

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“FERTILIZACIÓN FOSFORADA DEL CULTIVO DE SOYA  
(*Glycine max* L.) EN UN SUELO DYSTROPEPTS DE  
TINGO MARIA”**

**TESIS**

Para optar al título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**JULIO CÉSAR HUAMÁN DÁVILA**

**TINGO MARÍA - PERÚ**

**2009**

F04

H82

Huamán Dávila, Julio C.

Fertilización Fosforada del Cultivo de Soya (*Glycine max* L.) en un Suelo Dystropepts de Tingo María. Tingo María, 2009

97 h.; 32 cuadros; 6 fgrs.; 35 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

GLYCINE MAX L. / FERTILIZACIÓN FOSFORADA / DYSTROPEPTS  
/ CULTIVO-SOYA / RENDIMIENTO / METODOLOGÍA / TINGO  
MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE AGRONOMIA

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

No.006-2009-FAUNAS.



"Año de la Unión Nacional Frente a la Crisis Externa"

BACHILLER : JULIO CESAR HUAMAN DAVILA

TITULO DE LA TESIS : "FERTILIZACION FOSFORADA DEL CULTIVO DE SOYA (Glycine max L.) EN UN SUELO DYSTROPEPTS DE TINGO MARIA"

JURADO CALIFICADOR :

    Presidente : Ing. M.Sc. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

    Vocal : Ing. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA

    Vocal : Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS

    Asesor : Ing. M.Sc. JOSE W. ZAVALA SOLORZANO

FECHA DE SUSTENTACION : 16 de Julio de 2009

HORA DE SUSTENTACIÓN : 7:30 p.m.

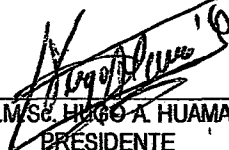
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE GRADOS/UNAS.

CALIFICATIVO : MUY BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES AL ACTA : EN HOJA ADJUNTA

Tingo María, 16 de Julio de 2009

  
Ing. M.Sc. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI  
PRESIDENTE



  
Ing. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA  
VOCAL

  
Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS  
VOCAL

  
Ing. M.Sc. JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

**A DIOS TODO PODEROSO**, nuestro ser supremo, creador de todo el universo,  
quien nos da la vida y la sabiduría.

A mis queridos padres:

**JULIO y PETRONILA**, con profundo amor, por sus abnegados sacrificios para mi formación personal y la culminación de mi carrera profesional.

A mis hermanos y cuñados:

**GLORIA y NESTOR, MARIO y MONICA, JADITH y WILLIAM**, por el gran apoyo que me brindaron para conseguir mi meta.

A la memoria de mis amigos y compañeros **MARIO IVAN LAURA TUEROS y JHON WILLIAM RAMOS CASTILLO Q.E.P.D.**

## AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía, forjadora de mi formación profesional.
- Al Ing. M. Sc. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor del presente trabajo, por su valiosa dirección, supervisión y aporte científico en la presente tesis.
- A los miembros del Jurado de Tesis: Ing. M. Sc. Hugo A. Huamaní Yupanqui, Ing. Luis G. Mansilla Minaya e Ing. Jaime J. Chávez Matías, por las sugerencias, corrección y aporte en el desarrollo del volumen de tesis.
- Al Sr. Concepción Ariza Espinoza, por su valiosa colaboración en los análisis de caracterización de los suelos.
- A mis amigos Royser López Tuesta, Jorge Castañeda Pérez, Paúl Lama Isminio, Geramin López Najjar, Pedro Mansilla Córdova, Hugo Mendoza Reynaga, José Huamán del Castillo y Sarita Jara Herrera, quienes me brindaron su apoyo para la ejecución del presente trabajo.
- A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	12
2.1. Aspectos generales de los suelos ácidos .....	12
2.2. Factores edafoclimáticos en el cultivo de soya .....	14
2.3. El fósforo en la planta .....	19
2.4. El fósforo en el suelo .....	24
2.5. Fertilizantes fosforados .....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
3.1. Ubicación del experimento .....	37
3.2. Componentes en estudio .....	42
3.3. Diseño experimental.....	42
3.4. Tratamientos en estudio .....	44
3.5. Características del campo experimental .....	45
3.6. Ejecución del experimento .....	46
3.7. Observaciones registradas y metodología .....	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
4.1. Rendimiento en grano .....	55
4.2. Número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas .....	68
4.3. Altura de planta .....	75
4.4. Peso fresco y peso seco .....	79
4.5. Características físico químicas del suelo al final del experimento .....	83
4.6. Relación beneficio/costo (B/C) .....	86

V.	CONCLUSIONES .....	88
VI.	RECOMENDACIONES .....	89
VII.	RESUMEN .....	90
VIII.	BIBLIOGRAFIA .....	92
IX.	ANEXO .....	97

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento .....	38
2. Análisis físico – químico inicial del suelo donde se instaló el experimento .....	39
3. Características de los horizontes del perfil del suelo donde se realizó el experimento .....	41
4. Esquema del análisis de variancia del experimento .....	43
5. Descripción de los tratamientos en estudio .....	45
6. Resumen del análisis de variancia para el rendimiento neto de grano seco de soya (Tingo María, 2006).....	56
7. Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el rendimiento neto de grano seco de soya .....	59
8. Cuadrado medio de los efectos simples entre los factores en estudio para el rendimiento neto de grano seco de soya .....	63
9. Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples del carácter rendimiento neto de grano seco de soya ..	64
10. Resumen del análisis de variancia para las características número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas de grano de soya .....	69
11. Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas de grano de soya .....	74



12.	Resumen del análisis de variancia para la característica altura de planta de soya .....	77
13.	Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter altura de planta de soya .....	78
14.	Resumen del análisis de variancia para las características peso fresco y seco de la parte aérea y peso fresco y seco radicular de la planta de soya .....	80
15.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter peso fresco y seco de la parte aérea y peso fresco y seco radicular de la planta de soya .....	82
16.	Análisis físico – químico final del suelo experimental por cada tratamiento .....	85
17.	Análisis de rentabilidad de los tratamientos en estudio .....	87
18.	Rendimiento neto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) .....	98
19.	Rendimiento bruto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) .....	98
20.	Rendimiento bruto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María ( $\text{kg/parcela}$ ) .....	99
21.	Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los tratamientos en estudio en el carácter rendimiento neto de grano seco de soya .....	99
22.	Peso fresco de la parte aérea por planta evaluado a la floración (g) .....	100

23.	Peso seco de la parte aérea por planta evaluado a la floración (g) .....	100
24.	Peso fresco radicular por planta evaluado a la floración (g) .....	100
25.	Peso seco radicular por planta evaluado a la floración (g) .....	101
26.	Número de nódulos por planta evaluados a la floración .....	101
27.	Altura de planta de soya evaluado después de la floración (cm) .....	101
28.	Número de vainas por planta de soya a la cosecha .....	102
29.	Número de vainas vanas por planta de soya a la cosecha .....	102
30.	Porcentaje de vainas vanas en la planta de soya .....	102
31.	Número de granos por planta de soya .....	103
32.	Peso de 100 semillas de soya a la cosecha (g) .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
1.	Efecto principal de las fuentes de fertilizantes fosforados en el rendimiento neto de grano seco de soya (Tingo María, 2006) ...	61
2.	Efecto principal de los niveles de fertilización fosforada en el rendimiento neto de grano seco de soya (Tingo María, 2006) ...	61
3.	Efecto de las fuentes en cada nivel de fertilización fosforada en el rendimiento neto de grano seco de soya .....	65
4.	Efecto de los niveles en cada fuente de fertilizante fosforado en el rendimiento neto de grano seco de soya .....	67
5.	Disposición de los tratamientos del experimento .....	105
6.	Detalle de las parcelas .....	105

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen áreas abandonadas en el Alto Huallaga debido al manejo irracional y el uso inadecuado de los suelos por la explotación intensiva de muchos cultivos. Este tipo de manejo conlleva a degradar la fertilidad natural de los suelos, alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas, dando como resultado una acidificación progresiva creciente, convirtiendo a muchos de estos en suelos pobres e infértiles, clasificados taxonómicamente como suelos "Dystropepts".

El 80% de estos suelos presentan acidez que van desde moderado a extremadamente ácidos; la acidez está muy relacionada con la toxicidad de Al, Mn, Fe y la deficiencia de fósforo y la alta capacidad fijadora de este elemento por este tipo de suelos.

El fósforo es un macroelemento fundamental en la nutrición de las plantas y tiene un comportamiento muy particular de fijarse sobre todo en un Dystropept. Una de las medidas para reducir la fijación de fósforo, se basa en las fuentes y el manejo de formas y niveles de aplicación de fertilizantes fosforados. La habilidad para predecir los requerimientos y realizar recomendaciones acertadas es importante desde el punto de vista económico.

Con el presente trabajo se pretende estudiar la problemática del fósforo en estos suelos mediante la fertilización fosforada con la finalidad de observar cual de las fuentes y en que nivel se comportan mejor en el rendimiento, utilizando para esto a la soya como el cultivo indicador.

La soya es una leguminosa de mucho interés económico, ocupa una posición privilegiada entre los cultivos por ser la fuente más importante de

proteínas y aceite vegetal. Los granos tienen diversos usos en la alimentación humana, animal e industrial por ser materia prima para la elaboración y fabricación de aceites y grasas vegetales comestibles y en la preparación de alimentos balanceados para la ganadería y avicultura. Por otra parte enriquece el suelo con el aporte de nitrógeno, mejorando la estructura, así como las condiciones de labranza y ayuda a conservar su fertilidad. Además en la actualidad está tomando mucha importancia en la salud humana, debido a que posee múltiples propiedades terapéuticas.

Teniendo en cuenta estos factores, y buscando alternativas para el desarrollo agrícola en este tipo de suelos, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto de tres fuentes y tres niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de la soya (*Glycine max* L.) en un suelo Dystropepts de ladera.
2. Determinar la rentabilidad de los tratamientos en estudio a través de la relación beneficio – costo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos generales de los suelos tropicales ácidos

El 75% de suelos de la amazonía está dominado por suelos ácidos, infértiles, clasificados como oxisoles y ultisoles. Estos suelos son generalmente profundos, bien drenados, rojos o amarillentos, con propiedades físicas favorables, pero muy ácidos y deficientes en nutrientes para las plantas (Cochrane y Sánchez, 1978, citados por AREVALO, 1986).

En la Primera Reunión de Coordinación, Investigación, Extensión y Capacitación Interinstitucional, se afirma que en los suelos de Tingo María existen limitaciones para el desarrollo de las plantas con relación a la adaptación, nutrición y producción cuyas características son: bajo pH, baja CIC, alta concentración de hierro y aluminio, baja disponibilidad de fósforo, baja sustitución isomórfica, baja estabilidad de minerales, baja retención de humedad, presencia de arcillas estables y clase textural ligera, mal drenaje, pendientes pronunciadas. Estas limitaciones se acentúan por la topografía, que provoca erosión y una paulatina destrucción de la capa arable, sumado a esto las prácticas inadecuadas que realiza el agricultor como es: depredación de bosques, prácticas agronómicas a favor de la pendiente, prácticas de monocultivo intensivo, quema de residuos orgánicos, por la falta de conocimientos acerca de manejo y conservación de suelos (CIPA XI – Huánuco, *et al.*, 1983).

El pH del suelo puede influir en la absorción nutritiva y crecimiento de la planta, de dos maneras: La primera a través del efecto directo del ión H y la segunda en forma indirecta por su influencia sobre la asimilación de los nutrientes y la presencia de iones tóxicos. En muchos suelos el último efecto es

de gran importancia (BUCKMAN y BRADY, 1985). El pH pues influye en la nutrición vegetal, algunas veces porque cuando la reacción es neutra o alcalina, se insolubilizan algunos elementos, apreciándose deficiencias en Mn, Fe, Zn, Bo y aún el aluminio; otras veces porque cuando la reacción es fuertemente ácida y las concentraciones de Fe y Al pueden ser tóxicos, se aprecia además, deficiencias de Ca, P, K y N, y otros elementos (Muro, 1961, citado por MONTALVO, 1988).

Se encuentran deficiencias de fósforo en un 90% de los suelos de la amazonía y afortunadamente sólo el 16% de estos suelos tienen capacidad para fijar grandes cantidades de fósforo en forma relativamente insoluble. Aunque la mayoría de los suelos requieren fertilización fosfórica, las cantidades requeridas, generalmente no son tan altas como en las sábanas ácidas, donde la fijación de fósforo es la mayor restricción (Marchetty y Machado, 1980, citados por AREVALO, 1986). En general los suelos del trópico presentan contenidos bajos de fósforo, esta situación se hace crítica especialmente en suelos tipo ultisoles y andisoles en donde se presentan mecanismos de fijación en el que intervienen por un lado elementos como el hierro y aluminio y por otro en los que se presentan altos contenidos de alófana (BERTSCH, 1986).

La deficiencia del fósforo en los suelos del trópico y subtropical es un problema de reconocida importancia, cuya magnitud constituye una de las limitantes de mayor trascendencia en la producción de los cultivos. La baja disponibilidad de P está asociada con: bajo contenido de P total; alta estabilidad de los compuestos fosfatados del suelo, lo que implica una baja solubilidad y por tanto, una muy débil liberación de formas disponibles a la planta; y baja intensidad de la mineralización de los compuestos orgánicos fosfatados. Cuando se trata de controlar la deficiencia mediante la aplicación

de fertilizante, una buena parte del mismo pasa rápidamente a formas que no son aprovechables para las plantas (FASSBENDER y BORNEMISZA, 1987).

Muchos suelos tropicales tienen una capacidad muy alta para fijar fósforo. Para tales suelos son necesarias modificaciones considerables de las prácticas de manejo de fósforo desarrolladas para suelos de poca fijación. Por otra parte, existen diferencias significativas entre y dentro de especies en su habilidad para tolerar niveles bajos de fósforo disponible del suelo (SANCHEZ, 1981).

## **2.2. Factores edafoclimáticos en el cultivo de soya**

El desarrollo de la soya está condicionado por los factores ambientales, de las cuales el agua es el factor principal que altera la productividad de la soya en el tiempo y en el espacio; porque el consumo de agua varía con las condiciones climáticas, prácticas de manejo y ciclo de vida del cultivar. Así mismo, la respuesta del cultivo al fotoperiodo y temperatura define sus zonas de adaptación. La lluvia es la principal fuente de agua para la mayor parte de la producción, tiene dos periodos críticos como son desde la siembra a la emergencia y durante el llenado de las vainas (FAO, 1995). La soya está considerada como una especie capaz de resistir sequías, pero es imprescindible el agua para lograr su nacimiento y es necesario próximo a la floración para asegurar la cosecha (SAUMELL, 1977).

Se ha evidenciado que el crecimiento de la soya es favorecido por climas con temperaturas de 20° a 35° C, con precipitaciones de 600 a 1500 mm, pH de 5.5 a 6.5 y requerimientos de agua a la germinación, floración, formación de vainas y llenado de semillas (PANDEY, 1989). La soya se desarrolla bien bajo un amplio espectro de temperatura. La temperatura óptima



para la germinación es de 10 – 30°C, menor de 10°C se atrasa la germinación. Las temperaturas por debajo de 22°C retrasan la iniciación de las vainas y a temperaturas menores de 14°C estas no se forman absolutamente. La longitud del día es un factor determinante en la floración de la soya. Se le conoce generalmente como una planta de días cortos, sin embargo presenta una amplia variación de respuesta al fotoperiodo (FAO, 1995).

En un estudio para ver el efecto de tres métodos de labranza manual y dos densidades de siembra en el cultivo de soya variedad IAC – 8, con el sistema de agricultura de sol y malezas en un suelo aluvial en Tingo María entre octubre y febrero, se obtuvieron entre 7 – 10% de vainas vanas para todos los tratamientos, sin recibir ningún tipo de fertilización, así mismo se lograron mejores resultados con el distanciamiento de 0.30 x 0.30, con labranza cero, obteniendo rendimientos de 1626.75 kg ha<sup>-1</sup> con una relación de beneficio/costo de 1.55 (CASTAÑEDA, 2006).

En un trabajo experimental de dos años consecutivos, en un comparativo de 27 variedades, se recomienda entre otros, que la época adecuada para el cultivo de soya, es la estación seca de mayo a setiembre, pudiéndose iniciar la siembra entre mayo y julio (SEDANO, 1971).

La soya es considerada una leguminosa que presenta ventajas ecológicas, respecto a otras especies vegetales, sustentándose que, se obtienen buenos resultados de su cultivo en suelos migajones limosos o arenosos – ligero ácidos y profundos, con alta fertilidad, bien aireados y drenados, por ser cultivo de raíces profundas (Ochse, 1965, citado por KAHN, 1996).

Como el clima es importante en la formación de los suelos, por el efecto de la intemperie sobre los materiales originarios, la lixiviación de cationes y la actividad biológica, en el cultivo de soya se manifiesta siempre el “estrés mineral” debido a la baja capacidad de retención y fuerte fijación de los fosfatos por sesquióxidos libres, acidez alta y componentes arcillosos que caracterizan a los suelos tropicales. Sin embargo, las causas específicas del poco desarrollo de las plantas en suelos ácidos, pueden variar en función del pH, tipos y cantidad de arcillas minerales, clase y contenido de materia orgánica, niveles de sales y particularmente de las especies de plantas y genotipos. Cabe anotar, que generalmente el “estrés”, es el efecto directo de la acidez del suelo, por el efecto indirecto del pH o de otros factores; tal es el caso del efecto indirecto de acidez, la toxicidad del aluminio (Al) que es un probable factor del crecimiento de las plantas, seguido por la toxicidad del manganeso (Mn). El pH del suelo también afecta a la clase, número y actividad de los microorganismos involucrados en las relaciones simbióticas de fijación del N<sub>2</sub> y la transformación de la materia orgánica, caso de *Rhizobium japonicum* en acidez alta (FAO, 1995).

La utilización de nutrientes en la soya varía según su ciclo, la variedad y la fertilidad del suelo. La soya a principios del ciclo de su desarrollo, asimila relativamente poca cantidad de nutrientes, porque las plantas están pequeñas. Sin embargo, la utilización de nutrientes aumenta cuando empieza a florecer. Pero, para que el cultivo logre crecer y desarrollarse óptimamente es indispensable que tenga un suministro adecuado de nutrientes que pueda utilizar en cada etapa del desarrollo (Agricultura de las Américas, 1969, citado por CERVANTES, 1973).

La soya exige mayor cantidad de nutrientes que otras plantas; el fósforo y el potasio suelen ser los más necesarios, pero también reviste gran importancia el calcio. Responde bien, pese a ser leguminosa, a las aplicaciones nitrogenadas, sobre todo al principio de su vegetación (Marco, 1963, citado por ROLDAN, 1972). Hay un criterio de notable coherencia, en el sentido de que la soya responde mejor en los fertilizantes, cuando los valores de los análisis del suelo son bajos (SCOTT, 1975).

