

Efecto del enclamiento y fertilización con nitrógeno y fósforo en el rendimiento y rentabilidad del frijol común

Marco Antonio Haro Fierro

ZAMORANO
Departamento de Desarrollo Rural

Agosto, 1998

Efecto del encalamiento y fertilización con nitrógeno y fósforo en el rendimiento y rentabilidad del frijol común

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Marco Antonio Haro Fierro

ZAMORANO-Honduras

Agosto, 1998

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Marco A. Haro

Zamorano-Honduras
Agosto, 1998

**Efecto del enclamiento y fertilización con nitrógeno
y fósforo en el rendimiento y rentabilidad del frijol común**

presentado por

Marco A. Haro

Aprobada:

Marcos Rojas, MSc
Asesor Principal

Marcos Rojas, MSc
Jefe de Departamento

Ana Margoth Andrews, PhD
Asesor

Antonio Flores, PhD
Decano Académico

Juan Carlos Rosas, PhD
Asesor

Keith L. Andrews, PhD
Director

Oscar Díaz, MsC
Coordinador PIA

DEDICATORIA

Al Ing. Marco A. Haro L. y la Sra. Margarita F. de Haro por ser mi ejemplo hoy y siempre, y por estar siempre en el momento preciso en las situaciones más difíciles. Gracias por siempre y esto es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Paulina, Patricio y Juan José, por su paciencia y apoyo en estos cuatro años.

Al Ing. Marcos Rojas y Señora por su valiosa contribución en mi formación, sus consejos y todo el apoyo brindado en estos años.

A la Dra. Ana Margoth Andrews por todo el apoyo, dedicación y esfuerzo en este trabajo.

Al Dr. Juan Carlos Rosas por su contribución en la culminación de este trabajo.

Al Ing. Oscar Díaz por su contribución y apoyo, especialmente en la parte final de este trabajo.

Al personal del Departamento de Agronomía: Ing. Rommel Reconco, Ing. Nahun Valladares, Personal del Proyecto Frijol y Laboratorio de Suelos. Su apoyo e interés hizo posible la realización de este trabajo.

Al todo el personal del Departamento de Desarrollo Rural por su espíritu de cooperación.

Un agradecimiento especial a la Alta Gerencia del Zamorano capítulo Pantanal, sección Calidad Total: Belinda Zelaya, Frances Figueroa, Carlos Carpio, Jorge Castedo, Emilio Luque: han sido mas que compañeros verdaderos amigos.

A mis grandes amigos: Julio Hasing y Oscar García en quienes encontré amistad sincera y apoyo incondicional.

A la familia Santos González: Fredy, Dania y Eduardo. Por su amistad, entrega, y por ser un ejemplo de lucha, decisión y amor.

A Ximena Silva por su hospitalidad, cariño, apoyo y confianza, y por ser mi familia navideña.

A las familias Figueroa Nufio y Zelaya Baldovinos por sus gentilezas y hospitalidad.

A mis amigos de siempre, que de una u otra forma colaboraron en este trabajo: Joffre A., Ariel M., Edwin F., Rubén G., Miguel Y., William G., Juan Miguel A., Luis J., Rubén S., Juan P., David F. Jaime D., Jack C.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A la familia Haro Fierro por todo el apoyo en estos cuatro años y siempre.

A la GTZ por el financiamiento brindado para continuar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agronómica.

A la Fundación Wilson Popenoe por su contribución financiera para la realización de mis estudios en el Programa de Agrónomo.

A la Decanatura Académica y el fondo ZAFE por la ayuda financiera brindada en segundo año del Programa de Agrónomo.

RESUMEN

Haro, Marco 1998. Efecto del encalamiento y fertilización con nitrógeno y fósforo en el rendimiento y rentabilidad del frijol común. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras. 58p.

