Análisis de varianza para valores de pH rizosférico de *L. mutabillis* utilizando dos fuentes fosfatadas comerciales a los 13 y 40 días después de la siembra. San Juan de Pasto, 2013.

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.

Con relación a la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 5), se registró disminución en el pH de la solución agarizada a través del tiempo, efecto que se debe a la presencia de raíces; esta disminución fué más evidente en los tratamientos donde se sembró *L. mutabillis* sin aplicación de fuentes fosfatadas (Fosforita Huila y ráfos) y cuando se adiciono 25 kg ha⁻¹ de fosforita huila diferenciándose estadísticamente de los demás.

Tabla 5. Comparación de medias de Tukey para variaciones de pH rizosférico a los 13 y 40 días después de la siembra. San Juan de Pasto, 2013.

Tratamiento	Promedio	
	(13 días)	(40 días)
T1 Testigo (Solución agarizada sin <i>L. mutabillis</i>)	6,44 a	6,44 a

T2	<i>L. mutabillis</i> sin aplicación de fuentes fosfatadas	4,93 c	4,71 c
T3	25 kg. ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>	5,76 b	5,26 bc
T4	50 kg. ha ⁻¹ de P (Fosforita) + <i>L. mutabillis</i>	5,60 b	5,41 b
T5	25 kg. ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>	5,86 b	5,60 b
T6	50 kg. ha ⁻¹ de P (Ráfos) + <i>L. mutabillis</i>	5,94 b	5,72 b

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

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).

En ese sentido, los cambios en el pH inducidos por las raíces, se pueden relacionar 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 sesión activa de protones en la extensión celular de la raíz, 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. mutabillis*, 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).

Fósforo Aprovechable

En la tabla 6 se observa que el análisis de varianza, no indica diferencias estadísticas para fuentes ni para la interacción dosis * fuentes, sin embargo se presenta diferencias significativas para dosis.

Tabla 6. Análisis de varianza para valores de fósforo aprovechable y fósforo unido al hierro con cobertura de *L. mutabillis* en un andisol de Nariño. San Juan de Pasto, 2013.

Fv	Gl	Cuadrado medio	
		P Aprovechable	P Unido al Hierro
Modelo	7	165,93	5410,01
Bloque	2	137,51	11058,71
Fuente	1	8,76 ^{ns}	734,34 ^{ns}
Dosis	2	430,13*	5464,37**
Fuente*Dosis	2	8,73 ^{ns}	2044,80*
Error	10	79,80	418,91
Total	17		

** = altamente significativo

* = diferencias estadísticas significativas

^{ns} = no significativo

Con relación a la prueba de comparación de medias correspondiente a dosis (Tabla 7), indica que la dosis 50 y 25 kg ha⁻¹ con 23,66 y 12,99 mg/kg son los mejores tratamientos frente a la dosis cero con un promedio de 6,93 mg/kg.

Tabla 7. Prueba de comparación de medias para contenidos de fósforo aprovechable con diferentes dosis de fertilizantes fosfatados con cobertura de *L. mutabilis* en un andisol de Nariño. San Juan de Pasto, 2013.

Dosis (kg ha ⁻¹)	Promedio de fósforo aprovechable (mg/kg)	
50,00	23,66	a
25,00	12,99	ab
0,00	6,93	b

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05)

La aplicación de dosis bajas de fertilizantes fosfatados, en cultivos y pasturas ha resultado en una marcada disminución de P disponible en los suelos (INPOFOS, 2003). Uno de los mayores efectos sobre el incremento del fósforo disponible, se ha logrado con la adición de fertilizantes fosfatados puesto que estos proporcionan una mayor área superficial de compuestos fosforados en contacto con la solución del suelo (Bernier y Bortolameolli, 2000), esta disponibilidad incrementa de igual manera con la implementación de especies leguminosas ya que sus raíces tienen la capacidad de producir exudados de variada naturaleza química, que contribuyen al proceso de solubilización del fósforo presente en el suelo, aumentando la disponibilidad del mismo que es aprovechado por las plantas para su crecimiento (Vélez, *et. al*, 2007). Lo anterior coincide con lo planteado por López (1987); donde afirma, que los incrementos en los contenidos de fósforo de los dos suelos evaluados con relación al testigo, están relacionados con las dosis aplicadas del fertilizante fosfatado.

Fósforo unido al hierro

En la tabla 6, se observa que el análisis de varianza indica que para fuentes no existen diferencias estadísticas, no obstante, se evidencian diferencias altamente significativas para dosis y diferencias significativas para la interacción fuentes * dosis.

Con relación a la prueba de comparación de medias (Tabla 8), indica que hubo efectos de interacción, es decir, que las fuentes fosfatadas afectan el contenido de fósforo unido al hierro a diferentes niveles de aplicación de fertilizantes (dosis), es así como al aplicar Ráfos en la dosis de 50kg ha⁻¹ con un promedio de 234,66 mg/Kg, indica que es el mejor tratamiento frente a Ráfos 25, Ráfos 0 y Fosforita 0 kg ha⁻¹ con valores que van desde 164,44 a 141 mg/kg.