Siendo el nitrógeno el factor nutriente de mayor influencia en el rendimiento de la soya, seguido por fósforo y potasio, se ha considerado que la combinación del N-P-K formulado en 40-50-40 kg ha<sup>-1</sup>, es el abonamiento que alcanzó mayor utilidad, aún cuando la combinación 80-100-48 kg ha<sup>-1</sup>, obtuvo mayor rendimiento, por lo que se recomendó ser afinado a una formulación más eficiente en trabajos experimentales posteriores (CERVANTES, 1973).

Al estar involucrado el nitrógeno en tantos procesos vitales, no es de extrañar que su deficiencia afecte grandemente el crecimiento de la planta. Una insuficiente nutrición en nitrógeno se manifiesta por una vegetación raquítica, la planta se debilita, se desarrolla poco, las hojas permanecen pequeñas, adquieren una notable rigidez y toman un color verde amarillento. En los casos de grave deficiencia, las hojas adquieren una coloración anaranjada, púrpura o violácea en los bordes, y la floración es muy escasa (NAVARRO y NAVARRO, 2003). Es interesante saber que el período crítico de necesidades de nitrógeno es el de las dos semanas que preceden a la floración. Por consiguiente, si la soja necesita nitrógeno ha de aportarse con anterioridad a este período (GUERRERO, 1996).

Que si bien se requieren grandes cantidades de nitrógeno (N) para una abundante producción de soya; para un rendimiento de 3000 kg ha<sup>-1</sup>. se necesita 231 kg de nitrógeno y como el suelo es la fuente primaria de nitrógeno para muchos cultivos, la soya obtiene 65 a 85% de este elemento a través del proceso simbiótico, razón por el que se sostiene que el crecimiento y producción de la soya no sería practicable sin la fijación simbiótica del N<sub>2</sub>, aseverándose por ello, que la producción de soya en áreas nuevas serán correctamente evaluadas (FAO, 1995). Covarruvias, 1967, citado por CERVANTES, 1973, reporta que 2,000 kg ha<sup>-1</sup> de grano de soya extrae 120 kg/ha de N y 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cantidades mínimas de nutrientes que se debe restituir al suelo para conservar el nivel de fertilidad.

En cuanto a exigencias de fósforo (P) en leguminosas, en la soya, el manejo de fósforo es determinante para su producción; particularmente en los suelos ácidos, en los cuales la fijación de este elemento es elevado. La baja cantidad de fósforo y la alta capacidad de fijación de los suelos tropicales implica que los requerimientos de fertilizantes a base de fósforo sean mayores; claro que la fijación puede ser reducida en suelos altamente ácidos por un encalado, 60 a 90 días antes de la fertilización (FAO, 1995). En América tropical las dosis recomendadas para maíz, soya, forrajes y caña de azúcar son de 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, generalmente aplicado en bandas (SANCHEZ, 1981).

Siendo la mayor demanda de fósforo poco antes del inicio de formación de vainas, continuando hasta los 10 días antes de que las semillas hayan desarrollado por completo, esto es porque gran parte del fósforo absorbido es traslocado desde las hojas, tallos y peciolos, hacia las semillas. Hecho que

alivia al sistema radicular en la función de absorber el fósforo al ir avanzando el ciclo (SCOTT, 1975).

Respecto al elemento potasio (K) la soya absorbe grandes cantidades para favorecer la maduración, que de ser insuficiente se retarda, la calidad de la semilla se reduce y la incidencia de enfermedades en la semilla aumenta (FAO, 1995). En cuanto a extracción de este elemento, por quintal métrico de grano de soya producido absorbe cerca de 3.5 kg de  $K_2O$ . Una soya de unos 3,000 kg  $ha^{-1}$  de producción absorberá por tanto unos 100 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  (GUERRERO, 1996).

### **2.3. El fósforo en la planta**

TEUSCHER y ADLER (1981), indican que tres son los elementos nutritivos más importantes, cuando se encuentra ausente uno de estos nutrientes, no es posible el crecimiento vegetal, si uno de ellos existe en cantidades sub anormales, tampoco puede esperarse el rendimiento máximo.

El fósforo, con el nitrógeno y el potasio, se clasifican como un elemento nutritivo mayor. Sin embargo, en la mayoría de las plantas se encuentra en menores cantidades que el nitrógeno y el potasio. El fósforo es considerado como uno de los principales elementos mayores de la planta y no cabe discusión con respecto al papel esencial que desempeña por lo que es imprescindible su presencia en el suelo en cantidades adecuadas o en formas que puedan ser asimiladas por las plantas (TISDALE y NELSON, 1991). Las exigencias de fósforo en las leguminosas son relativamente elevadas, ya que no solo es requerida para un adecuado crecimiento vegetal, sino que también es necesario para los procesos de nodulación y fijación de nitrógeno (Gray y Gerdemahn, 1969, citado por MEDINA, 1992).

El fósforo es un factor de crecimiento en los vegetales, como ocurre con el nitrógeno. Existe, por otra parte, una influencia mutua en la absorción de uno y otro elemento: la carencia de fósforo influye en una disminución de la absorción del nitrógeno. El fósforo tiene una gran influencia en la primera fase de crecimiento de las plantas. La planta se nutre del fósforo acumulado en la semilla, pero cuando se agota esta reserva ha de tomarlo del suelo. El fósforo favorece el desarrollo del sistema radicular al comienzo de la vegetación; favorece los fenómenos relacionados con la fecundación, la fructificación y la maduración (GUERRERO, 1996).

El fósforo se halla formando parte de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, cromosomas y lo que es especialmente importante, como parte integrante del ATP (BUCKMAN y BRADY, 1985). El ácido fosfórico no solo es parte integrante de numerosos componentes de la planta, sino que también participa decididamente en los fenómenos metabólicos y energéticos. El metabolismo de los hidratos de carbono es regulado en la planta por los fosfatos ricos en energía (DAVELOUIS, 1991).

BUCKMAN y BRADY (1985), manifiesta que es difícil establecer en detalle las funciones del fósforo en la economía de las plantas más sencillas. Aquí solo consideraremos las funciones más importantes. El fósforo contribuye favorablemente sobre las siguientes:

- División celular y crecimiento, así como la formación de albúminas.
- Formación y fructificación, así como la formación de semillas.
- Maduración de las cosechas atemperando así los efectos de aplicaciones excesivas de nitrógeno.

- Desarrollo de las raíces, particularmente de las raicillas laterales y fibrosas.
- Robustecimiento de la paja en los cultivos de cereales, ayudando así a prevenir el encamado.
- Sobre la calidad de las cosechas, sobre todo en forrajes y hortalizas.
- Resistencia a ciertas enfermedades.

Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radicular. Ello es consecuencia, tal como se ha visto, de que el elemento es un participante básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. También está comprobado que el fósforo es necesario especialmente para la formación de semillas; cuando hay falta de fósforo, la cosecha puede reducirse en un 50% (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

Las plantas que padecen de deficiencia de P tienen un crecimiento retardado y la relación de peso seco entre la parte aérea/raíz es generalmente baja. La formación de frutos y semillas disminuye particularmente en plantas que padecen de deficiencia de P. Así, la deficiencia de P lleva a obtener no sólo bajos rendimientos sino también frutos y semillas de baja calidad. Durante la formación de granos y semillas una considerable cantidad de P se trasloca desde las hojas y tallos hacia las semillas o granos (MENGEL y KIRKBY, 2000).

Las plantas absorben el fosfato de soluciones del suelo muy diluidas en este elemento. El proceso de absorción es activo, es decir, contra el gradiente de concentración en la célula de la planta. La respiración carbohidratada es

responsable de esta absorción activa, la cual varía según las especies y los cultivares dentro de ellas (TEUSCHER y ADLER, 1981). El fósforo es tomado por la planta preferentemente de la solución suelo y en forma secundaria por contacto con las raíces. Durante la época de crecimiento el fósforo se encuentra en máxima concentración en los puntos de crecimiento de la planta, pero a medida que se acerca la madurez se acumula preferentemente en la semilla o porción reproductora (HALL, 1961). Se considera que el suministro de fósforo a las raíces de las plantas se produce principalmente por difusión (90.9%) y una pequeña proporción por flujo de masas (6.3%) e intercepción radicular (2.8%). De ello se deduce que resulta importante mantener una concentración adecuada de fósforo soluble en la solución suelo (Donahue, *et al.*, 1981, citados por GARCIA, 1998).

Asimismo, dentro del factor planta es importante considerar las características y diferencias específicas de las raíces, tales como distribución y longitud de raíces (asociación con micorrizas), el desarrollo y la competencia radicular. Particularmente importante resulta esta última, habiéndose observado que las gramíneas son más eficientes en la absorción de fósforo que las leguminosas. Una vez absorbida el fósforo por las plantas, el fosfato es incorporado rápidamente en los compuestos orgánicos, principalmente hexosafosfatos y uridinafosfatos. El fósforo es móvil y puede ser trasladado en cualquier dirección dentro del vegetal (DAVELOUIS, 1991).

La máxima asimilabilidad de fosfatos por las plantas se alcanza cuando el pH se mantiene entre 6 a 7, valores a que se deberá ajustar los suelos si se quiere que la planta aprovecha todo el fosfato que necesita (WORTHEN y ALDRICH, 1980). Las plantas toman solo el fósforo mineral directamente de la solución suelo. No se conocen plantas que absorben fósforo directamente de la



fase sólida, pero si está demostrado de que no absorben fósforo orgánico soluble. Las formas de fósforo mineral que pueden ser absorbidos por las plantas son en general las formas monocálcica y bicálcica (SANCHEZ, 1981). La mayor parte lo absorben las plantas en forma de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ , y en menor proporción como  $\text{PO}_4\text{H}^-$ . De hecho, la absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, aunque hay que tener en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

El ión fosfato, en particular el que asimilan las plantas superiores, parece estar determinado, en gran parte, por el pH del suelo. Cuando éste es marcadamente alcalino, el ión  $\text{PO}_4\text{H}^-$  es la forma soluble en la cual está el P. Cuando el pH disminuye y el suelo aparece levemente ácido, ambos iones,  $\text{PO}_4\text{H}^-$  y  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$  coexisten, mientras que a acidez elevada, casi todo el fósforo se presenta como ión  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ . Estas dos formas son las que se consideran asimilables para las plantas superiores. Debemos observar que las formas orgánicas solubles de fósforo no pueden ser utilizadas directa y totalmente por las plantas superiores, puesto que han de sufrir una mineralización y aparecer en formas minerales antes que se realice su uso (BUCKMAN y BRADY, 1985).

La cantidad de fósforo utilizable en el suelo implica dos factores relacionados con el cultivo: La extensión del sistema radicular y la profundidad que penetra, es decir el volumen del suelo del cual el cultivo va a extraer el fosfato (RUSSELL y RUSSELL, 1979). La cantidad necesaria de nutrientes para balancear una fertilización y obtener el máximo rendimiento, depende de la provisión de los elementos disponibles del suelo y del cultivo a realizarse. La influencia ejercida por el fósforo sobre el rendimiento depende ampliamente del grado de aprovisionamiento del fósforo en el suelo (DEMOLON, 1965).

Por otra parte el exceso de fósforo sobre la cantidad requerida de la cosecha, algunas veces disminuye el rendimiento, debido probablemente a la aceleración del proceso de maduración y consiguiente desarrollo vegetativo (RUSSELL y RUSSELL, 1979).

#### **2.4. El fósforo en el suelo**

El fósforo constituye uno de los principales elementos mayores para la vida vegetal. El fósforo en el suelo presenta problemas debido a que se halla en cantidades relativamente pequeñas y en la mayoría de los casos poco o nada asimilable para las plantas, como consecuencia de su complicado mecanismo en el suelo, esto sucede tanto, con el fósforo proveniente de los fertilizantes minerales como el fósforo nativo del suelo (Thompson, 1962, citado por NEGREIROS, 1998).

El fósforo en el suelo puede clasificarse en general como orgánico o inorgánico dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se halla. La fracción orgánica se halla en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociados con él. La fracción inorgánica se halla en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor y otros elementos. El contenido de fósforo inorgánico en los suelos es casi siempre mayor que el de fósforo orgánico (TISDALE y NELSON, 1991).

El fósforo del suelo se presenta casi exclusivamente como orto fosfatos derivados del ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). Los compuestos formados pueden encontrarse en forma de sales en solución, sales cristalinas o sales absorbidas por los coloides del suelo. El ión fosfato puede, además, ser directamente absorbido por los coloides del suelo o puede formar enlaces de gran estabilidad con los hidróxidos de Fe, Al o Mn que forman parte de los coloides del suelo;

estos últimos constituyen el "fósforo fijado" (Tisdale, 1977, citado por TUESTA, 2003).

El fósforo a menudo aparece como un nutriente limitante en los suelos agrícolas, cualquiera sea su forma de manejo. No es posible capturarlo biológicamente desde el aire, como ocurre con el nitrógeno, y su ciclo natural involucra larguísimos periodos, lo que en términos de manejo agrícola equivale a decir que no podemos depender del ciclo del fósforo, sino de la posibilidad de generar determinados flujos y sub-ciclos de él al interior de los sistemas suelo-agua-organismos vivos. Sin embargo, los sub-ciclos se ven dificultados por el hecho que los equilibrios de reacción del fósforo tienden a mantener la mayor parte de él en condiciones no disponibles para las plantas o microorganismos (BORIE, 1991).

Las plantas absorben fósforo en estado soluble, pero cuando se introduce fósforo al suelo, más del 90% de él pasa rápidamente a formas no disponibles. Así gran parte de los fertilizantes fosfatados que se aplican no son utilizados por las plantas, sino que se almacenan en el suelo. Los equilibrios de reacción entre las distintas formas de fósforo dependerán de los coloides y minerales presentes en el suelo, el pH, la actividad microbiológica, la presencia de enzimas y ácidos orgánicos y la intensidad de la demanda del nutriente. Mientras la composición y pH del suelo son características inalterables o muy difíciles de alterar, los agentes de origen biológico son posibles de manejar, y prácticamente todos ellos tienden a mantener el fósforo en sus estados de mayor disponibilidad. Por lo mismo, los agentes biológicos son fundamentales para asegurar un mejor y mayor uso del fósforo en el suelo (BORIE, 1991).

En el caso del fósforo, el contenido de agua del suelo puede afectar su aprovechamiento por parte de un cultivo. Esto se debe a que el fósforo en el suelo se mueve muy lentamente por difusión, y la difusión ocurre a través de los poros del suelo sólo cuando tienen agua. La principal consecuencia de la baja movilidad del fósforo es que las raíces pueden absorberlo sólo del suelo que está inmediatamente en contacto con las raíces o, a lo mucho, a unos pocos milímetros de la raíz. Es decir, que de todo el volumen de suelo, el cultivo sólo podrá extraer el fósforo que se encuentre próximo a las raíces. Como la movilidad depende del contenido de agua, esta distancia también va a variar y con ella el volumen del suelo del que el cultivo efectivamente absorbe fósforo. A mayor contenido de agua, mayor movilidad y, por lo tanto, el cultivo puede absorber fósforo de un volumen de suelo mayor (GUTIERREZ y SCHEINER, 1999).

Los factores determinantes de la disponibilidad del fósforo son:

- El factor capacidad o cantidad.
- El factor intensidad; y
- La difusión del fósforo.

La capacidad del suelo para retener el fósforo se refiere a la cantidad que puede absorber ese suelo y está relacionado con la presencia de cargas positivas o capacidad de cambio de aniones. En este caso los suelos arcillosos por tener mayor contenido de óxido de fierro y aluminio que desarrollan cargas positivas en condiciones de acidez presentan una mayor capacidad de absorción. El factor intensidad se refiere al contenido de fósforo en solución, habiéndose encontrado que los suelos arenosos presentan una mayor intensidad (mayor fósforo soluble) y requieren de la adición de menos fósforo

para alcanzar una concentración adecuada de él en la solución suelo. Ello se deriva de la menor capacidad de retención de fosfatos por los suelos arenosos. La difusión del fósforo en el suelo depende de factores como del contenido de arcilla (a más arcilla mayor difusión debido a la menor tortuosidad), del contenido de agua, concentración de fósforo en solución y poder buffer (DAVELOUIS, 1991).

Cuando se aplica un fosfato inorgánico soluble a un suelo, pasa casi inmediatamente a adquirir una forma insoluble. El resultado es que la proporción de su fósforo que queda disponible para ser utilizado por las plantas es muy reducida. Esta pérdida de solubilidad denominada fijación puede ser debido a la precipitación en forma de fosfato de calcio, de hierro o aluminio, dependiendo de que el suelo tenga una reacción alcalina, neutra o ácida. Pero la fijación también puede ser resultado de un proceso de adsorción más complejo, a consecuencia del cual el ión fosfato se une más o menos firmemente al complejo suelo arcilla (BEAR, 1963).

Cuando las arcillas son más ácidas tienden a contener más hierro y aluminio absorbidos. De aquí que en los suelos ácidos, los productos de la fijación del fósforo son principalmente fosfatos complejos de hierro y aluminio. Cuanto más ácido es el suelo, mayor es la cantidad de fósforo fijado en esta forma y mayores serán las precauciones que han de tomarse para asegurar una utilización razonable de los fertilizantes fosfóricos para el cultivo (BEAR, 1963).

En muchos de los suelos ácidos hay predominio de los iones hierro y aluminio. Estos precipitan los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$  de la solución suelo formando minerales de hierro y aluminio, que son más insolubles que otras formas de

fijación tales como los retenidos como aniones fosfatos por arcillas silicatadas o por precipitación por acción del calcio. En los suelos ácidos el fósforo se insolubiliza con el hierro, aluminio y manganeso, mientras en los alcalinos la insolubilidad lo produce el calcio (WORTHEN y ALDRICH, 1980).

En suelos ácidos hay un mecanismo adicional de fijación. El aluminio intercambiable reacciona con los abonos fosfatados y forman compuestos que tienen la fórmula general  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ , que se asemejan a la forma cristalina variscita, pero son más solubles. Un efecto indirecto de este mecanismo es la precipitación de aluminio intercambiable con fósforo. Cuanto mayor sea el contenido de óxidos de aluminio y hierro tanto mayor la capacidad de fijación del suelo. Además, cuanto mayor sea el contenido de aluminio intercambiable, tanto mayor será la capacidad de fijación de fósforo (SANCHEZ, 1981).

Los suelos altos en arcillas (especialmente aquellos del tipo 1:1 y los óxidos acuosos de hierro y aluminio) reaccionan con los ortofosfatos para fijarlos en una forma que es ampliamente ineficaz para el desarrollo de las plantas (TISDALE Y NELSON, 1991). Los suelos en los que se favorece una fuerte fijación de fosfato (adsorción a sesquióxidos y arcillas) frecuentemente requieren aplicaciones muy altas de fertilizantes fosfatados para aliviar los efectos de la fijación. Cuanto más pronunciada sea la pendiente de la curva reguladora de fosfato, mayores serán las dosis a aplicar (MENGEL y KIRKBY, 2000). En suelos con una alta capacidad de fijación de fósforo, el manejo económico y eficiente del fósforo incluye varios procedimientos; en muchos casos no se nota respuesta a aplicaciones de fósforo con dosis de bajas a moderadas (SANCHEZ, 1981).