Por ser la principal fuente de proteína en la dieta básica de sus habitantes, el frijol común es la leguminosa de grano de mayor importancia en Centroamérica; sin embargo, en los últimos años sus índices de producción han disminuido, en contraste con el constante crecimiento de la población. La mayor parte de la producción de frijol se encuentra en manos de pequeños y medianos productores, quienes tienen serias limitaciones (suelos ácidos, pobres en N y/o P, entre otros). El objetivo principal de este estudio fue definir los lineamientos para un estudio posterior a nivel de finca para validar un paquete tecnológico, económicamente accesible al pequeño productor y de eficiente utilización de insumos, combinando dosis y fraccionamiento de N y dosis de P con encalamiento. La investigación se llevó a cabo en Zamorano, Honduras. Se establecieron dos ensayos simultáneos: el primero, con cuatro dosis de N (0-40-80-120 kg N/ha) en forma de urea y su combinación con tres fraccionamientos (0-2-3); el segundo, con cuatro dosis de P (0-30-60-90 kg P₂O₅/ha) y dos dosis de cal (0-260 kg Hi Cal Mag/ha). A la cosecha se midieron los componentes del rendimiento agronómico: densidad, vainas por planta, granos por vaina y peso de 100 granos. A un nivel de significación del 10%, el cultivo presentó un incremento en densidad del 32.39% cuando se pasó de 0 a 40 kg N/ha pero a dosis mayores el efecto fue negativo. La interacción del N con su fraccionamiento demostró cierto incremento en la variable granos por vaina, pero el efecto se debió en su mayoría a la alta dosis de N (120 kg/ha). En cuanto a niveles de P o encalamiento, no se encontró ninguna respuesta del cultivo a estos insumos, probablemente por factores externos que disminuyeron considerablemente el rendimiento del cultivo (415 kg/ha) alejándolo del potencial de la variedad. El estrés hídrico al que el cultivo estuvo sometido pudo haber influido considerablemente sobre este bajo rendimiento.

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris* L., fertilidad de suelos, urea, superfosfato triple, enmiendas de suelo, cal.

NOTA DE PRENSA

¿SI USO FERTILIZANTES Y CAL VOY A PRODUCIR Y GANAR MAS CON MI CULTIVO DE FRIJOL?

Frecuentemente nos hacemos esta pregunta cuando tenemos un cultivo tan popular como es el frijol, y mas aún cuando sabemos que más de la mitad del área sembrada de frijol está en manos de pequeños productores, quienes no acostumbran estas prácticas.

Zamorano ha liberado recientemente la variedad de frijol “Tío Canela 75”; ésta es reconocida por su resistencia a varias enfermedades y tolerancia al calor y sequía.

En enero de 1998 se estableció un ensayo en el que se trató de encontrar cuánto aumentan los rendimientos de esta nueva variedad al utilizar y/o fraccionar urea, fósforo (0-46-0) y cal (Hi Cal Mag). El investigador sembró dos parcelas, en la primera combinó cuatro dosis de urea con tres formas de fraccionarla en el tiempo, y en la segunda la combinación fue de cuatro niveles de fósforo con cal.

Al cosechar se tomaron datos de: número de plantas que había en cada parcela, número de vainas que tenía cada planta, número de granos en cada vaina, y del peso de los granos, para poder analizar cuales de estas variables se mejoraban al utilizar los fertilizantes y la cal.

Cuando terminó el estudio, se encontró que al utilizar 40 kg de urea por hectárea aumentaba el número de plantas pero si usaba más de 40 kg disminuía; también se encontró que es mejor fraccionar la urea tres veces ya que esto aumenta el peso de los granos. Al final, se encontró que tanto la urea como el fraccionamiento no afectaron el rendimiento final del frijol. En la segunda parcela, se encontró que ni el fósforo ni la cal afectaban los rendimientos ni alguno de los factores que midió.