Tabla 8. Prueba de comparación de medias para fósforo unido al hierro de las fuentes fosfatadas con cobertura de *L. mutabilis* en un andisol de Nariño. San Juan de Pasto, 2013.

Fuente	Dosis (kg ha⁻¹)	Promedio (mg/kg)	
Ráfos	50,00	234,66	a
Fosforita	25,00	191,22	b
Fosforita	50,00	188,33	b
Ráfos	25,00	164,44	bc
Ráfos	0,00	160,66	bc
Fosforita	0,00	141,90	c

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Con base en los datos encontrados, al aplicar ráfos se aprecian incrementos de P- fe a través del tiempo cuyos resultados concuerdan con los encontrados por Martínez, *et al.*(1986), donde indican que los fosfatos de hierro se incrementan directamente proporcional con las dosis de fósforo aplicado. De la misma manera, investigaciones realizadas por Ojeda y Quintero, (1982), presentaron, que al utilizar roca fosfórica y superfosfato, después de un tiempo, el tratamiento con superfosfato aumentó la fracción de fósforo unido al hierro.

Al respecto, Hinsinger, (1998), menciona que en suelos ácidos los iones fosfatos son retenidos sobre hidróxidos de hierro lo cual es perjudicial, puesto que según Fassbender, (1993), el mayor problema en la utilización y eficiencia de los fertilizantes lo constituye la tendencia del fósforo a fijarse, con ello se describen una serie de reacciones formándose en el suelo fosfatos de calcio, aluminio o hierro de menor solubilidad poco disponibles para las plantas. El mismo autor, menciona que normalmente y dependiendo de las características del suelo, el fósforo se fija hasta en un 95%., únicamente el 5% del fósforo aplicado como fertilizante lo aprovechan en las plantas.

Caso contrario se evidencio cuando se realizaron incorporaciones de fosforita huila en relación a lo explicado por Marschner, (1995), donde afirma que la excreción de iones hidroxilos o bicarbonato, favorecen la desorción de fosfatos por intercambio de iones de las superficies de los sesquióxidos aumentando la disponibilidad del fósforo aprovechable para las leguminosas.

Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 8) cuando el suelo fue sometido a la aplicación de 25 kg ha⁻¹ de Ráfos y 0 kg ha⁻¹ de los dos abonos, lo cual indica que la aplicación de dosis bajas no influye en la fijación del fósforo ya que según Marroquín, (2006), las raíces del *L. mutabilis* le permite aprovechar los nutrientes del suelo al segregar ácidos orgánicos provocando descensos de pH en la rizósfera permitiendo la movilización y solubilización de fosfatos que normalmente se encuentran en los minerales en formas no disponibles para las plantas.

Con relación a la prueba de comparación de medias (Tabla 9) para época de evaluación (30, 60, y 90 días) indica que el P- Fe sufre disminuciones significativas a través del tiempo con valores que van desde 229,67 hasta 152, 67 mg/Kg.

Tabla 9. Prueba de comparación de medias para fósforo unido al hierro a través del tiempo con cobertura de *L. mutabilis* en un andisol de Nariño. San Juan de Pasto, 2013.

Época de evaluación (Días)	Promedio (mg/kg)	
30	229,67	a
90	158,27	b
60	152,67	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Quintero, (1990), afirma que en la medida que los suelos son más ácidos las actividades de hierro y aluminio aumentan, es decir, que los suelos derivados de cenizas volcánicas a un bajo nivel de pH tienden a fijar los fosfatos (FAO, 2000), sin embargo, a través del tiempo, *L. mutabilis* disminuyó el contenido de fijación de fósforo (Tabla 9), debido a la capacidad de las leguminosas de exudar citrato a través de sus raíces proteoideas cuya presencia y abundancia se correlaciona con la concentración de P en el medio de crecimiento; este ácido orgánico en el suelo favorece la desorción de fosfato retenido en las fracciones lábiles y no lábiles dejándolo disponible para su absorción por la planta (Peñaloza *et al.*, 2000), además, *L. mutabilis* produce ácidos orgánicos de bajo peso molecular y favorece la formación de complejos químicos e induce cambios en el pH de la rizósfera, que precipitan el Fe liberando el P (Ascencio y Lazo, 2001).

CONCLUSIONES

El pH de la solución agarizada disminuyo significativamente de 6,44 a 4,71 a través del tiempo en los tratamientos donde no se aplicaron fuentes fosfatadas con presencia de *L. mutabilis*.

La concentración de fósforo aprovechable presente en el suelo a través del tiempo evidencia incrementos de 16,73 mg/kg cuando se adiciono 50 kg ha⁻¹ de fertilizantes fosfatados con presencia de *L. mutabilis*.

Los contenidos de fósforo unido al hierro presentaron disminuciones significativas de 74mg/kg a través del tiempo bajo cobertura de *L. mutabilis*.