Si se añade a un suelo un fertilizante a base de fosfato soluble, aplicándolo por diseminación, el fosfato es expuesto a una cantidad de superficie mayor; como consecuencia ha lugar más fijación que si la misma cantidad de fertilizante ha sido aplicada en bandas. La colocación en bandas reduce la superficie de contacto entre el suelo y el fertilizante con una reducción consecuente en la cantidad de fijación (TISDALE Y NELSON, 1991). La aplicación del fósforo en bandas es una práctica simple que satisface la capacidad de fijación de fósforo de un pequeño volumen de suelo y de esa manera hace que gran parte del fertilizante aplicado sea directamente aprovechada por la planta (SANCHEZ, 1981).

Para suelos con niveles muy bajos de fósforo disponible, la aplicación localizada de fertilizante fosfatado suele dar mejores resultados que la aplicación a voleo. La colocación del fertilizante fosfatado asegura que una concentración más alta de fertilizante entra en contacto con un volumen de suelo más limitado. El fertilizante es así capaz de saturar en mayor grado la capacidad de adsorción de fosfatos del suelo. La concentración de fosfato en la solución del suelo es así más alta en la zona de localización (MENGEL y KIRKBY, 2000).

La colocación en bandas aumenta generalmente la utilización por las plantas de los fosfatos solubles en agua, tales como el superfosfato. Hay, sin embargo, otros fertilizantes fosfáticos, que están clasificados como insolubles en agua, cuya utilización por las plantas parece ser mayor cuando se mezclan con el suelo más bien que cuando se aplican en bandas (TISDALE Y NELSON, 1991).

En la materia orgánica, el humus y el ácido fosfórico se combinan formando humofosfatos, con lo que se evita la fijación de este fósforo en el suelo, y lo mantiene en forma fácilmente asimilable por la planta. Vemos pues, que el humus del suelo es importante en la alimentación fosfórica de la planta (GUERRERO, 1996). Numerosos trabajadores han manifestado que los extractos de humus de los suelos han aumentado la solubilidad del fósforo. Esto ha sido descrito variamente como resultado de 1) la formación de complejos fosfohúmicos que son más fácilmente asimilables por las plantas, 2) reemplazamiento del anión fosfato por el ión humato, y 3) el envolvimiento de partículas de sesquióxido por el humus para formar una cubierta protectora y reducir así la capacidad del suelo de fijar fosfato (TISDALE Y NELSON, 1991).

## **2.5. Fertilizantes fosforados**

Cabalчета (1997), citado por TUESTA (2003), menciona que en la naturaleza, el fósforo forma parte de las rocas y los minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos. Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de los grandes yacimientos de "roca fosfórica". Estos compuestos minerales, son tratados para hacerlos más solubles para que así, sean disponibles para las plantas y puedan ser utilizados por estas en la formación de tejidos y órganos vegetales.

Diversos investigadores señalan que dosis muy bajas con fuentes poco solubles, son muy desfavorables ya que corresponden a una pobre distribución, por estar muy espaciados los gránulos del fertilizante con respecto a volumen total de suelo, esto se subsana con fuentes de alta hidrosolubilidad (TISDALE y NELSON, 1991).



Un criterio importante para el uso de los fertilizantes fosfatados es su solubilidad. El superfosfato, por ejemplo, es muy soluble en agua, mientras que las rocas fosfatadas molidas son muy insolubles en este medio (MENGEL y KIRKBY, 2000). Los productos altamente solubles, tales como el fosfato amónico y los superfosfatos, darán resultados satisfactorios bajo todas las circunstancias en que es posible la respuesta de la cosecha a un fosfato aplicado. Aunque los fosfatos insolubles en agua y aquellos de baja hidrosolubilidad pueden dar igualmente buenos resultados bajo ciertas condiciones, no son tan aconsejables como los productos hidrosolubles (TISDALE Y NELSON, 1991).

En trabajo experimental en suelos ácidos de Tingo María, la aplicación de superfosfato triple de calcio y de roca fosfórica bayóvar, mostraron diferencias no significativas en el rendimiento de grano de tres variedades de caupí, mientras que en el análisis de fósforo foliar si se presentaron diferencias, resultando ser mayor la asimilación de fósforo cuando la fuente es más soluble. Así mismo los diferentes niveles de fósforo ensayados (40 y 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), no mostraron efectos significativos en el parámetro rendimiento de grano; pero la concentración de fósforo foliar muestran diferencias significativas para los niveles de fósforo, siendo mayor la concentración conforme se incrementa el nivel de aplicación de fósforo (AREVALO, 1986).

En un trabajo de investigación realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú, de textura franca, ligeramente alcalino, con alto contenido de fósforo y potasio, pero con bajo contenido de materia orgánica; los mayores promedios en el rendimiento de papa se obtuvieron con el superfosfato triple y el fosfato de amonio, encontrándose menores promedios al aplicar superfosfato simple. Así mismo los rendimientos fueron mayores al

aplicar mayores dosis de fertilizante fosforado (200, 100, 50 y 0 ppm de fósforo, respectivamente). Para todos los efectos el combinatorio de las fuentes y dosis superaron al tratamiento adicional (testigo sin fósforo aplicado) y no se registró significación en la interacción de la fuente por la dosis (NEGREIROS, 1998).

En un estudio de evaluación de tres fertilizantes fosfóricos en dos suelos de Tingo María y en cultivos secuenciales de soya y maíz para determinar el rendimiento de materia seca total y el coeficiente aparente de uso (C.A.U.) de estos fertilizantes, en cuanto a las fuentes se obtuvieron mayores rendimientos de materia seca y C.A.U. con el superfosfato triple seguido de la roca fosfórica y luego el superfosfato simple en los cultivos de soya (efecto inmediato) y maíz (efecto residual) en el suelo degradado. Para el suelo aluvial el orden de mayor rendimiento de materia seca y C.A.U. fue: superfosfato triple, superfosfato simple y roca fosfórica, respectivamente (GARCIA, 1998).

### **2.5.1. Roca fosfórica**

La roca fosfórica es un abono simple fosfatado; la roca mineral extraída de los yacimientos es partida o triturada, luego es enriquecida por flotación y finalmente finamente molida para pasar a través de tamices de 100, 150 y 300. Su densidad aparente es aproximadamente 1.3 y es de reacción alcalina en el suelo. Constituye la principal fuente del fósforo que se utiliza en la industria y en la agricultura, son extraídos de los filones, yacimientos y depósitos de fosfatos cálcicos. Es vendido tal cual como materia prima de abonos fosfatados tanto simples como compuestos (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

Los fosfatos naturales finamente molidos deben ser esparcidos en los cultivos con varios meses de anticipación y enterrados en los suelos a fin de

asegurar un contacto íntimo con las partículas y la humedad del suelo. Los fosfatos naturales dan resultados más rápidos en los suelos medianamente provistos de  $P_2O_5$  que en los suelos pobres, aún los ácidos (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

El empleo óptimo como abono corresponde a su aplicación sobre leguminosas cultivadas en rotación sobre suelos ácidos, pesados o medianos, con una buena proporción de materia orgánica. Bajo la acción de los ácidos del suelo, de las raíces y del agua con  $CO_2$ , los fosfatos naturales pueden ser lentamente asimilados por las plantas en suelos húmedos de pH ácido (por debajo del 6) (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

El mineral fosfato nunca debería aplicarse directamente en ningún cultivo de estación corta, con la idea de que sea suministrado fósforo. Su disponibilidad es baja, y solamente cuando se utiliza en grandes cantidades y en rotación, incluyendo trébol rojo y dulce que son enérgicos consumidores del mineral fosfato, debería esto considerarse (TISDALE Y NELSON, 1991).

El fosfato mineral pulverizado, debido a su insolubilidad, debe ser finamente reducido a polvo para que pueda reaccionar fácilmente cuando se le aplica al suelo. El fosfato mineral es el menos asimilable de todos los fertilizantes fosfatados, siendo su orden el siguiente: fosfatos amónicos y superfosfatos, escorias básicas, harina de huesos y roca pulverizada (BUCKMAN y BRADY, 1985). Actualmente tan solo pequeñas cantidades de roca fosfatada molida se usan directamente como fertilizante. De ella, un 90% se trata posteriormente para convertirla en diversos tipos de superfosfato (TEUSCHER y ADLER, 1981).

Todo el fósforo contenido en la roca fosfatada se encuentra como fosfato tricálcico  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , que a un pH ligeramente por arriba del punto neutro es prácticamente insoluble en agua, por cuya razón es inútil aplicar roca fosfatada a suelos de tipo alcalino. Tratándose de suelos cuyo pH es inferior a 6.0, la situación es diferente, porque en tales condiciones el fosfato tricálcico se convierte gradualmente en difosfato que sí puede ser aprovechado por las plantas. La posibilidad de tomar el fósforo de las rocas fosfóricas molidas depende del ciclo vegetativo del cultivo, de allí que a mayor tiempo de duración del cultivo mayor será el uso del fósforo que proviene de la roca fosfórica (TEUSCHER y ADLER, 1981)

La principal desventaja de la roca fosfatada es que su composición general y su contenido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) varían con los diferentes yacimientos. Otra desventaja que debe mencionarse es el hecho de que casi todas las rocas fosfatadas son extremadamente duras, condición que no permite reducir las a polvo fino, como sería lo deseable para obtener mejores resultados (TEUSCHER y ADLER, 1981).

El efecto de las rocas fosfóricas aplicadas como fertilizante depende de algunas características del suelo como el contenido, formas y disponibilidad de los fosfatos nativos, su reacción (pH), contenido en aluminio y fierro, humus, etc; de algunas propiedades del fertilizante como el contenido en fosfatos, solubilidad, velocidad de disolución así como de su manejo, dosis y forma de aplicación, etc. El tamaño de las partículas de la roca fosfórica tiene influencia sobre alguno de los factores anteriormente mencionados (FASSBENDER y BORNEMISZA, 1987).

El valor agronómico o efectividad agronómica relativa de las rocas fosfóricas depende de varios factores, entre ellos se puede mencionar los siguientes: La reactividad química de la roca, tamaño de partícula de la roca, propiedad del suelo y el clima de la región, tiempo y método de aplicación, cultivo a sembrar, efecto residual de la roca fosfórica, uso de la roca como corrector del suelo (Roy y Poslo, 1987, citado por MAMANI, 1997).

### **2.5.2. Superfosfato triple de calcio**

El superfosfato triple de calcio es un abono simple fosforado que se presenta en forma granulada, de color gris, su densidad aparente es de 1.0 a 1.2, casi todo el ácido fosfórico se encuentra en forma de ortofosfato monocálcico, soluble en el agua, producto poco higroscópico y de reacción neutra. Del 42 – 50% de  $P_2O_5$  total, un 40 – 49% de  $P_2O_5$  se halla en forma asimilable como ortofosfato monocálcico; se obtiene por el tratamiento de los fosfatos naturales con el ácido fosfórico (ortofosfórico). Son abonos fosfatados de acción rápida, indicado para los suelos normalmente provistos de cal (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

El superfosfato triple o concentrado contiene del 19 al 22 por ciento de fósforo (44 – 52%  $P_2O_5$ ), un 95 al 98 por ciento del cual es hidrosoluble y aproximadamente todo él es clasificado como disponible. Es esencialmente fosfato monocálcico (TISDALE Y NELSON, 1991).

En los suelos de reacción ácida, ricos en sesquióxidos y pobres en bases térreas, los fosfatos solubles pasan rápidamente al estado de complejos férricos o aluminicos en los que el fósforo es inasimilable. Debido a su alta concentración, se utiliza sobre todo para la preparación de mezclas muy

concentradas y en regiones donde los transportes son difíciles. (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

### **2.5.3. Fosfato diamónico**

El fosfato diamónico es un abono compuesto binario (nitrofosfatado), que en forma pura es una sal cristalina, pero también se presenta en forma granulada en el comercio. Este abono es bastante soluble en agua, posee una densidad aparente cercana a la unidad y es de reacción ácida. Se puede utilizar como abono nitrogenado y como abono fosfatado, en la mayor parte de los casos se comporta como un superfosfato concentrado con amoniaco (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

Es más soluble y ligeramente más asimilable en los suelos neutros y alcalinos. Aunque los resultados obtenidos con los fosfatos de amonio no hayan sido siempre satisfactorios en tierras arenosas, ácidas y pobres en cal, las ventajas muy grandes de los fosfatos de amonio (solubilidad y alta concentración) hacen que su empleo se haya desarrollado considerablemente en todo el mundo durante todos estos años (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó de junio a octubre del 2006, en el predio de las Hermanas Franciscanas, localidad de Bajo Afilador en el km. 2 de la carretera Tingo María – Huánuco (Las Lomas), distrito de Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento de Huánuco, región Andrés Bello. Geográficamente se encuentra ubicado en las coordenadas UTM:

Norte	= 8969321
Este	= 391320
Zona	= 18 L
Altitud	= 760 m.s.n.m.

##### 3.1.1. Antecedentes del campo experimental

El experimento se realizó en un terreno de suelo degradado donde muchos años atrás se había cultivado coca y posteriormente se hizo purma con presencia de malezas predominantes como la macorilla (*Pteridium aquilinum*) y cashucsha (*Imperata sp.*).

##### 3.1.2. Cultivar

Para el experimento se utilizó semilla de soya (*Glycine max* L.) variedad Instituto Agronómico Campinas – 8 (IAC – 8), genealogía: Bragg x F-705 (Hill x PI-240664) adquiridos en la Empresa San Fernando.

### 3.1.3. Condiciones climáticas

Los datos meteorológicos registrados durante el periodo vegetativo del cultivo (junio – octubre del 2006), fueron obtenidos de la Estación Meteorológica “José Abelardo Quiñones” de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento (junio a octubre del 2006).

Mes	Temperatura (°C)			H°R° (%)	Pp (mm)	Horas sol
	Máxima	Mínima	Media			
Junio (2006)	29.3	19.9	24.6	84	123.5	176.70
Julio (2006)	30.4	18.9	24.6	81	71.1	218.19
Agosto (2006)	30.3	20.0	25.1	81	118.3	192.70
Setiembre (2006)	30.7	20.0	25.3	81	205.2	190.80
Octubre (2006)	30.3	21.0	25.6	83	389.6	149.00
Total	151.0	99.8	125.2	410	907.7	927.39
Promedio	30.2	19.9	25.0	82	181.5	185.47

**Fuente:** Estación Meteorológica “José Abelardo Quiñones”. UNAS – Tingo María

En el Cuadro 1, se puede observar que las características climáticas del campo experimental, corresponden a un clima de bosque muy húmedo subtropical (BmhsT), con una temperatura media de 25°C, buena para el crecimiento y desarrollo del cultivo de soya. La humedad relativa muestra ligeros cambios aún en presencia de variaciones pluviales.



### 3.1.4. Análisis de suelo

El análisis físico-químico del suelo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y los resultados se muestran en el Cuadro 2. Las submuestras se tomaron de una profundidad de 0 – 20 cm.

**Cuadro 2.** Análisis físico-químico inicial del suelo donde se instaló el experimento.

<b>Parámetros</b>	<b>Contenido</b>	<b>Método de análisis</b>
<b>Análisis físico:</b>		
- Arena (%)	60.00	Hidrómetro
- Limo (%)	23.00	Hidrómetro
- Arcilla (%)	17.00	Hidrómetro
Clase textural	Fr.Ao.	Triángulo textural
<b>Análisis químico:</b>		
pH en agua (1:1)	4.10	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	3.70	Walkley y Black
N total (%)	0.17	% M.O. x 0.045
P disponible (ppm)	4.20	Olsen modificado
K <sub>2</sub> O disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	210.00	Acido sulfúrico 6N
Ca + Mg (meq/100 g)	3.20	E.D.T.A.
Al + H (meq/100 g)	5.00	Yuan
CIC <sub>e</sub> (meq/100 g)	8.20	KCl 1N

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de suelo de la UNAS – Tingo María

Según el análisis físico y químico del suelo, se tiene un suelo franco arenoso, textura media a gruesa, de origen residual, reacción extremadamente ácida (pH = 4.1), con presencia de alta acidez cambiante y toxicidad de aluminio, contenido medio de materia orgánica y nitrógeno total, bajo en fósforo y potasio disponible, CIC intercambiable en un nivel bajo, contenido medio de Ca y Mg intercambiable.

### **3.1.5. Descripción morfológica del perfil del suelo**

Tipo de suelo: residual..... Fecha: 13/08/2006..... Calicata N°: único...  
Taxonomía de suelos: inceptisol..... Localidad: Las Lomas – Afilador.....  
Zona de vida: bosque muy húmedo subtropical.. Clima: Pp 3660 mm.. T° 25°C..  
Vegetación o cultivo: soya, pasto natural, macorilla, cashucsha.....  
Fisiografía: colina alta..... Material madre: arenisca, roca sedimentaria.....  
Relieve: ondulado (excesivo)..... Drenaje: grado 2, bien drenado.....  
Pendiente: 13 – 25 %..... Escurrimiento superficial: grado 3, rápido.....  
Napa freática: no visible.... Permeabilidad: moderada a moderadamente lenta...  
Altitud: 760 msnm..... Humedad: húmedo todo el perfil.....  
Profundidad efectiva: muy profundo, mayor a 150 cm.....

Horizontes:

A<sub>0</sub>

AB

B<sub>1</sub>

B<sub>2</sub>

**Cuadro 3.** Características de los horizontes del perfil del suelo donde se realizó el experimento.

Hz	Profundidad (cm)	Límite (cm)	Distribución de raíces	Textura	Estructura	Consistencia	Porosidad	pH	Materia orgánica (%)	Color	CO <sub>3</sub>
A <sub>0</sub>	12	0-12	Abundante, gruesas y finas	Franco Arenoso	Granular	Friable	Abundantes y gruesas	4.7	3.5	10 YR 3/6 (marrón oscuro)	0.0
AB	47	13-59	Pocas y finas	Franco Arcilloso	Bloque subangular medio	Friable	Abundantes, finas y gruesas	4.3	1.6	10 YR 4/4 (marrón amarillento)	0.0
B <sub>1</sub>	37	60-96	Pocas y finas	Franco Arcilloso	Bloque subangular fino	Friable	Abundantes, finas y gruesas	4.8	1.0	7.5 YR 4/6 (marrón anaranjado)	0.0
B <sub>2</sub>	39	97-135	No hay	Franco Limoso	Bloque subangular fino	Firme	Pocas y gruesas	4.8	0.1	7.5 YR 5/8 (anaranjado)	0.0

### **3.2. Componentes en estudio**

#### **3.2.1. Fuentes de fertilizantes fosforados (A)**

$a_1$  = Roca fosfórica (30%  $P_2O_5$ )

$a_2$  = Fosfato diamónico (18% N - 46%  $P_2O_5$ )

$a_3$  = Súper fosfato triple de calcio (46%  $P_2O_5$ )

#### **3.2.2. Niveles de fertilización (B)**

$b_1$  = 60 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$

$b_2$  = 100 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$

$b_3$  = 140 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$

#### **3.2.3. Testigo adicional**

$d_1$  = 0 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$

### **3.3. Diseño experimental**

En el estudio del presente experimento se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial 3 x 3, más un testigo adicional y 4 repeticiones, haciendo un total de 10 tratamientos, originados de la combinación de las fuentes y los niveles de fertilización fosforada mas el testigo adicional. Los resultados de las características evaluadas se sometieron al análisis de varianza y la significación estadística se determinó por la prueba de Duncan al nivel de 0.05 de probabilidad.