El autor determinó que bajo las condiciones que sembró las parcelas (época seca y con riego), no es rentable la utilización de ninguno de estos insumos ni el fraccionamiento de la urea, pero recomendó sembrar nuevas parcelas en la época lluviosa para determinar si realmente el frijol Tío Canela 75 no responde a la utilización de los insumos que se probaron.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Páginas de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Nota de prensa.....	viii
Contenido.....	ix
Indice de Cuadros.....	xi
Indice de Figuras.....	xii
Indice de Anexos.....	xiii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. EL CULTIVO DE FRIJOL EN HONDURAS	4
2.2. LOS FERTILIZANTES	5
2.2.1. Nitrógeno.....	6
2.2.1.1. Formas disponibles de N.....	8
2.2.1.2. Factores ambientales y de suelo que afectan la disponibilidad de N.....	8
2.2.1.3. Factores de manejo que afectan la disponibilidad de N.....	9
2.2.1.4. Interacciones del N con otros elementos.....	10
2.2.2. Fósforo.....	10
2.2.2.1. Fuentes de P en el suelo.....	11
2.2.2.2. Ventajas de la fertilización fosforada.....	11
2.2.2.3. Requerimientos de la planta.....	11
2.2.2.4. Disponibilidad en el suelo.....	12
2.2.2.5. Factores ambientales y de suelo que determinan la disponibilidad de P.....	12
2.2.2.6. Factores de manejo que afectan la disponibilidad de P.....	13
2.2.2.7. Interacciones con otros elementos.....	14
2.3. ACIDEZ DE SUELO	15
2.3.1. Cal y Hi Cal Mag.....	17

3.	MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1.	ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.....	20
3.2.	TRATAMIENTOS.....	20
3.3.	MANEJO AGRONOMICO.....	22
3.4.	RECOLECCION DE DATOS.....	23
3.5.	ANALISIS ESTADISTICO.....	23
3.6.	ANALISIS DE VARIANZA.....	24
3.7.	ANALISIS ECONOMICO.....	25
4.	RESULTADOS.....	26
4.1.	RESULTADOS AGRONOMICOS DEL ENSAYO 1.....	26
4.1.1.	Densidad.....	26
4.1.2.	Vainas por planta.....	26
4.1.3.	Granos por vaina.....	27
4.1.4.	Peso de 100 granos.....	27
4.1.5.	Rendimiento teórico.....	28
4.1.6.	Rendimiento real.....	28
4.2.	ANALISIS ECONOMICO PRELIMINAR DEL ENSAYO 1.....	29
4.3.	RESULTADOS AGRONOMICOS DEL ENSAYO 2.....	30
4.3.1.	Densidad.....	30
4.3.2.	Vainas por planta.....	30
4.3.3.	Granos por vaina.....	31
4.3.4.	Peso de 100 granos.....	31
4.3.5.	Rendimiento teórico.....	32
4.3.6.	Rendimiento real.....	32
4.4.	ANALISIS ECONOMICO PRELIMINAR DEL ENSAYO 2.....	33
5.	DISCUSION.....	35
5.1.	ENSAYO 1.....	35
5.2.	ENSAYO 2.....	37
6.	CONCLUSIONES.....	41
7.	RECOMENDACIONES.....	42
8.	BIBLIOGRAFIA.....	43
9.	ANEXOS.....	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Arreglo factorial de los tratamientos del ensayo 1.....	21
2.	Arreglo factorial de los tratamientos del ensayo 2.....	21
3.	Análisis estadístico de la variable densidad.....	26
4.	Análisis estadístico de la variable vainas por planta.....	27
5.	Análisis estadístico de la variable granos por vaina.....	27
6.	Análisis estadístico de la variable peso de 100 granos.....	28
7.	Análisis estadístico de la variable rendimiento teórico.....	28
8.	Análisis estadístico de la variable rendimiento real.....	29
9.	Análisis económico preliminar del ensayo 1.....	29
10.	Análisis estadístico de la variable densidad.....	30
11.	Análisis estadístico de la variable vainas por planta.....	31
12.	Análisis estadístico de la variable granos por vaina.....	31
13.	Análisis estadístico de la variable peso de 100 granos.....	32
14.	Análisis estadístico de la variable rendimiento teórico.....	32
15.	Análisis estadístico de la variable rendimiento real.....	33
16.	Análisis económico preliminar del ensayo 2.....	34
17.	Análisis preliminar de suelo en el ensayo.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Comportamiento del N en el suelo y el requerimiento de la planta a lo largo de un ciclo.....	7
2.	Efecto del encalado sobre el pH, la saturación de Al y rendimiento en caña de azúcar.....	18
3.	Requerimientos y disponibilidad de agua del cultivo de frijol en verano en Zamorano.....	39
4.	Registro de temperaturas máximas y mínimas en Zamorano durante el ciclo de cultivo.....	39