L. mutabilis, mejoró las condiciones del suelo aumentando el contenido de fósforo aprovechable en un valor de 4,16mg/kg.

BIBLIOGRAFIA

Amézquita, E. 1998. Trigo y Cebada. En: Guerrero, R. Fertilización de cultivos en clima frío. Segunda edición, Santafé de Bogotá, Colombia, pp. 133-168.

Ascencio, J. y Lazo, J. 2001. Crecimiento y eficiencia de fósforo de algunas leguminosas cultivadas en arena regada con soluciones nutritivas con fosfatos inorgánicos de hierro y calcio. Revista facultad de agronomía (LUZ). 18 (1): 13 – 32.

Bernier, R. y Bortolameolli, G. 2000. Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. Centro regional de investigación Remehue, Instituto de investigaciones agropecuarias. Santiago, Chile. 71 p.

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

Cruz, G. Flores, D. Alcántar, G. Trinidad, A. Álvarez, E. y Bautista, A. 2007. Actividad fosfatasa y pH del suelo adyacente a la rizósfera de maíz y trigo en suelos ácidos. Revista Terra Latinoamericana. 25 (2): 115 – 125.

FAO, 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices en línea. En: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronicas/c20021221046_edafo_factoresambientalesysuelos.pdf; consulta: enero 2013.

Fassbender, H. 1993. El ciclo del fósforo. En: Fassbender, H. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Segunda edición, Turrialba, Costa Rica, pp. 395 – 423.

Guerrero, R. 1996. Propiedades químicas. En: Guerrero, R. Propiedades generales de los fertilizantes. Segunda edición, Santafé de Bogotá, Colombia, pp. 31 – 45.

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

Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Revista Advances in Agronomy*. 64: 225 – 265.

Instituto de la Potasa y el Fósforo - INPOFOS, 2003. Asociación Argentina de productores de granja en línea. En: http://www.infogranjas.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1347:fertilizacion-fosforada-de-pasturas-region-pampeana-norte-&catid=310:pasturas-fertilizacion&Itemid=157. 4 p.; consulta: enero 2013.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Nariño, Colombia. [CD – ROM].

López, I. 1987. Efecto comparativo de la fosforita y calcita sobre los contenidos de fósforo, calcio y neutralización de la acidez de dos suelos ácidos de Venezuela. *Revista Agronomía Tropical*. 37 (4): 63 – 82.

Marroquín, W. 2006. Efecto de asocio lupino (*Lupinus montanus* HBK.) – maíz (*Zea mays* L.) en la nutrición fosfatada en un andosol de Guatemala. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 53 p.

Marschner, H. 1995. The soil – root interface (rhizosphere) in the relation to mineral nutrition, pp. 535 – 595, En: Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. Segunda edición, London, 889 p.

Marschner, H.; Römheld, V.; y Ossenber, N. 1982. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along roots of intact plants. *Revista ZeitschriftfürPflanzenphysiologie*. 105 (5): 407- 416.

Martínez, J. Jiménez, R. y Lora, R. 1986. Dinámica del fósforo en el suelo de un paramo de Cundinamarca. Revista de la sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 16 (1): 192 – 205.

Mesa, A. y Hernández, M. 1989. Fertilización fosfórica de pastos tropicales. Revista pastos y forrajes. 12 (1): 1 – 14.

Ojeda, F. y Quintero, J. 1982. Comportamiento del fósforo aplicado al suelo a partir de roca fosfórica y superfosfato triple en dos suelos Colombianos, Revista Colombiana de Química. 11 (2): 1 – 9.

Peñaloza, E. Carvajal, N. Corcuera, L. y Martínez, J. 2000. Exudación de citrato y actividad de la enzima fosfoenolpiruvatocarboxilasa en raíces de lupino blanco, en respuesta a variaciones en la disponibilidad de fósforo. Revista agricultura técnica. 60 (2): 89 - 98.

Quintero, J. 1990. Comportamiento del fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Revista academia Colombiana de la ciencia. 17 (66): 467 - 476

Römheld, V. 1986. Variaciones en el pH de la rizósfera de varias especies de plantas cultivadas en función de las aplicaciones de elementos. Revista de la potasa. 6 (12): 1-8.

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

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

Servicio Nacional De Aprendizaje, 2011. Plan de manejo Integral de residuos hospitalarios y similares. SENA Regional Nariño. Pág. 27.

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. Tesis de Grado Maestría en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño – Universidad Nacional de Colombia. Pasto. 107 p.

Vélez, J. Arteaga, G. Castillo, J y Menjivar, J. 2006. Variaciones en el pH de la rizósfera y en el porcentaje de materia seca de *Vicia sativa* al aplicar dos fuentes fosfatadas de baja solubilidad en un andisól del Departamento de Nariño, Colombia. Revista acta agronomia. 55 (2): 23 – 27.

Vélez, J. Arteaga, G. Castillo, J. y Menjivar, J. 2007. Efecto de fuentes fosfatadas en Andisoles de Pasto, Nariño, con cobertura de *Vicia sativa* sobre el fósforo aprovechable, fósforo unido al hierro y al aluminio. Revista de Ciencias Agrícolas. 24 (1): 109 – 121.