**Cuadro 4.** Esquema del análisis de variancia del experimento

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Bloques	3
Tratamiento	9
Factorial	8
A (Fuentes de fertilizantes fosforados)	2
B (Niveles de fertilización fosforada)	2
Interacción (A x B)	4
Factorial vs. Testigo	1
Error experimental	27
<b>Total</b>	<b>39</b>

**Modelo aditivo lineal**

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

Para:

i = 1, 2, 3 fuentes de fertilizante fosforado.

j = 1, 2, 3 niveles de fertilización fosforada.

k = 1, 2, 3, 4 bloques.

Donde:

- $Y_{ijk}$ : Respuesta en la k-ésima repetición o bloque, a la cual se le aplicó la i-ésima fuente de fertilizante fosforado, con el j-ésimo nivel de fertilización fosforada.
- $\mu$ : Efecto de la media general.
- $\alpha_i$ : Efecto de la i-ésima fuente de fertilizante fosforado.
- $\beta_j$ : Efecto del j-ésimo nivel de fertilización fosforada.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto de la interacción de la i-ésima fuente de fertilizante fosforado con el j-ésimo nivel de fertilización fosforada.
- $\mathcal{L}_k$ : Efecto del k-ésimo bloque o repetición.
- $\varepsilon_{ijk}$ : Efecto aleatorio del error experimental asociada a dicha observación.

### 3.4. Tratamientos en estudio

Los tratamientos generados según el arreglo factorial  $3 \times 3 = 9$  tratamientos, más 01 testigo adicional, se detallan en el Cuadro 4. Cabe indicar que los tratamientos en estudio fueron manejados con aplicaciones de nitrógeno  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  (urea 46% N) a excepción de los tratamientos con fosfato diamónico que se aplicó la diferencia de su contenido de nitrógeno y potasio  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  (cloruro de potasio 60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), de acuerdo a los resultados del análisis físico – químico inicial del suelo donde se desarrolló el experimento y teniendo en cuenta la extracción de nutrientes del cultivo de soya ( $120 \text{ N} - 100 \text{ K}_2\text{O}$ ).

**Cuadro 5.** Descripción de los tratamientos en estudio.

<b>Clave</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Fuentes de Fertilizantes</b>	<b>Niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Roca fosfórica	60 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Roca fosfórica	100 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Roca fosfórica	140 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>4</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Fosfato diamónico	60 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Fosfato diamónico	100 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Fosfato diamónico	140 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>7</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	Superfosfato triple de calcio	60 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>8</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	Superfosfato triple de calcio	100 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>9</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	Superfosfato triple de calcio	140 (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>10</sub>	Testigo	Sin fertilizante fosforado	

### 3.5. Características del campo experimental

#### Dimensiones del campo experimental

- Largo : 25.00 m.
- Ancho : 13.80 m.
- Distanciamiento entre bloques : 1.00 m.
- Distanciamiento entre parcelas : 0.50 m.
- Área total del campo experimental : 345.00 m<sup>2</sup>

#### Bloques

- Número de bloques : 4
- Largo del bloque : 25.00 m.

- Ancho del bloque : 2.70 m.
- Área del bloque : 67.50 m<sup>2</sup>
- Área total de bloques : 270.00 m<sup>2</sup>

### **Parcelas**

- Número de parcelas por bloque : 10
- Largo de la parcela : 2.70 m.
- Ancho de la parcela : 2.50 m.
- Área de cada parcela : 6.75 m<sup>2</sup>
- Área de parcela neta a evaluar : 2.25 m<sup>2</sup>
- Número de plantas por parcela neta : 45

### **Hileras**

- Número de hileras por parcela : 5
- Número de golpes por hilera : 9
- Número de golpes por parcela : 45
- Distanciamiento entre hileras : 0.50 m.
- Distanciamiento entre golpes : 0.30 m
- Número de plantas por golpe : 3

## **3.6. Ejecución del experimento**

### **3.6.1. Delimitación y limpieza del terreno**

El área del experimento se delimitó con estacas de acuerdo al croquis elaborado, empezándose a realizar la limpieza del terreno en forma manual.



### **3.6.2. Muestreo inicial del suelo**

Previo a la preparación del terreno se tomaron al azar varias sub-muestras de cada bloque en todo el área experimental a una profundidad de 0 – 20 cm con un tubo muestreador, para luego obtener un kilogramo de muestra compuesta, la que fue sometida al análisis físico-químico en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.6.3. Preparación del terreno**

Se preparó manualmente con el uso de azadón, removiendo el suelo a una profundidad de 10 cm con la finalidad de eliminar las malezas completamente e incorporarlas al suelo.

### **3.6.4. Obtención de la semilla**

La semilla utilizada para la instalación del presente experimento fue de la variedad IAC – 8, que fue adquirida de la Empresa San Fernando – Tarapoto.

### **3.6.5. Desinfección de la semilla**

Antes de la siembra, la semilla fue desinfectada con Homai W. P. (Tiofanate Metil + Thiram) a razón de 5 gramos/kilogramo de semilla, con la finalidad de evitar el ataque de enfermedades.

### **3.6.6. Siembra**

La siembra fue realizada el 17 de junio del 2006, colocando cuatro semillas por hoyo a 5 cm de profundidad en forma tradicional utilizando

el tacarpo. A los 15 días de la siembra se realizó el desahije dejando 3 plantas por golpe.

#### **3.6.7. Fertilización**

La fertilización se realizó al momento de la siembra y antes de la floración en base a los tratamientos en estudio, aplicándose todo el fósforo y potasio al momento de la siembra y fraccionando el nitrógeno en dos partes (la mitad al momento de la siembra y la otra mitad antes de la floración). Antes de realizar la fertilización, se mezclaron los fertilizantes para luego ser aplicados en forma de bandas a una profundidad de 5 cm y finalmente ser cubiertos con tierra.

#### **3.6.8. Control de malezas**

Esta práctica se realizó periódicamente en forma manual.

#### **3.6.9. Cosecha**

Esta actividad se llevó a cabo cuando las vainas presentaron la madurez fisiológica necesaria para la cosecha, aproximadamente a los 120 días después de la siembra.

#### **3.6.10. Trilla**

Las plantas cosechadas fueron expuestas al sol durante 3 días para su completo secado y luego sometidas a la trilla en forma manual.

### **3.6.11. Análisis final de suelo**

Se tomaron varias sub-muestras de cada uno de los tratamientos en cada bloque a una profundidad de 0 – 20 cm con un tubo muestreador. Finalmente se obtuvo un kilogramo de muestra compuesta por cada tratamiento, haciendo un total de 10 muestras, las cuales fueron sometidas al análisis físico – químico respectivo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.7. Observaciones registradas y metodología**

#### **3.7.1. Emergencia**

Se realizó a los 10 días después de la siembra contando los golpes germinados por parcela, llevándolos luego a porcentaje. Se obtuvo más del 90% de germinación, que es calificado como muy bueno según la escala del CIAT (1988), citado por CASTAÑEDA (2006).

1 = >90%.....muy bueno

2 = 80 – 90%.....bueno

3 = 70 – 79%.....aceptable

4 = 60 – 69%.....malo

5 = < 60%.....muy malo

### **3.7.2. Altura de planta**

Se realizaron cuatro evaluaciones de altura de planta: a los 15, 30, 45 y 60 días después de la emergencia. Esta labor se llevó a cabo seleccionando 10 plantas al azar dentro de la parcela neta, haciendo uso de una regla graduada. La determinación de la altura de planta fue desde el nivel de la cicatriz del cotiledón hasta el ápice del tallo principal.

### **3.7.3. Días a la floración**

Se contaron el número de días transcurridos desde la siembra hasta cuando el 50% de las plantas de cada parcela presentaron su primera flor, lo que sucedió el 03 de agosto del 2006 para todos los tratamientos.

### **3.7.4. Peso fresco y seco a la floración**

Se tomaron al azar 10 plantas de los bordes de cada parcela de los tratamientos en estudio al momento de la floración, separando la parte aérea de la radicular, para posteriormente determinar el peso fresco de cada una de ellas haciendo uso de una balanza analítica. Para la determinación del peso seco, se sometieron las muestras frescas a una estufa a 90° C por 48 horas, para luego registrar el peso seco tanto de la parte aérea como radicular de cada una de las plantas.

### **3.7.5. Número de nódulos a la floración**

El conteo de nódulos se realizó a la floración, evaluándose en 10 plantas extraídas del borde de cada parcela, luego se promedió el número de nódulos por planta. También se determinó la actividad de nódulos,

considerándose activos a los nódulos que presentaban una coloración rojiza o ladrillo, e inactivos a la presencia de color gris amarillento. Se utilizó la escala de evaluación de nodulación según el CIAT (1988), citado por CASTAÑEDA (2006). En este caso la mayoría de las plantas evaluadas en todos los tratamientos no presentaron nódulos por lo que no fueron considerados en los resultados.

<b>Evaluación</b>		<b>Escala</b>
Más de 100	Muy abundante	4
50 – 100	Abundante	3
10 – 50	Mediana	2
1 – 10	Poca	1
0	No hay	0

### **3.7.6. Días a la madurez fisiológica**

Se tomaron los días transcurridos desde la siembra hasta que aproximadamente el 95% de las vainas cambiaron del color verde a un color amarillo, lo que indica que están maduras y se inicia el proceso de secado. Esto sucedió el 29 de setiembre del 2006.

### **3.7.7. Días a la madurez de cosecha**

Se tomaron los días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la que aproximadamente el 95% de las vainas estuvieron maduras y secas listas para ser cosechadas, realizándose el 14 y 15 de octubre del 2006.

### **3.7.8. Número de vainas por planta**

El número de vainas por planta se determinó en 10 plantas por parcela de cada tratamiento obteniéndose el promedio de vainas por planta.

### **3.7.9. Número de vainas vanas por planta**

Por cada parcela neta se tomaron 10 plantas al azar y se contaron las vainas vanas (granos muy pequeños y/o ausencia de granos), los resultados se expresaron en porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ vainas vanas} = (\text{N}^\circ \text{ de vainas vanas} / \text{total de vainas}) \times 100$$

### **3.7.10. Número de granos por vaina**

Se tomaron 20 vainas no vanas al azar por cada parcela cosechada y se registró el número de granos promedio por vaina.

### **3.7.11. Tamaño y calidad de la semilla**

Se consideró el promedio de tres pesadas de 100 granos de soya tomadas al azar por tratamiento, determinando el tamaño de semilla mediante la tabla recomendada por el CIAT (1988), citado por CASTAÑEDA (2006). Se obtuvieron semillas medianas de segunda y tercera calidad.

<b>Peso</b>	<b>Descripción</b>
Menor de 15 g.	Pequeños
16 – 20 g.	Medianos
Más de 21 g.	Grandes

Porcentaje de impurezas	Calidad
0 – 9%	1°
10 – 14%	2°
15 – 20%	3°
21 – 30%	4°
> 30%	Descarte

### 3.7.12. Peso de 100 semillas

Del peso total de grano por parcela se tomaron al azar tres muestras de 100 semillas y se determinó su peso en gramos (% de humedad en un rango de 12 – 14% para todos los tratamientos).

### 3.7.13. Rendimiento

Después de la trilla, se realizó el pesado del grano seco a fin de obtener el rendimiento en kilogramos/parcela neta y proyectarlo a  $\text{kg ha}^{-1}$ , obteniendo el rendimiento bruto (granos e impurezas), luego se seleccionó los granos para encontrar el porcentaje de impurezas, dando como resultado el rendimiento neto los cuales fueron ajustados al 14% de humedad, para lo cual se empleó la siguiente fórmula (TUESTA, 2003):

$$\text{Peso de grano por parcela (corregido al 14\% de H}^{\circ}\text{)} = \text{peso parcela neta} \times \frac{100 - \% \text{ H}^{\circ} \text{ medido}}{100 - 14\% \text{ H}^{\circ}}$$

### 3.7.14. Análisis de rentabilidad

La rentabilidad de la soya variedad IAC – 8 con la aplicación de cada uno de los tratamientos en estudio, se determinó mediante la diferencia del valor total de producción con el costo de producción, constituyendo el beneficio neto que permitió deducir el índice de rentabilidad entre el beneficio y costo en cada fuente y nivel de aplicación de fertilizante fosforado (relación B/C).

Beneficio neto = Ingreso bruto – Costo de producción

Ingreso bruto = Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) x precio (S/ x kg)

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo de producción}}$$



## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Rendimiento en grano**

Los resultados del análisis estadístico para la característica del rendimiento de grano se presenta en el Cuadro 6, donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas al 1% de probabilidad para el efecto de tratamientos, factorial, efecto del factor principal fuente de fertilizante fosforado (A), nivel de fertilización fosforada (B) y contraste Factorial vs. Testigo; asimismo se observa diferencias significativas al 5% de probabilidad para el efecto de la interacción A x B, mientras que para el efecto de bloques no existieron diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variabilidad (11.88%) nos indica muy buena homogeneidad de los resultados experimentales.

Las diferencias significativas para el efecto de tratamientos, factorial, factor fuentes de fertilizante fosforado, niveles de fertilización fosforada, interacción A x B y contraste Factorial vs. Testigo, nos estaría indicando que existió variación o incremento significativo de la producción por efecto de la aplicación de las diferentes fuentes y niveles de fertilización fosforada, debido a que el experimento se realizó en un suelo infértil extremadamente ácido con bajo contenido de fósforo, tal como nos muestran los resultados del análisis físico – químico inicial del suelo (Cuadro 2).

Esto coincide con lo indicado por BERTSCH (1986), que en general los suelos del trópico presentan contenidos bajos de fósforo, y que según SCOTT (1975), hay un criterio de notable coherencia, en el sentido de que la soya responde mejor a los fertilizantes cuando los valores de los análisis del suelo son bajos.

**Cuadro 6.** Resumen del análisis de variancia para el rendimiento de grano seco de soya (Tingo María, 2006).

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	
Bloque	3	38828.220	NS
Tratamiento	9	171255.200	AS
Factorial	8	143359.735	AS
A (Fuentes de fertilizante fosforado)	2	434888.400	AS
B (Niveles de fertilización fosforada)	2	99438.660	AS
A x B	4	19555.940	S
Factorial vs. Testigo	1	394418.920	AS
Error experimental	27	18199.610	
<b>Total</b>	<b>39</b>		
	<b>C.V.:</b>	<b>11.88%</b>	

NS : No existe significación estadística.  
 S : Significación estadística al 5% de probabilidad.  
 AS : Significación estadística al 1% de probabilidad.

Independientemente, del efecto de las fuentes y niveles de fertilización fosforada, las condiciones climáticas (Cuadro 1), específicamente la precipitación fue un factor determinante en la producción de la soya, que afectó en forma negativa disminuyendo los rendimientos entre el 30 y 40% para todos los tratamientos en estudio, en comparación al resultado obtenido por CASTAÑEDA (2006) con la misma variedad, pero en suelos aluviales sin recibir ningún tipo de fertilización con agricultura de sol y malezas. Las bajas precipitaciones afectaron en el periodo crítico de formación de semillas y

llenado de vainas, como consecuencia se obtuvo buen porcentaje de vainas vanas (20 – 30%), y por el contrario debido a las altas precipitaciones en la fase de maduración y cosecha se desarrollaron hongos en los granos, dando como resultado un incremento significativo en el porcentaje de impurezas (10 – 20%).

**a) Efecto de las fuentes de fertilizante fosforado**

Del Cuadro 7 se deduce que para el carácter rendimiento todas las fuentes de fertilizante fosforado difirieron estadísticamente, ocupando el primer lugar el superfosfato triple de calcio, seguido por el fosfato diamónico y la roca fosfórica.

Este resultado obtenido es como respuesta a la alta solubilidad del superfosfato triple de calcio, donde casi todo el ácido fosfórico se encuentra en forma de ortofosfato monocálcico, soluble en el agua (95 – 98%), por lo tanto disponible y asimilable para la planta (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982; TISDALE y NELSON, 1991). Si bien es cierto, que el fosfato diamónico también es altamente hidrosoluble, en la mayor parte de los casos se comporta como un superfosfato concentrado con amoníaco; no obstante, es más soluble y ligeramente más asimilable en los suelos neutros y alcalinos (ZAPATA y VILLAGARCIA, 1982). En el caso de la roca fosfórica, el fósforo que contiene es poco soluble y es el menos asimilable de todos los fertilizantes fosforados (BUCKMAN y BRADY, 1985), aunque muchos autores recomiendan su uso en suelos ácidos, porque en tales condiciones el fosfato tricálcico se convierte gradualmente en difosfato que si puede ser aprovechado por las plantas (TEUSCHER y ADLER, 1981), pero para este proceso se necesita de mayor tiempo de contacto del fertilizante con el suelo, ya que según TISDALE y

NELSON (1991), nunca debería aplicarse directamente en ningún cultivo de estación corta, con la idea de que suministre fósforo, ya que su disponibilidad es baja, y solamente cuando se utiliza en grandes cantidades y en rotación debería esto considerarse, por el efecto residual que posee.

**b) Efecto de los niveles de fertilización fosforada**

En el carácter rendimiento el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, diferenciándose estadísticamente de los niveles  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , los cuales mostraron resultados similares (Cuadro 7).

En este caso como se trata de un suelo pobre, necesita mayor cantidad de fósforo para satisfacer las necesidades nutricionales de la planta, ya que según FAO (1995), en la soya el manejo de fósforo es determinante para su producción, particularmente en suelos ácidos, en los cuales la fijación de este elemento es elevado; la baja cantidad de fósforo y la alta capacidad de fijación de los suelos tropicales, implica que los requerimientos de fertilizantes a base de fósforo sean mayores. MENGEL y KIRKBY (2000), manifiestan al respecto que los suelos con alta capacidad de fijación de fosfatos, frecuentemente requieren aplicaciones muy altas de fertilizantes fosfatados para aliviar los efectos de la fijación. Por su parte SANCHEZ (1981), indica que en América tropical las dosis recomendadas para soya son de  $100$  a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , y que en suelos con alta capacidad de fijación de fósforo, el manejo económico y eficiente del fósforo incluye varios procedimientos y en muchos casos no se nota respuesta a aplicaciones de fósforo con dosis de bajas a moderadas.