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Datos de campo del ensayo 1.....	50
2.	Datos de campo del ensayo 2.....	51
3.	Datos de campo por tratamientos de los ensayos 1 y 2.....	52
4.	Escenario económico 1 del ensayo 1.....	53
5.	Escenario económico 2 del ensayo 1.....	54
6.	Escenario económico 3 del ensayo 1.....	55
7.	Escenario económico 1 del ensayo 2.....	56
8.	Escenario económico 2 del ensayo 2.....	57
9.	Escenario económico 3 del ensayo 2.....	58

1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano de mayor importancia en Centroamérica, por ser la principal fuente de proteína en la dieta básica de la región y la base de la alimentación típica de la zona en conjunto con el maíz y el arroz (Rosas *et al*, 1995). Sin embargo, el consumo per capita (11.0 kg/persona/año) para el período 1980 - 1992, es considerado sólo moderado por las Naciones Unidas. En contraste a esto, el incremento poblacional supera el 3% anual mientras que la tasa de crecimiento de la producción de frijol está en -0.9%. Estos factores determinan la importancia del cultivo en la zona y la necesidad de tecnología aplicable para las condiciones de producción existentes.

Actualmente, la mayor parte de la producción de frijol se encuentra en manos de pequeños productores quienes carecen de suficientes recursos, tanto tecnológicos como económicos. Sus fincas se caracterizan por poseer poca extensión dedicada a varios cultivos, como maíz, frijol y generalmente un huerto familiar (Torres, 1993).

Usualmente las comunidades conformadas por este tipo de productores cultivan en suelos de bajo contenido tanto de nitrógeno (N) como de fósforo (P), siendo esta falta de nutrimentos una de las principales causas del bajo rendimiento del cultivo (Wong, 1992). Bajo estas condiciones marginales de cultivo, los rendimientos promedio de los pequeños agricultores oscilan entre 400 y 600 kg/ha, muy lejanos al potencial de producción de esta leguminosa (Rodríguez & Díaz, 1990).

El elemento más importante para la mayoría de formas de vida es el N, una de sus funciones principales es la de componente de los ácidos nucleicos. Ninguna forma de vida podría crecer y funcionar sin alguna forma aceptable de N en su sistema (Stanford & Legg, 1984).

Por otra parte, los ensayos realizados con la nueva variedad de frijol "Tío Canela 75" han utilizado niveles bajos de N comparados con las recomendaciones comerciales para la mayoría de variedades, y en un ensayo reciente realizado por Martínez (1998) encontró que hay respuesta positiva al incremento de N en el ciclo de cultivo, lo que induce a buscar una curva de respuesta del cultivo a dicho elemento.

La urea es la fuente más utilizada en fertilización nitrogenada, pero tiene serios problemas de volatilización y lixiviación dependiendo del tipo de suelo; se estima que sólo el 50% del fertilizante aplicado es aprovechado por las plantas (Erickson, 1995), por lo que se probarán dos tipos de fraccionamiento del mismo, muy utilizados en la mayoría de cultivos.

Otro de los graves problemas que el pequeño agricultor enfrenta es la baja disponibilidad de nutrimentos del suelo debido a su acidez. Un suelo con pH bajo puede causar problemas de crecimiento en varios cultivos, restringe la disponibilidad de P (Tisdale *et al*, 1993). Las alternativas para mejorar la productividad del frijol bajo condiciones de bajo N y P, incluyen fertilizantes nitrogenados (amoniacales o nítricos), fertilizantes provenientes de la roca fosfórica (superfosfatos), cultivares tolerantes a bajo P y enmiendas del suelo como la incorporación de materia orgánica y cal.