**Cuadro 7.** Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el rendimiento neto de grano seco de soya.

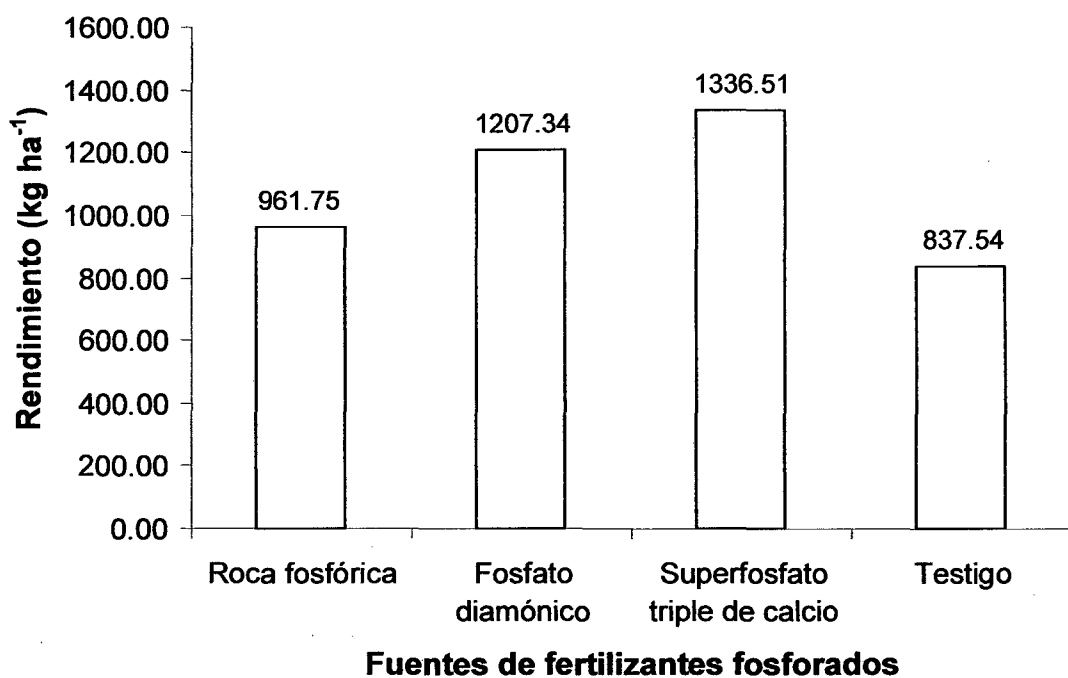
<b>Factor</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	
<b>Fuentes de fertilizante fosforado</b>		
a <sub>3</sub> (Superfosfato triple de calcio)	1336.51	a
a <sub>2</sub> (Fosfato diamónico)	1207.34	b
a <sub>1</sub> (Roca fosfórica)	961.75	c
<b>Niveles de fertilización fosforada</b>		
b <sub>3</sub> (140 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1273.59	a
b <sub>1</sub> (60 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1118.96	b
b <sub>2</sub> (100 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1113.06	b

En las Figuras 1 y 2, se visualiza que todas las fuentes de fertilizante fosforado y todos los niveles de fertilización fosforada, fueron superiores al testigo; confirmando que sí hubo respuestas significativas a la aplicación de fertilizantes fosforados. En este caso se contradice a TISDALE y NELSON (1991), los cuales indican que en suelos ácidos, donde predominan arcillas del tipo 1:1 y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio reaccionan con los ortofosfatos para fijarlos en una forma que es ampliamente ineficaz para el desarrollo de las plantas, por lo tanto según BEAR (1963) cuando más ácido es el suelo, mayor es la cantidad de fósforo fijado bajo la forma de fosfatos complejos de hierro y aluminio.

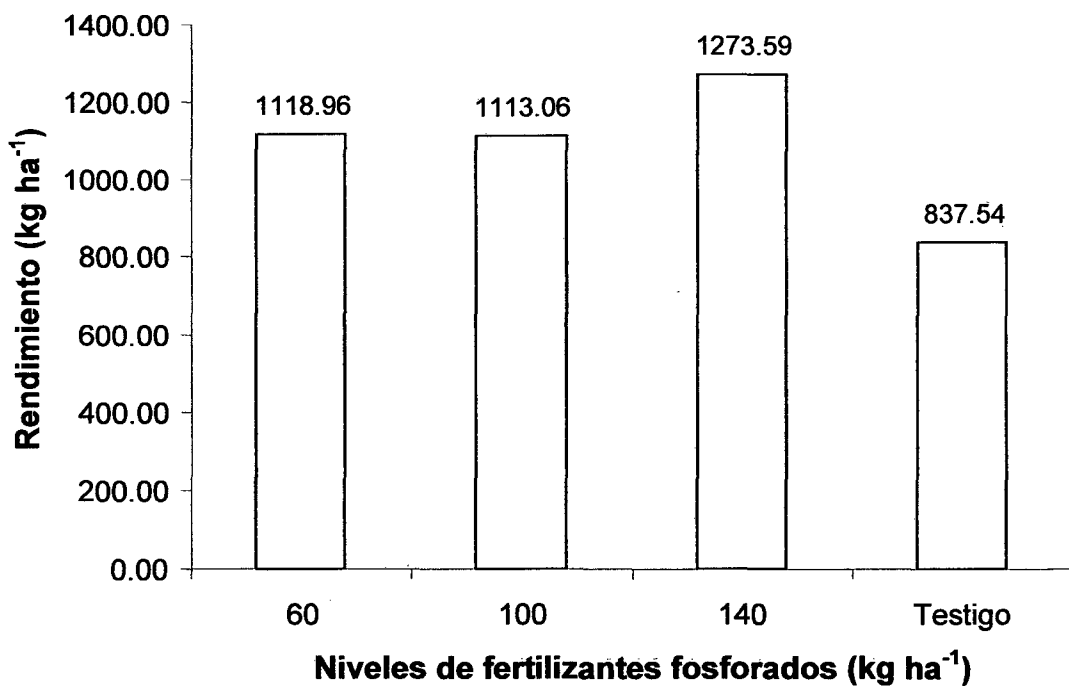
Como podemos ver a pesar de la alta acidez del suelo, sí se desarrollaron y produjeron las plantas de soya, asumiendo al efecto del buen contenido de materia orgánica en este suelo (Cuadro 2). Al respecto GUERRERO (1996), indica que en la materia orgánica el humus y el ácido fosfórico se combinan formando humofosfatos, con lo que se evita la fijación de este fósforo en el suelo y lo mantiene en forma fácilmente asimilable para la planta. Además TISDALE y NELSON (1991) manifiestan que el envolvimiento de partículas de sesquióxido por el humus forman una cubierta protectora y reducen así la capacidad del suelo de fijar fosfato.

Por otra parte SANCHEZ (1981), afirma que el humus tiene la capacidad de incrementar la capacidad de intercambio catiónico y contrarrestar los efectos del aluminio, ya que en suelos ácidos hay un mecanismo adicional de fijación por efecto del aluminio intercambiable al reaccionar con los abonos fosfatados formando compuestos que se asemejan a la forma cristalina variscita, pero son más solubles, precipitando al aluminio intercambiable con el fósforo.

A todo esto se suma el método de aplicación del fertilizante al suelo, ya que según SANCHEZ (1981) la aplicación del fósforo en bandas es una práctica simple que satisface la capacidad de fijación de fósforo de un pequeño volumen de suelo y de esa manera hace que gran parte del fertilizante aplicado sea directamente aprovechado por la planta.



**Figura 1.** Efecto principal de las fuentes de fertilizantes fosforados en el rendimiento de grano seco de soya (Tingo María, 2006).



**Figura 2.** Efecto principal de los niveles de fertilización fosforada en el rendimiento de grano seco de soya (Tingo María, 2006).

**c) Efectos de la interacción**

Del Cuadro 8 se deduce:

**1. Por efecto del factor fuentes de fertilizante fosforado (A) en los niveles del factor fertilización fosforada**

- Existen diferencias significativas al 1% de probabilidad por efecto de las fuentes de fertilizantes fosforados (A) en todos los niveles de fertilización fosforada (60, 100 y 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), para el carácter rendimiento de grano; lo que nos indica estadísticamente que al menos una de las fuentes tuvo un comportamiento diferente en todos los niveles de fertilización fosforada.

**2. Por efecto del factor niveles de fertilización fosforada (B) en las fuentes del factor fertilizante fosforado**

- Existen diferencias significativas al 1% de probabilidad por efecto de los niveles de fertilización fosforada (B) en la fuente fosfato diamónico para el rendimiento de grano; lo que vale decir que al menos un nivel de fosfato diamónico aplicado, estadísticamente fue diferente a los demás niveles.
- No existe significación estadística por efecto de los niveles de fertilización fosforada (B) en las fuentes roca fosfórica y superfosfato triple de calcio para el carácter rendimiento de grano. En este caso estadísticamente no hubo efecto de los diferentes niveles aplicados de roca fosfórica y superfosfato triple de calcio, es decir tuvieron un comportamiento similar.



**Cuadro 8.** Cuadrado medio de los efectos simples entre los factores en estudio para el rendimiento neto de grano seco de soya.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio	
<b>Efecto simple del factor fuente de fertilizante fosforado (A)</b>			
A en b <sub>1</sub> (60 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2	113576.655	AS
A en b <sub>2</sub> (100 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2	120116.054	AS
A en b <sub>3</sub> (140 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2	240307.575	AS
<b>Efecto simple del factor nivel de fertilización fosforada (B)</b>			
B en a <sub>1</sub> (Roca fosfórica)	2	2675.452	NS
B en a <sub>2</sub> (Fosfato diamónico)	2	107008.030	AS
B en a <sub>3</sub> (Superfosfato triple de calcio)	2	28867.059	NS
Error experimental	27	18199.610	

NS : No existe significación estadística.  
 AS : Significación estadística al 1% de probabilidad.

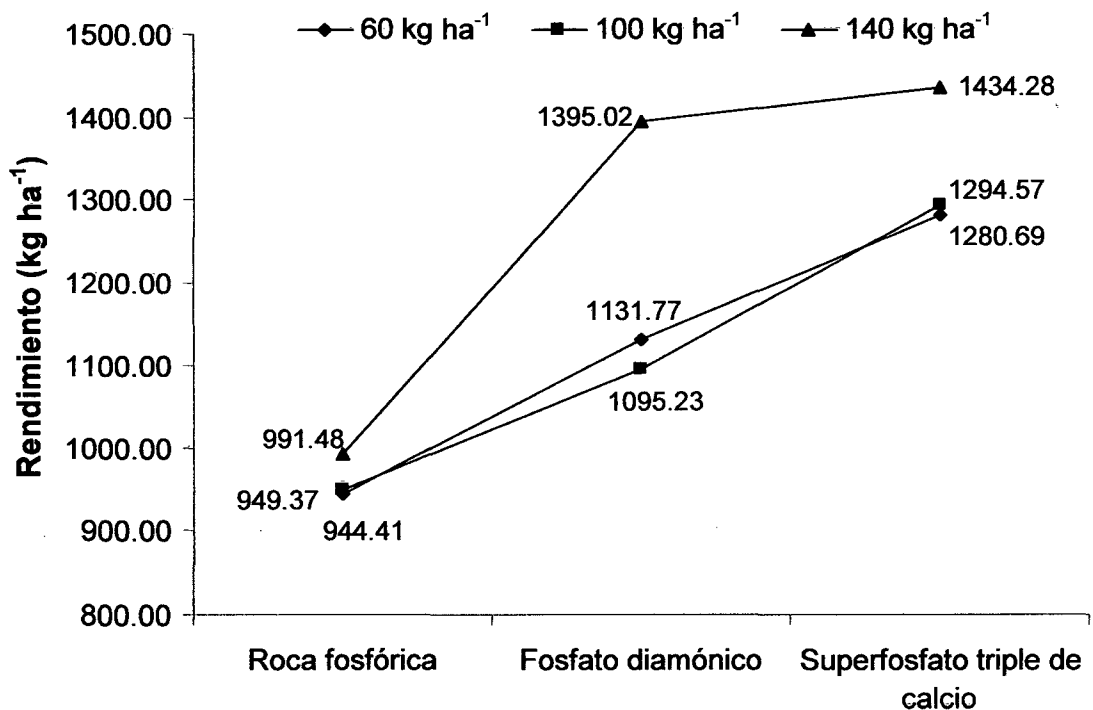
En el Cuadro 9 se puede observar en la prueba de Duncan de los efectos simples para el carácter rendimiento, que el superfosfato triple de calcio ocupó el primer lugar en los tres niveles de fertilización fosforada, no diferenciándose estadísticamente del fosfato diamónico en los tres niveles de fertilización fosforada, pero si se encontró diferencias estadísticas en comparación a la roca fosfórica en los tres niveles de fertilización fosforada, mientras que el fosfato diamónico en comparación a la roca fosfórica no se diferenció estadísticamente en los niveles 60 kg ha<sup>-1</sup> y 100 kg ha<sup>-1</sup>, pero si hubo diferencias estadísticas en el nivel 140 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 9.** Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples del carácter rendimiento de grano seco de soya.

Fuente de variabilidad	Rendimiento (kg/ha)	
<b>A en b<sub>1</sub> (60 kg ha<sup>-1</sup>)</b>		
Superfosfato triple de calcio	1280.69	a
Fosfato diamónico	1131.77	a b
Roca fosfórica	944.41	b
<b>A en b<sub>2</sub> (100 kg ha<sup>-1</sup>)</b>		
Superfosfato triple de calcio	1294.57	a
Fosfato diamónico	1095.23	a b
Roca fosfórica	949.37	b
<b>A en b<sub>3</sub> (140 kg ha<sup>-1</sup>)</b>		
Superfosfato triple de calcio	1434.28	a
Fosfato diamónico	1395.02	a
Roca fosfórica	991.48	b
<b>B en a<sub>1</sub> (Roca fosfórica)</b>		
140 kg ha <sup>-1</sup>	991.48	a
100 kg ha <sup>-1</sup>	949.37	a
60 kg ha <sup>-1</sup>	944.41	a
<b>B en a<sub>2</sub> (Fosfato diamónico)</b>		
140 kg ha <sup>-1</sup>	1395.02	a
60 kg ha <sup>-1</sup>	1131.77	b
100 kg ha <sup>-1</sup>	1095.23	b
<b>B en a<sub>3</sub> (Superfosfato triple de calcio)</b>		
140 kg ha <sup>-1</sup>	1434.28	a
100 kg ha <sup>-1</sup>	1294.57	a
60 kg ha <sup>-1</sup>	1280.69	a

Por lo tanto el superfosfato triple de calcio se comporta mejor en los tres niveles de fertilización fosforada en comparación al fosfato diamónico que sólo se obtienen respuestas favorables a dosis mayores en comparación a la roca fosfórica, tal como se muestra en la Figura 3.

Este resultado ratifica a lo discutido anteriormente por el efecto de las fuentes en el rendimiento, en este caso el superfosfato triple de calcio y el fosfato diamónico respondieron favorablemente debido al alto contenido de fósforo soluble que poseen y por lo tanto más asimilable para la planta, en comparación a la roca fosfórica que contiene fosfato poco soluble y con menor disponibilidad para la planta.

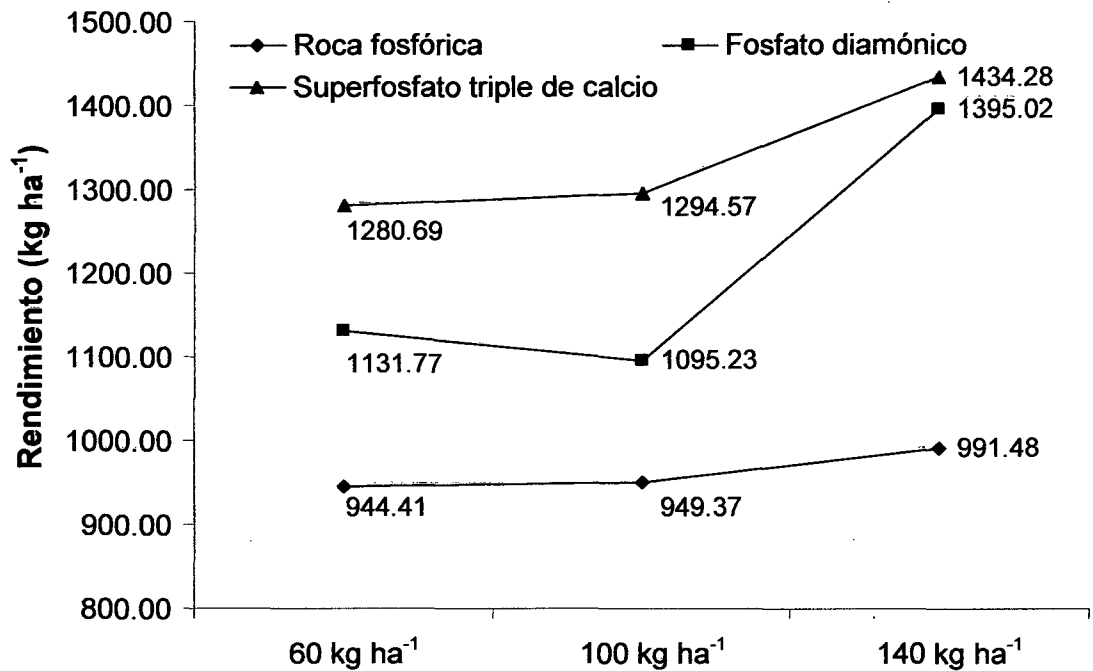


**Figura 3.** Efecto de las fuentes en cada nivel de fertilización fosforada en el rendimiento neto de grano seco de soya.

Esto coincide con TISDALE y NELSON (1991), los cuales mencionan al respecto que los productos altamente solubles, tales como el fosfato amónico y los superfosfatos, darán resultados satisfactorios bajo todas las circunstancias en que es posible la respuesta de la cosecha a un fosfato aplicado, en comparación a los fosfatos insolubles en agua o aquellos de baja hidrosolubilidad. Por otro lado la colocación en bandas aumenta generalmente la utilización por las plantas de los fosfatos solubles en agua; sin embargo, otros fertilizantes fosfáticos como la roca fosfórica, que está clasificado como insoluble al agua, su utilización parece ser mayor cuando se mezclan con el suelo más bien que cuando se aplican en bandas. Además, ZAPATA y VILLAGARCIA (1982), indican que los fosfatos naturales dan resultados más rápidos en los suelos medianamente provistos de  $P_2O_5$  que en los suelos pobres, aún los ácidos.

En lo referente a los efectos simples de los niveles de fertilización fosforada en cada una de las fuentes de fertilizante fosforado, el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar en las fuentes roca fosfórica y superfosfato triple de calcio, pero no se diferenció estadísticamente de los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ; mientras que en la fuente fosfato diamónico el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar diferenciándose estadísticamente de los niveles  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ .

En la Figura 4 se observa que a medida que se incrementan los niveles de fertilización fosforada también se incrementan los rendimientos en todas las fuentes de fertilizante fosforado, aún cuando el fosfato diamónico a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  supera numéricamente al nivel  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero no se diferenciaron estadísticamente.



**Figura 4.** Efecto de los niveles en cada fuente de fertilizante fosforado en el rendimiento neto de grano seco de soya.