La utilización de fertilizantes por la mayoría de los productores de frijol se encuentra muy por debajo de los niveles recomendados; sin embargo, variedades más eficientes podrían mejorar los rendimientos incluso manteniendo los mismos niveles de fertilización (Rosas *et al*, 1995).

En Honduras la baja disponibilidad de P en el suelo es un grave problema en varias zonas productoras, así tenemos que en Olancho el 28% de las localidades se encuentran con niveles bajos de P, en el Departamento de Francisco Morazán el 48% y en El Paraíso, el 61% de las localidades (Rosas *et al*, 1995).

Se ha determinado que un 93% de los suelos ácidos poseen una marcada deficiencia de N, y un 96% de los mismos posee deficiencia de P, los dos tipos de suelos corresponden a un 89% y 82%, respectivamente, de los suelos cultivados en América Tropical (Sánchez *et al*, 1983).

Una de las prácticas más comunes para solucionar el problema de suelos ácidos es el encalado. Con esta práctica, además de corregir el pH del suelo se obtienen otras ventajas como la liberación del P de la fracción orgánica de los suelos con altos o medios contenidos de materia orgánica, el incremento en la eficiencia de utilización del P aplicado y su absorción por los cultivos. Los enmendadores de pH en el suelo generalmente contienen calcio (Ca) y algunos magnesio (Mg). Los más comunes son cal agrícola (carbonato de Ca) y cal dolomítica (carbonato de Ca y Mg).

Se estima que la producción de frijol ha ido decreciendo en los últimos años (1980-1993) a una tasa de 0.9% anual (FAO, 1983), que no se equipara al notable aumento de la población en general. Este decrecimiento se debe entre otras cosas a la baja rentabilidad del cultivo con poca o deficiente tecnología y a la migración del campo a la ciudad, dejando abandonados los cultivos.

Por estas razones, elevar los rendimientos por unidad de área del cultivo supliéndolo de los elementos que le hacen falta y corrigiendo sus deficiencias es de vital importancia para la economía de nuestros países que en los últimos años se han visto obligados a la importación de este grano para suplir la demanda nacional del mismo.

Recientemente, Zamorano ha liberado una nueva variedad denominada “Tío Canela 75” de grano rojo-pequeño-brillante (raza Mesoamericana) que posee varias ventajas comparativas sobre otras variedades cultivadas, entre las cuales destaca su alto potencial de rendimiento (1200 kg/ha) superior en más del 100% al actual rendimiento nacional promedio de 500 kg/ha (Rosas *et al*, 1997).

Por las razones mencionadas anteriormente, el presente estudio analiza la respuesta al P y N en la variedad, misma que por su reciente liberación no posee mucha información al respecto.

Debido al bajo contenido y poca disponibilidad de P de la mayoría de suelos tropicales, se trató de estimar las dosis de aplicación requeridas de este elemento bajo dos niveles de encalamiento para maximizar los parámetros de rendimiento y retorno económico del cultivo del frijol bajo los sistemas a probar.

Con este estudio, se pretende definir un paquete tecnológico de eficiente utilización de insumos que combine por una parte la dosis de N y fraccionamiento del mismo y por otra parte, la dosis de P y el nivel de encalamiento que produzcan alto rendimiento para el cultivo de frijol y que sea económicamente accesible para el pequeño y mediano productor.

A niveles más específicos, en este estudio se pretende evaluar el efecto de los tratamientos en el rendimiento agronómico y el retorno económico de la variedad de frijol Tío Canela 75; determinar el efecto de los tratamientos en los componentes del rendimiento agronómico del cultivo y encontrar los tratamientos que maximicen el rendimiento por unidad de área, la rentabilidad y tasa de retorno marginal para el pequeño productor.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 EL CULTIVO DE FRIJOL EN HONDURAS

El frijol es la fuente principal de proteína de muchos de los habitantes de América Central y además aporta carbohidratos y minerales. A pesar de la gran importancia del cultivo, los rendimientos promedios de la región son sumamente bajos (Rodriguez *et al*, 1990).