En el caso de la roca fosfórica el impacto no es tan notorio, ya que las diferencias numéricas son mínimas al incrementar los niveles de fertilización, como consecuencia de la lenta solubilidad de esta fuente; por su parte el superfosfato triple de calcio tiene comportamiento similar, posiblemente debido al bajo coeficiente aparente de uso del fertilizante, lo que nos estaría indicando que no habrá respuestas significativas en el rendimiento al incrementar las dosis de aplicación; mientras tanto que en el fosfato diamónico existe respuestas significativas al incrementar la dosis de aplicación, tal como se dijo anteriormente que a altas dosis constituye una alternativa al superfosfato triple de calcio por tratarse de un fertilizante altamente soluble con presencia de nitrógeno en su composición.

#### **4.2. Número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas**

En el Cuadro 10, se presenta el análisis de variancia para las características número de vainas por planta y vainas, número de granos por planta y por vaina, y el porcentaje de impurezas en grano, observándose que:

- Existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para el efecto principal niveles de fertilización (B), y diferencias no significativas para bloques, tratamientos, factorial, efecto principal fuentes de fertilizante (A), interacción A x B y contraste Factorial vs. Testigo, para el carácter número de vainas por planta y número de vainas vainas.
- Existen diferencias significativas al 1% de probabilidad para tratamientos, efecto fuentes de fertilizante (A) y en el contraste Factorial vs. Testigo; diferencias significativas al 5% de probabilidad para factorial y efecto niveles de fertilización (B); y diferencias no significativas para el efecto de bloques e interacción A x B, para el carácter número de granos por planta.
- Existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para el efecto fuentes de fertilizante (A); y diferencias no significativas para bloques, tratamientos, factorial, efecto niveles de fertilización (B), interacción A x B y contraste Factorial vs. Testigo, en el carácter número de granos por vaina.
- Existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para el efecto niveles de fertilización (B) y contraste Factorial vs. Testigo; y diferencias no significativas para el efecto de bloques, tratamientos, factorial, efecto

**Cuadro 10.** Resumen del análisis de variancia para las características número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas de grano de soya.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios									
		Número de vainas/planta				Número de granos				Porcentaje de impurezas	
		Total		Vanas		Por planta		Por vaina			
Bloque	3	18.578	NS	12.460	NS	81.300	NS	0.006	NS	13.942	NS
Tratamiento	9	73.492	NS	12.451	NS	311.463	AS	0.030	NS	32.299	NS
Factorial	8	73.374	NS	13.824	NS	279.874	S	0.029	NS	25.574	NS
A (Fuentes de fertilizante)	2	65.935	NS	6.611	NS	675.948	AS	0.080	S	38.522	NS
B (Niveles de fertilización)	2	215.001	S	39.011	S	437.562	S	0.030	NS	46.661	S
A x B	4	6.279	NS	4.836	NS	2.994	NS	0.004	NS	8.557	NS
Factorial vs. Testigo	1	74.438	NS	1.469	NS	564.176	AS	0.037	NS	86.103	S
Error experimental	27	42.998		12.077		85.495		0.017		16.971	
Total	39										
	C.V.:	17.03%		33.49%		18.38%		7.37%		28.18%	

NS : No existe significación estadística.  
 S : Significación estadística al 5% de probabilidad.  
 AS : Significación estadística al 1% de probabilidad.

fuentes de fertilizante (A) e interacción A x B, en el carácter porcentaje de impurezas en grano.

- Los coeficientes de variabilidad nos indican rango de excelente homogeneidad (4.49%) a valores muy variables (33.49%) de los resultados experimentales.

**a) Efecto de las fuentes de fertilizante fosforado**

Del Cuadro 11 se deduce que: para el carácter número de vainas por planta el superfosfato triple de calcio ocupó el primer lugar, pero no se diferenció estadísticamente de las demás fuentes de fertilizante fosforado. Estos resultados similares se deben posiblemente a la buena nutrición nitrogenada en la planta, ya que según GUERRERO (1996), en la soya el periodo crítico de necesidad de nitrógeno es el de las dos semanas que preceden a la floración, por lo tanto si hay nitrógeno disponible habrá una buena floración y por ende mayor formación de vainas. Por su parte NAVARRO y NAVARRO (2003), indican que la floración es muy escasa cuando la deficiencia de nitrógeno es mayor.

En el caso del carácter número de vainas vanas, la roca fosfórica ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente de las demás fuentes. Las respuestas obtenidas independientemente a las fuentes de fertilizante fosforado, se atribuyen principalmente al estrés hídrico en las plantas por efecto de las bajas precipitaciones durante el periodo de formación de granos y llenado de vainas (Cuadro 2). Corroborando con FAO (1995), donde indica que el agua es el principal factor que altera la productividad de la soya y la lluvia es la principal fuente de agua para la mayor parte de la



producción, tiene dos periodos críticos como son desde la siembra a la emergencia y durante el llenado de las vainas. Al respecto PANDEY (1989), indica que el mayor requerimiento de agua en la soya es a la germinación, floración, formación de vainas y llenado de semillas. Cabe recalcar que este estrés hídrico afectó a todos los tratamientos en estudio, dando como resultado una disminución considerable del 20 al 30% en el rendimiento de grano, en comparación a CASTAÑEDA (2006) que obtuvo sólo pérdidas del 7 al 10% por efecto de este carácter con la misma variedad y sin fertilización, en un sistema de agricultura de sol y malezas.

En cuanto al carácter número de granos por planta y número de granos por vaina, el superfosfato triple de calcio ocupó el primer lugar diferenciándose estadísticamente del fosfato diamónico y la roca fosfórica. Esto es producto de la alta solubilidad y por lo tanto mayor cantidad de fósforo disponible y asimilable para la planta, como ya se discutió anteriormente. Esto coincide con BUCKMAN y BRADY (1985), donde manifiestan que el fósforo contribuye favorablemente sobre la floración y fructificación, así como la formación de semillas. Además, MENGEL y KIRKBY (2000) indican que la formación de frutos y semillas disminuye particularmente en plantas que padecen deficiencia de fósforo, ya que durante la formación de granos y semillas una considerable cantidad de fósforo se trasloca desde las hojas y tallos hacia las semillas o granos.

Para el carácter porcentaje de impurezas la roca fosfórica ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente del fosfato diamónico, pero si se encontró diferencias estadísticas en comparación al superfosfato triple de calcio, aun cuando en el análisis de variancia resultó no significativo para las fuentes de fertilizante fosforado. Estos resultados se deben

posiblemente a la menor absorción de fósforo por la planta, a consecuencia de la aplicación de fuentes poco solubles como la roca fosfórica, corroborando con MENGEL y KIRKBY (2000), donde afirman que la deficiencia de fósforo lleva a obtener no solo bajos rendimientos, sino también frutos y semillas de baja calidad. También es importante mencionar que las altas precipitaciones durante la época de maduración y cosecha (Cuadro 2), causó un efecto negativo en el rendimiento de grano para todos los tratamientos en estudio, ya que se obtuvieron pérdidas del 10 al 15% aproximadamente. En este caso la alta humedad favoreció el desarrollo de enfermedades en los granos, especialmente producidos por hongos, los cuales fueron considerados como impurezas durante la selección de granos.

#### **b) Efecto de los niveles de fertilización fosforada**

En el carácter número de vainas por planta y número de granos por planta, el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, diferenciándose estadísticamente de los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estos resultados confirman que en suelos pobres a mayores dosis de aplicación, mejor será el aprovechamiento del fósforo por la planta, ya que estos caracteres están relacionados directamente con el rendimiento, coincidiendo con SCOTT (1975), donde indica que siendo la mayor demanda de fósforo poco antes del inicio de la formación de vainas, continuando hasta los diez días antes de que las semillas hayan desarrollado por completo, esto es porque gran parte del fósforo absorbido es traslocado desde las hojas, tallos y peciolo hacia las semillas.

En el carácter número de vainas vanas, el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente con el nivel  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero si se encontró diferencias estadísticas en comparación al nivel  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Al respecto podemos mencionar que, como se obtuvo mayor número de vainas por planta con la mayor dosis, también habrá mayor número de vainas vanas, ya que como se indicó anteriormente que independientemente de las fuentes y niveles de fertilización fosforada, el estrés hídrico fue el principal factor involucrado en este carácter para todos los tratamientos.

Mientras que en el carácter número de granos por vaina el primer lugar lo obtuvo el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero no se diferenció estadísticamente de los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Al respecto, Morse, *et al* (1949), citado por CERVANTES (1973), indica que en suelos bajos en fósforo aprovechable, la aplicación de fertilizantes fosfatados aumentará el rendimiento, tanto en el contenido de proteína y fósforo de la semilla, complementando con NAVARRO y NAVARRO (2003), los cuales afirman que está comprobado que el fósforo es necesario especialmente para la formación de semillas.

En lo referente al carácter porcentaje de impurezas, el nivel  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente del nivel  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero si existe diferencias estadísticas con el nivel  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ . Como era de esperar el menor porcentaje de impurezas se logró con la mayor dosis, debido a que hubo menor número de granos afectados por las enfermedades producto de las altas precipitaciones, ya que según BUCKMAN y BRADY (1985), el fósforo contribuye favorablemente a la resistencia a ciertas enfermedades.

### **c) Efectos de la interacción**

En el Cuadro 11 se observa que no existe significación estadística para los caracteres número de vainas (total y vanas) y número de granos (por planta y por vaina) por efecto de la interacción entre las fuentes y niveles de

**Cuadro 11.** Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter número de vainas, número de granos y porcentaje de impurezas de grano de soya.

Número de vainas/planta				Número de granos				Porcentaje de impurezas	
Total		Vanas		Por planta		Por vaina			
Clave	Promedio	Clave	Promedio	Clave	Promedio	Clave	Promedio	Clave	Promedio
<b>Efecto de las fuentes</b>									
a <sub>3</sub>	41.50 a	a <sub>1</sub>	11.16 a	a <sub>3</sub>	59.825 a	a <sub>3</sub>	1.883 a	a <sub>1</sub>	16.103 a
a <sub>2</sub>	38.45 a	a <sub>2</sub>	10.00 a	a <sub>2</sub>	49.582 b	a <sub>2</sub>	1.742 b	a <sub>2</sub>	13.679 a b
a <sub>1</sub>	36.89 a	a <sub>3</sub>	9.78 a	a <sub>1</sub>	45.201 b	a <sub>1</sub>	1.742 b	a <sub>3</sub>	12.606 b
<b>Efecto de los niveles</b>									
b <sub>3</sub>	43.68 a	b <sub>3</sub>	12.20 a	b <sub>3</sub>	58.453 a	b <sub>3</sub>	1.846 a	b <sub>2</sub>	16.248 a
b <sub>2</sub>	37.62 b	b <sub>2</sub>	10.13 a b	b <sub>2</sub>	48.838 b	b <sub>2</sub>	1.771 a	b <sub>1</sub>	13.794 a b
b <sub>1</sub>	35.53 b	b <sub>1</sub>	8.61 b	b <sub>1</sub>	47.318 b	b <sub>1</sub>	1.750 a	b <sub>3</sub>	12.347 b

a<sub>1</sub> = Roca fosfórica  
a<sub>2</sub> = Fosfato diamónico  
a<sub>3</sub> = Superfosfato triple de calcio

b<sub>1</sub> = 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>2</sub> = 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>3</sub> = 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

fertilización fosforada, aún cuando la interacción en el rendimiento es significativo; si bien es cierto que estos caracteres son parámetros de rendimiento, estos resultados se deben a que cada uno de estos caracteres cuantitativos actúan independientemente como respuesta a los factores ambientales.

#### **4.3. Altura de planta**

En el cuadro 12, del resumen del análisis de variancia para el carácter altura de planta a los 15, 30, 45 y 60 días, se observa que:

- No existe diferencias estadísticas significativas para bloques, tratamientos, factorial, efecto principal fuentes de fertilizante (A), efecto nivel de fertilización (B), interacción A x B y contraste Factorial vs. Testigo, en el carácter altura a los 15, 30, 45 y 60 días; con excepción del factor principal fuente de fertilizante (A) a los 30 y 45 días que presentó diferencias significativas al 5% de probabilidad.
- Los coeficientes de variabilidad nos indican rango de excelente homogeneidad (7.22%) a muy buena homogeneidad (10.32%) de los resultados experimentales.

##### **a) Efecto de las fuentes de fertilizante fosforado**

En el Cuadro 13 se observa que en el carácter altura de planta a los 15 y 60 días, la fuente superfosfato triple de calcio ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente de las fuentes fosfato diamónico y roca fosfórica. Esto se debe a lo mencionado por Agricultura de las Américas (1969); citado por CERVANTES (1973), donde indica que la soya a principios del ciclo de desarrollo asimila relativamente poca cantidad de nutrientes, porque las

plantas están pequeñas por lo tanto absorben pocas cantidades de fósforo; si bien es cierto que el fósforo tiene gran influencia en la primera fase de crecimiento de las plantas, según GUERRERO (1996) la plántula se nutre del fósforo acumulado en la semilla, pero cuando se agota esta reserva recién ha de tomarlo del suelo. A los 60 días no existe diferencias estadísticas entre las fuentes, posiblemente debido a que el crecimiento longitudinal es menor, ya que según SCOTT (1975) el fósforo absorbido es traslocado desde las hojas, tallos y peciolo hacia las semillas, es por ello que en esta etapa tiene mayor influencia en la formación de las semillas que en el crecimiento vegetativo.

A los 30 y 45 días, la fuente superfosfato triple de calcio también ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente del fosfato diamónico, pero si hubo diferencias estadísticas en comparación a la roca fosfórica. Aquí se puede notar que las fuentes de mayor solubilidad dan mejores resultados en el crecimiento, por el efecto de mayor asimilación de fósforo frente a la roca fosfórica que es poco soluble, coincidiendo con GUERRERO (1996) donde señala que el fósforo es un factor de crecimiento de los vegetales como ocurre con el nitrógeno y que la carencia de fósforo influye en una disminución de la absorción del nitrógeno.

#### **b) Efecto de los niveles de fertilización fosforada**

En el carácter altura de planta a los 15, 30, 45 y 60 días, el nivel  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente de los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ . Se asume que estos resultados similares se deben a una buena nutrición nitrogenada, ya que según NAVARRO y NAVARRO (2003) el nitrógeno es el elemento determinante en el crecimiento vegetativo y no es de extrañar que su deficiencia afecte grandemente el

**Cuadro 12.** Resumen del análisis de variancia para la característica altura de planta de soya.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios							
		Altura de planta							
		A los 15 días		A los 30 días		A los 45 días		A los 60 días	
Bloque	3	0.553	NS	5.157	NS	23.323	NS	26.511	NS
Tratamiento	9	0.894	NS	6.717	NS	17.082	NS	29.130	NS
Factorial	8	0.996	NS	6.991	NS	17.233	NS	25.400	NS
A (Fuentes de fertilizante)	2	1.975	NS	20.587	S	54.707	S	77.774	NS
B (Niveles de fertilización)	2	1.019	NS	2.113	NS	5.717	NS	7.965	NS
A x B	4	0.495	NS	2.632	NS	4.255	NS	7.930	NS
Factorial vs testigo	1	0.082	NS	4.527	NS	15.876	NS	58.968	NS
Error experimental	27	1.176		6.112		14.499		24.509	
Total	39								
	C.V.:	7.22%		10.32%		9.44%			

NS : No existe significación estadística.  
S : Significación estadística al 5% de probabilidad.

**Cuadro 13.** Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter altura de planta de soya.

Altura de planta (cm)											
A los 15 días			A los 30 días			A los 45 días		A los 60 días			
Clave	Promedio		Clave	Promedio		Clave	Promedio	Clave	Promedio		
<b>Efecto de las fuentes</b>											
a <sub>3</sub>	15.4917	a	a <sub>3</sub>	25.35	a	a <sub>3</sub>	42.46	a	a <sub>3</sub>	50.50	a
a <sub>2</sub>	14.8417	a	a <sub>2</sub>	24.09	a b	a <sub>2</sub>	40.88	a b	a <sub>2</sub>	50.38	a
a <sub>1</sub>	14.7458	a	a <sub>1</sub>	22.74	b	a <sub>1</sub>	38.23	b	a <sub>1</sub>	46.03	a
<b>Efecto de los niveles</b>											
b <sub>1</sub>	15.3583	a	b <sub>1</sub>	24.54	a	b <sub>1</sub>	41.28	a	b <sub>1</sub>	49.75	a
b <sub>2</sub>	14.9083	a	b <sub>2</sub>	23.85	a	b <sub>2</sub>	40.36	a	b <sub>3</sub>	49.04	a
b <sub>3</sub>	14.8125	a	b <sub>3</sub>	23.78	a	b <sub>3</sub>	39.93	a	b <sub>2</sub>	48.13	a

a<sub>1</sub> = Roca fosfórica  
a<sub>2</sub> = Fosfato diamónico  
a<sub>3</sub> = Superfosfato triple de calcio

b<sub>1</sub> = 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>2</sub> = 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>3</sub> = 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



crecimiento de la planta; si bien es cierto que el fósforo también es un factor de crecimiento, no es tan determinante en la altura de la planta como el nitrógeno, ya que su influencia es mayor en la fructificación y formación de semillas.

#### **4.4. Peso fresco y peso seco**

En el cuadro 14, se presenta el análisis de variancia para las características peso fresco y peso seco de la parte aérea y radicular, observándose que:

- Existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para el efecto del factor principal fuente de fertilizantes (A) en las características peso fresco aéreo, peso fresco radicular y peso seco radicular; y diferencias no significativas en el carácter peso seco aéreo.
- No existen diferencias significativas para bloques, tratamientos, factorial, efecto del nivel de fertilización (B), interacción A x B y contraste Factorial vs. Testigo en las características peso fresco aéreo, peso seco aéreo, peso fresco radicular y peso seco radicular; a excepción de los tratamientos en el carácter peso fresco radicular que resultó significativo al 5% de probabilidad.
- Los coeficientes de variabilidad nos indican un rango de regular homogeneidad (23.97%) a valores variables (28.82%) de los resultados experimentales.

**Cuadro 14.** Resumen del análisis de variancia para las características peso fresco y seco de la parte aérea y peso fresco y seco radicular de la planta de soya.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios							
		Peso parte aérea/planta				Peso radicular/planta			
		Fresco		Seco		Fresco		Seco	
Bloque	3	31.533	NS	3.175	NS	0.625	NS	0.066	NS
Tratamiento	9	68.947	NS	2.724	NS	0.851	S	0.071	NS
Factorial	8	66.529	NS	2.722	NS	0.795	NS	0.072	NS
A (Fuentes de fertilizante)	2	162.941	S	6.720	NS	1.990	S	0.197	S
B (Niveles de fertilización)	2	15.895	NS	1.549	NS	0.432	NS	0.039	NS
A x B	4	43.640	NS	1.308	NS	0.379	NS	0.026	NS
Factorial vs testigo	1	88.288	NS	2.740	NS	1.296	NS	0.061	NS
Error experimental	27	36.200		2.345		0.392		0.046	
<b>Total</b>	<b>39</b>								
	<b>C.V.:</b>	<b>27.25%</b>		<b>28.82%</b>		<b>23.97%</b>		<b>25.10%</b>	

NS : No existe significación estadística.  
 S : Significación estadística al 5% de probabilidad.