La producción de frijol se encuentra diseminada en todo el país por las condiciones edáficas y ecológicas a las que se adapta este cultivo y en especial por la necesidad y costumbre de alimentación. Las regiones más importantes para la producción de esta leguminosa son: centro y nor oriental y nor-occidental del país. Entre las tres, en 1988 cubrieron el 84.5% del área nacional sembrada y generaron el 88.8% de la producción nacional (Vargas, 1998).

Una de las características más importantes de las leguminosas es su capacidad de fijación del N atmosférico mediante la asociación simbiótica con bacterias específicas del suelo. De esta manera la planta tiene capacidad de suplirse por sí misma parte de sus requerimientos de N. Sin embargo, se ha encontrado que sólo el 25% del requerimiento de N de la planta se suple por estos medios, y el restante lo tiene que absorber del suelo (Viteri *et al*, 1992). Las principales fuentes de N del suelo son la adición de fertilizantes y la mineralización de la materia orgánica.

El cultivo de frijol, como la mayoría de los granos básicos, es sembrado en la época de lluvia, pues los sistemas de riego no son económicamente factibles para estos productos, es por eso que la sequía es una limitante primaria de la producción de frijol común en las regiones semiáridas de América Central (Rosas *et al*, 1990).

En respuesta a varias de estas inquietudes, los fitomejoradores continúan buscando variedades que se adapten a las condiciones de producción. Tío Canela 75, desarrollada y liberada en 1996 por Zamorano, Honduras, es una de ellas y proviene de la selección de la cruce de las líneas: DOR y Pompadour J (Rosas *et al*, 1997).

La variedad liberada tiene una serie de características favorables que incluyen arquitectura de la planta, resistencia a mosaico dorado, mosaico común, bacteriosis (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) y otras enfermedades. A nivel de finca, esta variedad tiene un promedio de rendimiento de 1200 kg/ha, muy superior al promedio del pequeño agricultor y fue identificada como una de las líneas mas tolerantes a altas temperaturas y baja humedad (Rosas *et al*, 1997).

En Honduras, el 75% de los productores de frijol tienen fincas con áreas menores de 10 ha de las cuales el 57% corresponde a productores que tienen fincas menores de 5 ha. En términos de área sembrada las fincas menores de 5 ha constituyen el 53% del área total sembrada y proveen el 56% del total de producción de frijol (Vargas, 1998). Por esta razón se deduce la importancia de incrementar sustancialmente los rendimientos del cultivo, con prácticas como fertilización y utilización de nuevas variedades accesibles al pequeño y mediano productor.

2.2 LOS FERTILIZANTES

Las mayores reservas de tierras arables potenciales existentes aún en el mundo se encuentran en los trópicos húmedos. Hasta hace poco tiempo la baja densidad poblacional y la abundancia de recursos hacían factible la producción en suelos sin fertilizantes. Hoy, factores como la explosión demográfica, a una tasa mayor que la del crecimiento de la producción agrícola (en los países del tercer mundo), el desgaste de los suelos y la baja disponibilidad de nuevas fronteras agrícolas hacen indispensable el uso de fertilizantes para manejar una producción sostenible y satisfacer la creciente demanda de alimento.

El incremento de la productividad agrícola es generalmente el resultado de la adopción eficaz de tecnología y, esto viene de cumplir cuatro requisitos (FAO, 1984):

- Un cultivo mejorado con prácticas disponibles para el agricultor, que sean accesibles tanto agrónomica como económicamente.
- Instrucción de los agricultores a modo que comprendan y valoren la utilidad de las prácticas.
- Disponibilidad de insumos a nivel regional, para poder hacer efectivas las nuevas prácticas y que puedan ser adoptadas con relativa facilidad.
- Disponibilidad de mercados para que los incrementos en cosecha tengan efectividad económica y realmente se vea el efecto de una mayor producción.

La combinación de esos cuatro factores puede llevar a un agricultor a incrementar considerablemente su producción y los beneficios subsecuentes a esta mejoría. Entre tecnología, capital humano y económico y mercado se pueden resumir las necesidades actuales en la agricultura, y esta es la premisa sobre la que se trabaja en investigación agrícola.

Como respuesta al primero de los requisitos mencionados anteriormente han aparecido una serie de variedades mejoradas de muchos cultivos. A partir de la Revolución Verde, el desarrollo y liberación de variedades altamente productoras ha tomado un rumbo muy importante y es necesario que estas tendencias sean difundidas a nivel de medianos y pequeños productores.

Actualmente es necesaria la implementación de tecnologías que involucren la utilización de fertilizantes, como una entrada más al sistema de producción ya que la mayoría de los suelos agrícolas no posee la capacidad de mantener una explotación continua sin el uso de insumos o enmiendas de suelo (FAO, 1984).

2.2.1 Nitrógeno

El N es uno de los macronutrientes esenciales para la vida, lo encontramos como componente de aminoácidos, proteínas y enzimas que prácticamente controlan todos los procesos biológicos. Entre sus funciones podemos mencionar (Brady & Weil, 1999):

- Componente de la molécula de clorofila ($C_{33}H_{72}O_5N_4Mg$), indispensable para la transformación de carbono, hidrógeno y oxígeno en azúcares simples.
- Parte importante de los ácidos nucleicos que cumplen un papel protagónico en el proceso hereditario.
- Es esencial en la composición de los carbohidratos que la planta utiliza.
- Inducción de crecimiento vegetativo vigoroso y absorción de otros nutrientes.
- Promueve la formación de frutos y semillas.
- Elemento esencial para la síntesis de proteínas.

Cuando se cultiva por primera vez un suelo tropical tiene por lo general suficiente contenido de N para suplir la demanda del cultivo, pero conforme pasa el tiempo el suelo va perdiendo esta capacidad y al poco tiempo se vuelve tan pobre en N como la mayoría de suelos utilizados en agricultura intensiva como se puede observar en la figura 1 (FAO, 1983).

En general, en la superficie mineral de un suelo se encuentra el N en niveles que oscilan entre 0.02 y 0.5%. Valores de 0.15% son representativos de un suelo cultivado en promedio. Mucho de este N se encuentra dentro de la fracción orgánica del suelo. La materia orgánica en promedio contiene de 2 a 5% de N. Ventajosamente este N es liberado por los microorganismos del suelo, quienes anualmente convierten cerca del 2–3% del N de la materia orgánica en N inorgánico disponible (Brady & Weil, 1999).

Este elemento constituye un 2% aproximadamente, del peso total seco de la planta, concentrándose en los tejidos jóvenes, en donde el porcentaje puede alcanzar el 6%. A medida que avanza la edad de la planta, disminuye el porcentaje de nitrógeno a la vez que aumenta el de celulosa. Las hojas suelen ser las partes de la planta más ricas en N, disminuyendo su contenido a partir de floración. Dentro de las especies cultivadas son las leguminosas las que contienen mayor proporción de este elemento (Fuentes, 1994).

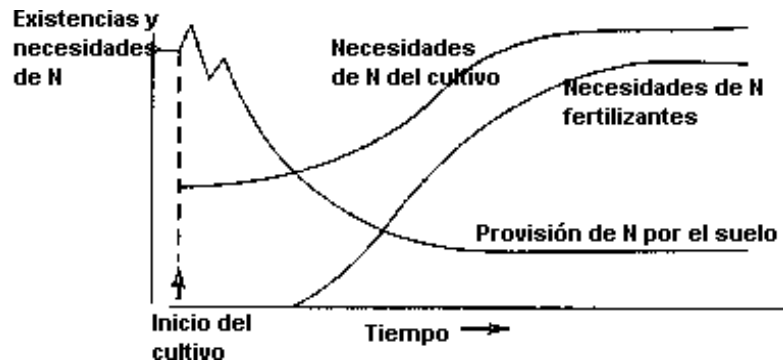


Figura 1. Comportamiento del N en el suelo y el requerimiento de la planta a lo largo de un ciclo (FAO, 1984).