**a) Efecto de las fuentes de fertilizante fosforado**

Del cuadro 15 se deduce que: para el carácter peso aéreo fresco y peso aéreo seco, la fuente superfosfato triple de calcio ocupó el primer lugar, no diferenciándose estadísticamente del fosfato diamónico, pero si se observó diferencias estadísticas en comparación a la roca fosfórica.

Para el carácter peso radicular fresco y peso radicular seco, la fuente fosfato diamónico ocupó el primer lugar no diferenciándose estadísticamente del superfosfato triple de calcio, pero ambos si se diferenciaron estadísticamente de la fuente roca fosfórica.

En el peso fresco y seco de la parte aérea y radicular el superfosfato triple de calcio y el fosfato diamónico se comportan mejor que la roca fosfórica, debido a la alta solubilidad de estas dos fuentes que van a disponer de mayor cantidad de fósforo asimilable para las plantas como se discutió anteriormente, por lo tanto contendrán mayor cantidad de materia seca en los tejidos vegetales. Al respecto MENGEL y KIRKBY (2000), mencionan que en plantas que padecen de deficiencia de fósforo, la relación de peso seco entre la parte aérea y la raíz es generalmente baja.

**b) Efecto de los niveles de fertilización fosforada**

Para el carácter peso aéreo fresco y peso aéreo seco, el primer lugar lo obtuvo el nivel  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero no se encontró diferencias estadísticas en comparación con los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Cuadro 15.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los factores principales en estudio en el carácter peso fresco y seco de la parte aérea y peso fresco y seco radicular de la planta de soya.

Peso parte aérea/planta (g)				Peso radicular/planta (g)			
Fresco		Seco		Fresco		Seco	
Clave	Promedio	Clave	Promedio	Clave	Promedio	Clave	Promedio
<b>Efecto de las fuentes</b>							
a <sub>3</sub>	25.406 a	a <sub>3</sub>	5.916 a	a <sub>2</sub>	2.936 a	a <sub>2</sub>	0.953 a
a <sub>2</sub>	23.910 a	a <sub>2</sub>	5.743 a b	a <sub>3</sub>	2.878 a	a <sub>3</sub>	0.937 a
a <sub>1</sub>	18.408 b	a <sub>1</sub>	4.542 b	a <sub>1</sub>	2.203 b	a <sub>1</sub>	0.723 b
<b>Efecto de los niveles</b>							
b <sub>1</sub>	23.892 a	b <sub>1</sub>	5.766 a	b <sub>1</sub>	2.892 a	b <sub>1</sub>	0.934 a
b <sub>2</sub>	22.071 a	b <sub>2</sub>	5.387 a	b <sub>3</sub>	2.564 a	b <sub>2</sub>	0.858 a
b <sub>3</sub>	21.762 a	b <sub>3</sub>	5.048 a	b <sub>2</sub>	2.562 a	b <sub>3</sub>	0.822 a

a<sub>1</sub> = Roca fosfórica  
a<sub>2</sub> = Fosfato diamónico  
a<sub>3</sub> = Superfosfato triple de calcio

b<sub>1</sub> = 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>2</sub> = 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
b<sub>3</sub> = 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

En el caso del carácter peso radicular fresco y peso radicular seco, el nivel  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  ocupó el primer lugar, pero no se diferenció estadísticamente de los niveles  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ .

El efecto no significativo por incremento de los niveles de fósforo mediante la fertilización inorgánica para estos caracteres, según TUESTA (2003), se debe a que posiblemente este elemento no participa directamente en la formación y acumulación de sustancias de reserva, tal como lo hace el nitrógeno durante el incremento del crecimiento y succulencia de los tejidos vegetales.

#### **4.5. Características físico-químicas del suelo al final del experimento**

Los resultados del análisis físico-químico del suelo al final del experimento se muestran en el Cuadro 16 donde se observa que: no hubo variación en la textura por efecto de los tratamientos en estudio, ya que con la aplicación de fertilizantes fosforados, sea cualquiera su origen no se logra modificar la textura del suelo. El pH del suelo no sufrió variaciones significativas por efecto de los tratamientos en comparación al testigo. Con relación al contenido de materia orgánica y nitrógeno en el suelo, se mantuvo en la mayoría de los tratamientos con relación al testigo.; caso contrario sucedió con los tratamientos con roca fosfórica a altas dosis, donde se incrementó este contenido, respuesta que se atribuye al contenido de materia orgánica en la composición de la roca fosfórica (3 – 4%). El fósforo se incrementa a un nivel medio en todos los tratamientos por la aplicación de los fertilizantes fosforados que aumenta el contenido de fósforo en el suelo; además el coeficiente aparente de uso de este elemento es bajo, por lo que no hay una absorción excesiva del fósforo aplicado; lo que no sucedió con el testigo que se mantuvo

en nivel bajo de contenido de fósforo en el suelo. En el caso del potasio permanece casi constante en un nivel bajo para todos los tratamientos; las modificaciones y las variaciones de los resultados obtenidos en los tratamientos con respecto al contenido de potasio en el suelo, obedece posiblemente a la absorción por las plantas y a la relativa heterogeneidad de los suelos que pueden diferir en un espacio determinado, inclusive entre centímetros de distancia. El calcio, magnesio, aluminio e hidrógeno se mantuvieron casi constantes para todos los tratamientos en comparación al testigo, es decir no hubo efecto de los fertilizantes aplicados, al igual que la capacidad de intercambio catiónico; por lo tanto el porcentaje de bases cambiables y acidez cambiabile no tuvieron modificaciones significativas en comparación al testigo.

**Cuadro 16.** Análisis físico – químico final del suelo experimental por cada tratamiento.

Clave	Tratamiento	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	pH (%)	M.O. (%)	N (%)	P ppm	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Ca (Cambiables meq/100 g)	Mg (Cambiables meq/100 g)	Al (Cambiables meq/100 g)	H (Cambiables meq/100 g)	CIC <sub>o</sub> (Cambiables meq/100 g)	Bases Cambiables (%)	Acidez Cambiable (%)
T <sub>0</sub>	Inicial	60.0	23.0	17.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.1	3.7	0.17	4.2	201.0	2.2	1.0	3.0	2.0	8.20	39.02	60.98
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	62.0	26.0	12.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.4	3.3	0.15	8.3	217.0	1.6	0.4	4.0	1.2	7.20	27.78	72.22
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	60.0	26.0	14.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.3	3.9	0.18	9.0	174.0	1.5	0.5	3.1	1.0	6.10	32.79	67.21
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	60.0	24.0	16.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.4	4.1	0.18	9.3	234.0	1.5	0.3	3.2	1.2	6.20	29.03	70.97
T <sub>4</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	56.0	26.0	18.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.4	3.6	0.16	10.6	272.0	1.5	0.4	3.3	1.0	6.20	30.65	69.35
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	62.0	24.0	14.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.4	3.5	0.16	9.7	240.0	1.5	0.4	3.2	1.1	6.20	30.65	69.35
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	62.0	24.0	14.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.6	3.0	0.14	9.7	143.0	1.7	0.3	3.3	1.0	6.30	31.75	68.25
T <sub>7</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	64.0	22.0	14.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.3	3.2	0.14	8.6	212.0	1.6	0.4	3.2	1.2	6.40	31.25	68.75
T <sub>8</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	62.0	24.0	14.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.3	3.2	0.14	8.2	183.0	1.5	0.4	3.3	1.0	6.20	30.65	69.35
T <sub>9</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	64.0	24.0	12.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.4	3.2	0.14	9.4	287.0	1.6	0.4	3.3	1.2	6.50	30.77	69.23
T <sub>10</sub>	Testigo	66.0	22.0	12.0	Fr.A <sub>o</sub>	4.3	3.2	0.14	4.6	137.0	1.5	0.3	3.2	1.0	6.00	30.00	70.00

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María

a<sub>1</sub> = Roca fosfórica

a<sub>2</sub> = Fosfato diamónico

a<sub>3</sub> = Superfosfato triple de calcio

b<sub>1</sub> = 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

b<sub>2</sub> = 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

b<sub>3</sub> = 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### 4.6. Relación Beneficio/Costo (B/C)

El análisis de rentabilidad (Cuadro 17), corresponde a los costos de producción estimados a partir de las proyecciones de gastos y rendimientos obtenidos en cada una de las parcelas experimentales para los tratamientos en estudio; para lo cual el costo de producción está constituido por los gastos por mano de obra, insumos y transporte. Los gastos de mano de obra no difieren entre los tratamientos, ya que las labores realizadas en las parcelas experimentales con similares para todos. En forma similar, se incluyen los costos por concepto de insumos y transporte, pudiendo observarse que a medida que se incrementan las dosis de fertilización con las diferentes fuentes, existe un incremento de los insumos, que a su vez constituye el rubro que incrementa los costos de producción de 1.0 hectárea de soya.

En este caso el mayor valor de relación B/C lo obtuvieron los tratamientos T<sub>7</sub> (superfosfato triple de calcio 60 kg ha<sup>-1</sup>), T<sub>6</sub> (fosfato diamónico 140 kg ha<sup>-1</sup>) y T<sub>4</sub> (fosfato diamónico 60 kg ha<sup>-1</sup>) con 1.22, 1.18 y 1.16 respectivamente, cuyos valores se vieron incrementados por el costo de los fertilizantes fosforados y la diferencia significativa en el rendimiento entre los tratamientos en estudio. Con respecto al efecto de las fuentes podemos decir que la roca fosfórica a mayores dosis genera valores negativos en el índice de rentabilidad, por lo que no se justifica su aplicación para cultivos de corto periodo vegetativo en este tipo de suelos. El fosfato diamónico genera una buena alternativa debido al menor costo de este fertilizante en comparación al superfosfato triple de calcio que a medida que se incrementan las dosis de aplicación, la relación B/C tiende a bajar a pesar de obtener mayores rendimientos, es tos debido al alto costo del fertilizante por unidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.



**Cuadro 17.** Análisis de rentabilidad de los tratamientos en estudio.

Clave	Tratamientos	Costo de producción (S/.)				Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Ingreso Bruto (S/.) (2)	Relación B/C (2/1)
		Mano de obra	Insumos	Transporte	Total (1)			
T <sub>1</sub>	Superfosfato triple de calcio 140 kg/ha	930.00	682.00	47.22	1659.22	944.41	1699.94	1.02
T <sub>2</sub>	Fosfato diamónico 140 kg/ha	930.00	775.80	47.46	1753.26	949.36	1708.85	0.97
T <sub>3</sub>	Superfosfato triple de calcio 100 kg/ha	930.00	868.90	49.57	1848.47	991.47	1784.65	0.96
T <sub>4</sub>	Superfosfato triple de calcio 60 kg/ha	930.00	763.10	56.58	1749.68	1131.76	2037.17	1.16
T <sub>5</sub>	Fosfato diamónico 60 kg/ha	930.00	945.80	54.76	1930.56	1095.23	1971.41	1.02
T <sub>6</sub>	Fosfato diamónico 100 kg/ha	930.00	1128.50	69.75	2128.25	1395.02	2511.04	1.18
T <sub>7</sub>	Roca fosfórica 140 kg/ha	930.00	908.80	64.03	1902.83	1280.69	2321.44	1.22
T <sub>8</sub>	Roca fosfórica 100 kg/ha	930.00	1152.40	64.72	2147.12	1294.56	2330.21	1.09
T <sub>9</sub>	Roca fosfórica 60 kg/ha	930.00	1396.00	71.71	2397.71	1434.27	2581.69	1.08
T <sub>10</sub>	Testigo	930.00	542.00	41.87	1513.87	837.53	1507.55	1.00

Costo de 1 kg de soya en grano: S/. 1.80

## V. CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron respuestas significativas en el rendimiento de soya por efecto de la aplicación de fertilizantes fosforados.
2. La mejor fuente de fertilizante fosforado para el efecto del rendimiento de grano de soya fueron con los tratamientos de superfosfato triple de calcio en sus tres niveles de fertilización (140 kg ha<sup>-1</sup>, 100 kg ha<sup>-1</sup> y 60 kg ha<sup>-1</sup>) y el fosfato diamónico 140 kg ha<sup>-1</sup>, con rendimientos de 1434.28 kg ha<sup>-1</sup>, 1294.57 kg ha<sup>-1</sup>, 1280.69 kg ha<sup>-1</sup> y 1395.02, respectivamente, los cuales no se diferenciaron estadísticamente, mientras que con la roca fosfórica no se encontró diferencias significativas en comparación al testigo.
3. Los mayores índices de Beneficio/Costo (B/C), lo obtuvieron los tratamientos superfosfato triple a 60 kg ha<sup>-1</sup> y fosfato diamónico a 140 kg ha<sup>-1</sup> y 60 kg ha<sup>-1</sup>, con valores de 1.22, 1.18 y 1.16, respectivamente.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la fertilización fosforada en el cultivo de soya con superfosfato triple de calcio con nivel de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  y con fosfato diamónico con los niveles de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  para los suelos Dystropepts de ladera, porque se logra buen rendimiento en grano y los mayores índices de rentabilidad.
2. Realizar experimentos similares con rotación de cultivos, para observar el efecto residual de las fuentes de fertilizante fosforado.
3. A fin de disminuir los costos de producción en la aplicación de fertilizantes nitrogenados, se recomienda realizar la inoculación de las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el sector de Bajo Afilador en el km. 2 de la carretera Tingo María – Huánuco (Las Lomas), en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, entre los meses de junio a octubre del 2006, teniendo como objetivos determinar el efecto de tres fuentes y tres niveles de fósforo en el rendimiento de soya en un suelo dystropepts de ladera y efectuar el análisis de rentabilidad de los tratamientos en estudio (relación beneficio/costo).

Los componentes en estudio estuvieron representados por el factor fuentes de fertilizante fosforado (roca fosfórica, fosfato diamónico y superfosfato triple de calcio), y el factor niveles de fertilización fosforada (60, 100 y 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La interacción de las fuentes y los niveles de fertilización fosforada originan los tratamientos; con fines de comparación se utilizó un tratamiento testigo adicional sin aplicación de fertilizante fosforado. El diseño experimental empleado fue el de Bloque Completamente al Azar con arreglo factorial 3 x 3 + 1 testigo; utilizándose la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la comparación de medias. Cabe indicar que todos los tratamientos fueron fertilizados con 90 kg ha<sup>-1</sup> de N y 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, incluyendo al testigo adicional.

Los resultados obtenidos indican un efecto significativo de las fuentes y niveles de fertilización fosforada e interacción de estos en el rendimiento de grano de soya, debido principalmente al bajo contenido de fósforo en el suelo y a la solubilidad de las fuentes de los fertilizantes fosforados empleados en el presente experimento. Así mismo se observó que todos los tratamientos en

estudio, es decir las combinaciones de las fuentes y los niveles superaron al tratamiento adicional (testigo sin fósforo aplicado).

De acuerdo a estos resultados, la mejor fuente de fertilizante fosforado para el efecto del rendimiento de grano de soya fueron con los tratamientos de superfosfato triple de calcio en sus tres niveles de fertilización ( $140 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y el fosfato diamónico  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ , con rendimientos de  $1434.28 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1294.57 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1280.69 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $1395.02$ , respectivamente, los cuales no se diferenciaron estadísticamente. Entre tanto los mayores índices de Beneficio/Costo (B/C), lo obtuvieron los tratamientos superfosfato triple a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  y fosfato diamónico a  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ , con valores de 1.22, 1.18 y 1.16, respectivamente.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. AREVALO, A. D. O. 1986. Evaluación de fuentes y niveles de fertilización fosforada en el rendimiento de tres variedades de caupí (*Vigna sinensis L. Endl*), en condiciones de suelos ácidos. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 74 p.
2. BEAR, E. F. 1963. Química de suelos. Tercera edición. Editorial Interciencia. Madrid, España. 435 p.
3. BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 26 p.
4. BORIE, F. 1991. Microbiología del fósforo. Jornadas de Fertilidad de Suelos en Cero Labranza. Sociedad de Conservación de Suelos de Chile e INIA. Concepción, Chile. Pp. 32 – 36.
5. BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. Salord Barcelo. Editorial Hispanoamericana S.A. (UTEHA). México, D. F. 590 p.
6. CASTAÑEDA, P. J. G. 2006. Efecto de tres métodos de labranza manual y dos densidades de siembra en el cultivo de soya (*Glycine max L.*) C.V. IAC – 8 con el sistema de agricultura de sol y malezas en un suelo aluvial en Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 98 p.

7. CERVANTES, H. E. R. 1973. Fertilización N-P-K (3 x 3 x 3) en variedades de soya "Improved pelikan". Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 77 p.
8. CIPA XI - Huánuco, EEA - Tulumayo, PEAH, UNAS. 1983. Resumen de la Primera Reunión de Coordinación, Investigación, Extensión y Capacitación, 27-29 de Abril de 1983. Tulumayo, Tingo María, Perú. 188 p.
9. DAVELOUIS, M. J. 1991. Fertilidad del suelo. Segunda edición. Lima, Perú. 130 p.
10. DEMOLON, A. 1965. Principios de agronomía; dinámica del suelo. Editorial Omega. Barcelona, España. 527 p.
11. FAO. 1995. El cultivo de soya en los trópicos, mejoramiento y producción. EMBRAPA-CNPSO, Brasil. Roma. 254 p.
12. FASSBENDER H. W. y BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
13. GARCIA, A. H. 1998. Evaluación y determinación del coeficiente aparente de uso de fuentes fosfóricas en dos suelos y dos cultivos secuenciales en invernadero. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 109 p.
14. GUERRERO, A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 205 p.

15. GUTIERREZ, F. H. y SCHEINER, J. D. 1999. Sequía y absorción de fósforo en soja. Boletín Informativo de Nidera S.A. Nº 12. Año 5. Madrid, España. 15 p.
16. HALL, D. A. 1961. Estudio Científico del suelo; una introducción al estudio del crecimiento de las cosechas. Trad. José García Vicente. Editorial Aguilar. Madrid, España. 305 p.
17. KAHN, T. G. I. 1996. Efecto de dos fuentes de purín en el cultivo de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) en suelo coluvio-aluvial de Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 117 p.
18. MAMANI, S. F. M. 1997. Niveles de roca fosfórica y humus en una secuencia de cultivos en un dystropept de Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 104 p.
19. MEDINA, R. A. 1992. Efecto de 3 fuentes, 3 niveles de fósforo y 2 especies de micorrizas VA en la nutrición y el crecimiento del caupí (*Vigna unguiculata* L. Wolf) en suelo ácido. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 126 p.
20. MENGEL, K. y KIRKBY, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. Trad. Ricardo Melgar y Mercedes Ruiz. International Potash Institute. Basel, Suiza. 605 p.
21. MONTALVO, C. N. 1988. Evaluación del efecto residual de la dolomita y la fertilización fosforada en dos variedades de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) en suelos ácidos. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 92 p.



22. NAVARRO, S. y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola; el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 487 p.
23. NEGREIROS, A. A. E. 1998. Efecto de tres (3) fuentes y tres (3) dosis de fósforo en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.), en un suelo de Huaral bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 96 p.
24. PANDEY, R. K. 1989. Guía del agricultor para el cultivo de la soya en arrozales. Editorial Limusa. México D. F. 216 p.
25. ROLDAN, C. Z. E. 1972. Fertilización P K (3 x 3) en las variedades de soya acadian e improved pelikan. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 67 p.
26. RUSSELL, E. J. y RUSSELL, E. W. 1979. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Editorial Aguilar. Barcelona, España. 771 p.
27. SANCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. Trad. Edilberto Camacho. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 634 p.
28. SAUMELL, H. 1977. Soja: Información técnica para su mejor conocimiento y cultivo. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 144 p.
29. SCOTT, W. O. 1975. Producción moderna de la soya. Editorial Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, Argentina. 192 p.

30. SEDANO, V. E. N. 1971. Estudio comparativo de 27 variedades de soya en Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 92 p.
31. TEUSCHER, H. y ADLER, R. 1981. El suelo y su fertilidad. Trad. Rodolfo Vera. Editorial Continental S.A. México, D. F. 510 p.
32. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. Dr. Jorge Balasch. Editorial Hispanoamericana S.A. (UTEHA). México. 760 p.
33. TUESTA, H. J. C. 2003. Fertilización fosfopotásica en el frijol variedad chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.), en Tingo María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 81 p.
34. WORTHEN, E. y ALDRICH, S. 1980. Suelos Agrícolas, su conservación y fertilización. Segunda edición. Trad. José Luis de la Loma. Editorial Hispanoamericana S. A. (UTEHA). México. 416 p.
35. ZAPATA, F. y VILLAGARCIA, S. 1982. Manual de uso de fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 98 p.

**IX. ANEXO**

**Cuadro 18.** Rendimiento neto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María (kg ha<sup>-1</sup>).

<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque I</b>	<b>Bloque II</b>	<b>Bloque III</b>	<b>Bloque IV</b>	<b>Promedio</b>
T <sub>1</sub>	871	1014	895	997	<b>944.41</b>
T <sub>2</sub>	901	1135	845	916	<b>949.36</b>
T <sub>3</sub>	1038	926	970	1031	<b>991.47</b>
T <sub>4</sub>	1195	1287	1172	873	<b>1131.76</b>
T <sub>5</sub>	1179	1147	1024	1032	<b>1095.23</b>
T <sub>6</sub>	1162	1599	1495	1324	<b>1395.02</b>
T <sub>7</sub>	1560	1234	1270	1059	<b>1280.69</b>
T <sub>8</sub>	1413	1335	1295	1134	<b>1294.56</b>
T <sub>9</sub>	1614	1478	1271	1373	<b>1434.27</b>
T <sub>10</sub>	897	794	646	1013	<b>837.53</b>

**Cuadro 19.** Rendimiento bruto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María (kg ha<sup>-1</sup>).

<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque I</b>	<b>Bloque II</b>	<b>Bloque III</b>	<b>Bloque IV</b>	<b>Promedio</b>	<b>% de impurezas</b>
T <sub>1</sub>	1006	1249	1053	1094	<b>1100</b>	14
T <sub>2</sub>	1124	1384	1074	1121	<b>1176</b>	19
T <sub>3</sub>	1180	1116	1183	1183	<b>1165</b>	15
T <sub>4</sub>	1371	1507	1278	1111	<b>1317</b>	14
T <sub>5</sub>	1303	1446	1205	1257	<b>1303</b>	16
T <sub>6</sub>	1325	1830	1682	1435	<b>1568</b>	11
T <sub>7</sub>	1824	1384	1427	1260	<b>1474</b>	13
T <sub>8</sub>	1670	1493	1495	1336	<b>1498</b>	14
T <sub>9</sub>	1818	1644	1442	1551	<b>1614</b>	11
T <sub>10</sub>	1071	1137	801	1130	<b>1035</b>	19

**Cuadro 20.** Rendimiento bruto del cultivo de soya variedad IAC – 8 en un suelo dystropepts en Tingo María (Kg/parcela).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	0.226	0.252	0.265	0.308	0.293	0.298	0.410	0.375	0.409	0.241
Bloque II	0.280	0.311	0.251	0.339	0.325	0.411	0.311	0.336	0.369	0.255
Bloque III	0.236	0.241	0.266	0.287	0.271	0.378	0.321	0.336	0.324	0.180
Bloque IV	0.246	0.252	0.266	0.250	0.282	0.322	0.283	0.300	0.348	0.254
<b>Promedio</b>	<b>0.247</b>	<b>0.264</b>	<b>0.262</b>	<b>0.296</b>	<b>0.293</b>	<b>0.352</b>	<b>0.331</b>	<b>0.337</b>	<b>0.363</b>	<b>0.232</b>

**Cuadro 21.** Prueba de comparación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el efecto de los tratamientos en estudio en el rendimiento neto de grano seco de soya.

Clave	Tratamiento	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Significación
T <sub>9</sub>	Superfosfato triple de calcio 140 kg ha <sup>-1</sup>	1434.28	a
T <sub>6</sub>	Fosfato diamónico 140 kg ha <sup>-1</sup>	1395.02	a
T <sub>8</sub>	Superfosfato triple de calcio 100 kg ha <sup>-1</sup>	1294.57	a b
T <sub>7</sub>	Superfosfato triple de calcio 60 kg ha <sup>-1</sup>	1280.69	a b
T <sub>4</sub>	Fosfato diamónico 60 kg ha <sup>-1</sup>	1131.77	b c
T <sub>5</sub>	Fosfato diamónico 100 kg ha <sup>-1</sup>	1095.23	b c
T <sub>3</sub>	Roca fosfórica 140 kg ha <sup>-1</sup>	991.48	c d
T <sub>2</sub>	Roca fosfórica 100 kg ha <sup>-1</sup>	949.37	c d
T <sub>1</sub>	Roca fosfórica 60 kg ha <sup>-1</sup>	944.41	c d
T <sub>10</sub>	Testigo	837.54	d

**Cuadro 22.** Peso fresco de la parte aérea por planta evaluado a la floración (g).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	25.71	15.07	23.16	22.76	15.15	20.21	26.41	35.25	18.27	10.58
Bloque II	18.63	16.41	18.61	31.57	18.76	42.20	27.80	33.45	21.24	17.99
Bloque III	17.51	20.41	8.32	21.75	18.72	22.41	22.38	28.62	24.27	22.40
Bloque IV	21.34	19.54	16.19	21.07	29.27	23.05	29.77	14.20	23.21	19.52
<b>Promedio</b>	<b>20.80</b>	<b>17.86</b>	<b>16.57</b>	<b>24.29</b>	<b>20.48</b>	<b>26.97</b>	<b>26.59</b>	<b>27.88</b>	<b>21.75</b>	<b>17.62</b>

**Cuadro 23.** Peso seco de la parte aérea por planta evaluado a la floración (g).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	5.84	3.39	5.44	5.17	3.33	3.83	5.42	8.01	3.45	2.40
Bloque II	4.59	3.82	4.41	7.84	4.41	9.31	6.48	7.57	5.34	4.26
Bloque III	4.36	5.25	1.87	5.48	4.81	4.89	5.08	6.86	5.97	6.18
Bloque IV	5.82	5.54	4.17	5.97	8.07	5.80	7.14	3.58	6.09	5.27
<b>Promedio</b>	<b>5.15</b>	<b>4.50</b>	<b>3.97</b>	<b>6.12</b>	<b>5.16</b>	<b>5.96</b>	<b>6.03</b>	<b>6.51</b>	<b>5.21</b>	<b>4.53</b>

**Cuadro 24.** Peso fresco radicular por planta evaluado a la floración (g).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	3.04	1.99	2.77	2.97	1.95	2.82	3.55	3.46	2.38	1.79
Bloque II	2.16	2.11	2.24	4.13	2.17	4.55	3.73	3.59	2.51	2.09
Bloque III	2.34	2.54	1.09	3.00	2.55	2.76	2.35	3.57	2.70	2.19
Bloque IV	2.39	1.92	1.85	2.23	3.44	2.66	2.81	1.45	2.44	2.22
<b>Promedio</b>	<b>2.48</b>	<b>2.14</b>	<b>1.99</b>	<b>3.08</b>	<b>2.53</b>	<b>3.20</b>	<b>3.11</b>	<b>3.02</b>	<b>2.51</b>	<b>2.07</b>

**Cuadro 25.** Peso seco radicular evaluado a la floración (g).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	0.91	0.55	0.80	0.91	0.58	0.73	0.93	1.05	0.63	0.55
Bloque II	0.69	0.64	0.75	1.37	0.72	1.43	1.23	1.20	0.88	0.72
Bloque III	0.76	0.85	0.36	0.97	0.87	0.86	0.75	1.22	0.95	0.88
Bloque IV	0.91	0.77	0.69	0.80	1.27	0.93	0.98	0.57	0.85	0.81
<b>Promedio</b>	<b>0.82</b>	<b>0.70</b>	<b>0.65</b>	<b>1.01</b>	<b>0.86</b>	<b>0.99</b>	<b>0.97</b>	<b>1.01</b>	<b>0.83</b>	<b>0.74</b>

**Cuadro 26.** Número de nódulos evaluados a la floración.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.20
Bloque II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10
Bloque III	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bloque IV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Promedio</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0.08</b>

**Cuadro 27.** Altura de planta de soya evaluado después de la floración (cm).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	47.60	43.60	51.30	49.20	44.30	52.60	50.80	45.80	54.30	42.30
Bloque II	45.30	46.90	45.40	56.00	43.90	64.40	57.60	55.80	49.20	44.60
Bloque III	45.60	46.40	40.40	48.70	54.40	45.90	46.40	58.40	46.40	47.80
Bloque IV	49.60	46.30	44.00	48.10	50.80	46.30	52.10	40.90	48.30	45.00
<b>Promedio</b>	<b>47.03</b>	<b>45.80</b>	<b>45.28</b>	<b>50.50</b>	<b>48.35</b>	<b>52.30</b>	<b>51.73</b>	<b>50.23</b>	<b>49.55</b>	<b>44.93</b>

**Cuadro 28.** Número de vainas por planta de soya a la cosecha.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	27.50	38.10	42.00	40.40	33.40	40.70	52.70	43.70	43.90	38.20
Bloque II	33.70	40.70	30.70	38.60	47.20	38.00	36.80	40.70	42.40	38.80
Bloque III	30.80	32.60	53.80	35.20	34.20	47.20	32.40	34.90	42.50	23.90
Bloque IV	36.10	32.30	44.40	31.20	32.40	42.90	31.00	41.30	55.70	35.70
<b>Promedio</b>	<b>32.03</b>	<b>35.93</b>	<b>42.73</b>	<b>36.35</b>	<b>36.80</b>	<b>42.20</b>	<b>38.23</b>	<b>40.15</b>	<b>46.13</b>	<b>34.15</b>

**Cuadro 29.** Número de vainas vanas por planta de soya a la cosecha.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	7.30	13.10	10.10	11.10	8.00	7.60	13.20	9.80	8.30	14.70
Bloque II	5.30	13.20	9.90	8.10	13.20	8.40	9.30	8.70	11.80	14.00
Bloque III	8.30	10.70	19.80	5.00	7.00	13.30	3.10	8.30	11.60	4.30
Bloque IV	12.00	10.50	13.70	13.90	8.50	15.90	6.70	10.50	16.00	10.80
<b>Promedio</b>	<b>8.23</b>	<b>11.88</b>	<b>13.38</b>	<b>9.53</b>	<b>9.18</b>	<b>11.30</b>	<b>8.08</b>	<b>9.33</b>	<b>11.93</b>	<b>10.95</b>

**Cuadro 30.** Porcentaje de vainas vanas en la planta de soya.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	26.55	34.38	24.05	27.23	23.95	18.67	25.05	22.43	18.91	38.48
Bloque II	15.73	32.43	32.25	20.98	27.97	22.11	25.27	21.38	27.83	36.08
Bloque III	26.95	32.82	36.80	14.20	20.47	28.18	9.57	23.78	27.29	17.99
Bloque IV	33.24	32.51	30.86	44.55	26.23	37.06	21.61	25.42	28.73	30.25
<b>Promedio</b>	<b>25.62</b>	<b>33.04</b>	<b>30.99</b>	<b>26.74</b>	<b>24.66</b>	<b>26.51</b>	<b>20.38</b>	<b>23.25</b>	<b>25.69</b>	<b>30.70</b>



**Cuadro 31.** Número de granos por planta de soya.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	36.36	38.75	55.83	49.98	46.99	59.58	77.03	61.02	71.20	38.78
Bloque II	51.12	52.25	32.24	45.75	57.80	57.72	49.50	64.00	58.14	39.68
Bloque III	38.25	39.42	68.40	55.87	43.52	57.63	49.81	54.53	58.71	35.28
Bloque IV	38.56	35.97	55.26	29.41	39.44	51.30	46.17	52.36	75.43	42.33
<b>Promedio</b>	<b>41.07</b>	<b>41.60</b>	<b>52.93</b>	<b>45.25</b>	<b>46.94</b>	<b>56.56</b>	<b>55.63</b>	<b>57.98</b>	<b>65.87</b>	<b>39.02</b>

**Cuadro 32.** Peso de 100 semillas de soya a la cosecha (g).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Bloque I	20.13	18.88	19.23	17.91	18.44	18.08	19.86	19.75	19.83	18.17
Bloque II	19.45	19.31	19.25	20.25	19.63	19.00	19.51	18.20	18.53	19.85
Bloque III	19.02	20.36	17.80	17.46	19.76	19.00	18.65	19.23	19.70	20.02
Bloque IV	19.44	21.97	17.44	19.73	20.02	19.11	19.77	19.68	19.38	20.06
<b>Promedio</b>	<b>19.51</b>	<b>20.13</b>	<b>18.43</b>	<b>18.84</b>	<b>19.46</b>	<b>18.80</b>	<b>19.45</b>	<b>19.22</b>	<b>19.36</b>	<b>19.53</b>

## DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE FERTILIZANTE PARA N Y K

### ANÁLISIS DE SUELO

M.O % = 3.7

N % = 0.17

P = 4.2 ppm

K = 201 kg K<sub>2</sub>O

ρ = 1.6 gr/cc = Franco arenoso

P<sub>suelo</sub> = 1.6 x 0.20 m x 10,000 = 3,200 TM.

Extracción soya = 120 N – 100 K<sub>2</sub>O

### NITROGENO

0.17 % N = 1,700 kg N ----- 1000 TM

X ----- 3200 TM

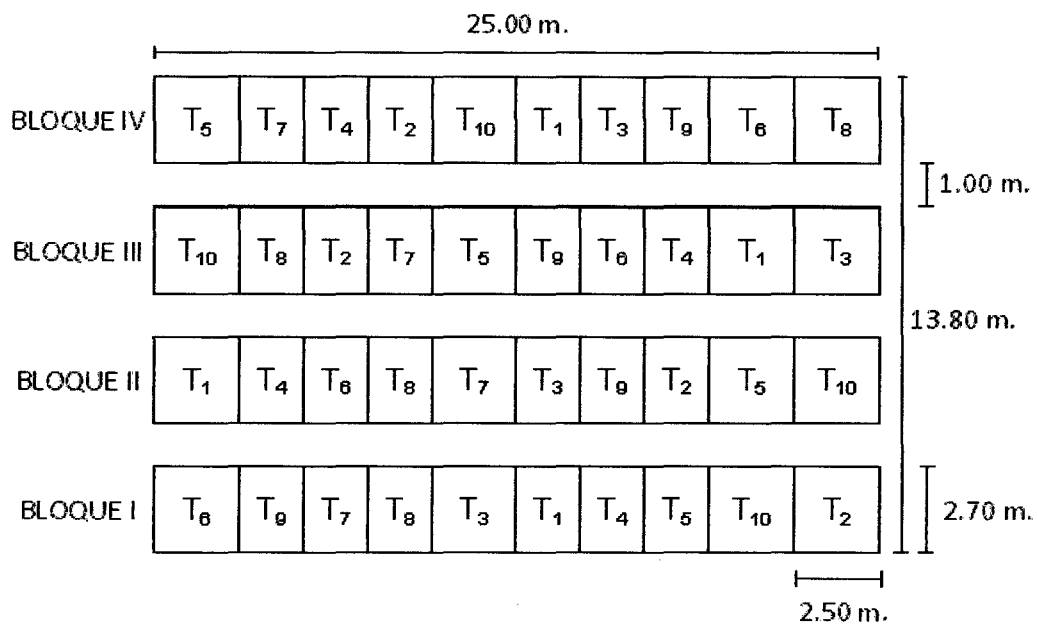
X = 5440 kg N (3%) = 163.20 kg N (40%) = 65.28 kg N

Q<sub>a</sub> = (120 kg N – 65.28 kg N) \* 1/0.6 = 91.20 kg N ≈ 90 kg/ha N.

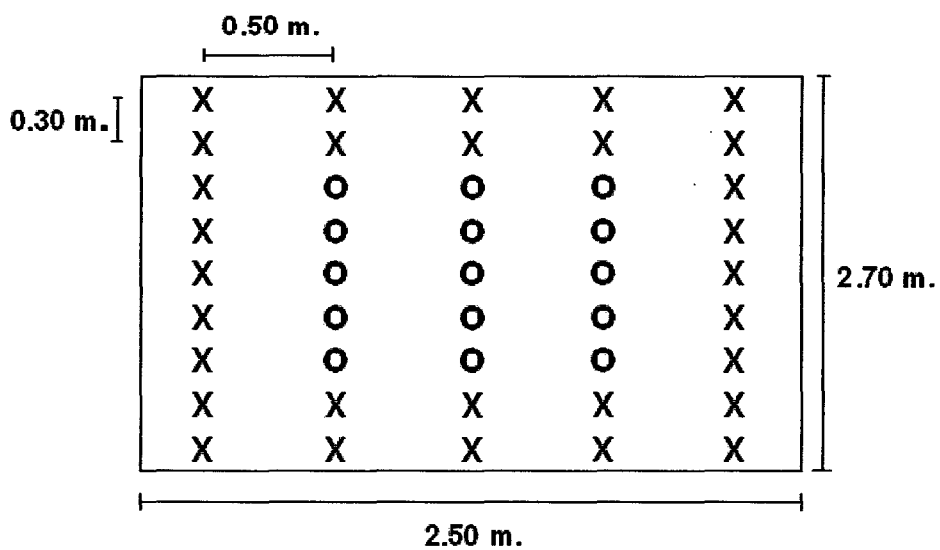
### POTASIO

201kg de K<sub>2</sub>O (40%) = 80.4 kg de K<sub>2</sub>O

Q<sub>a</sub> = (100 kg K<sub>2</sub>O – 80.40 kg K<sub>2</sub>O) \* 1/0.65 = 30.15 kg K<sub>2</sub>O ≈ 30 kg/ha K<sub>2</sub>O.



**Figura 5.** Disposición de los tratamientos del experimento.



**Figura 6.** Detalle de las parcelas.