La deficiencia de N provoca en la planta una marcada clorosis debida al mal funcionamiento de la clorofila, y la planta pierde turgencia. Por otra parte, se reduce el contenido proteínico de la planta a la vez que incrementan los niveles de azúcar; esto se debe a la baja disponibilidad de N para combinarse con las cadenas de carbonos que se utilizan para la formación de proteína (Brady & Weil, 1999). También afecta el comportamiento reproductivo de la planta, Bayuelo *et al* en 1996 encontraron que la restricción temprana de N para la planta trae como consecuencia la disminución en la producción de grano en frijol var. Cacahuete 72, por lo que se concluye que al inicio del crecimiento el nivel de N es crítico para la planta.

El N es uno de los elementos más limitantes para la producción agrícola, y las causas son diversas. Comparado con otros nutrientes del suelo, el N en del suelo tiene serios problemas para abastecer la demanda de la planta ya que a diferencia de los demás, se pierden grandes cantidades de N por causas como volatilización, lixiviación y denitrificación (Stanford & Legg, 1984). De hecho, se ha determinado que entre el 25 y 50% del N aplicado como fertilizante se pierde y esto da un equivalente en energía de 10^{17} joules perdidos por año (FAO, 1983).

Uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados en agricultura es la urea, por su relativo bajo costo, disponibilidad casi inmediata del nutriente para la planta y facilidad para conseguirla. Los beneficios de la fertilización nitrogenada con urea han sido muy bien documentados, y en estudios realizados en Zamorano se ha encontrado respuesta positiva de cultivos como frijol y soya a dosis de hasta 90 kg/ha de urea (41.4 kg N/ha) (Rodríguez *et al*, 1990) y se ha probado que dosis bajas de urea (10-15 kg/ha) como N de arranque para el establecimiento de la planta puede incrementar el rendimiento de frijol hasta en un 47% (Viteri *et al*, 1992).

Uno de los problemas principales de la utilización de urea como fuente de N es su reacción con el suelo: por una parte es una de las reacciones más inmediatas pero a la vez libera iones H^+ que contribuyen al proceso de acidificación de los suelos. Este efecto ocurre durante los primeros siete días después de la aplicación (Sartain & Wang, 1997).

2.2.1.1 Formas disponibles de N. El N en el suelo se encuentra principalmente en dos formas: NO_3^- y NH_4^+ , usualmente la nitrificación convierte la mayoría de NH_4^+ en NO_3^- (forma más disponible) pero este proceso es afectado por microorganismos y otros factores (Andrews, 1998). Los nitratos por su carga negativa tienen mayor movilidad en el agua del suelo hacia la raíz, junto con los iones de OH^- o HCO_3^- (Brady & Weil, 1999).

Uno de los factores que afecta considerablemente los procesos de nitrificación y denitrificación es el nivel de agua que haya en el suelo ya que el tamaño y estabilidad de los agregados del suelo afectan la actividad denitrificante (Nelson & Terry, 1996).

El comportamiento de la planta frente a la forma de N absorbible es distinto dependiendo de la especie, muchas plantas prefieren la forma de nitrato, mientras que otras crecen mejor cuando existe una combinación balanceada de las dos formas (Brady & Weil, 1999).

A pesar de ser el NO_3^- la forma más aprovechable de N por la planta, no se debe dejar de lado la presencia del NH_4^+ que es calificado siempre como indispensable o esencial. Muchas especies reaccionan adversamente a este radical, entre otras frijol, sandía, caña de azúcar y maní. Aunque las causas de esta reacción no han sido bien identificadas, hay pruebas que demuestran que existe, como la reducción en rendimiento de cerca del 25% en varios de estos cultivos, si se compara al efecto del NO_3^- (Goyal & Huffaker, 1984).

2.2.1.2. Factores ambientales y de suelo que afectan la disponibilidad de N. Según las condiciones ambientales de las zonas de cultivo y el manejo que éste recibe, los niveles de aprovechamiento del N pueden variar enormemente. Para tener una idea general del nivel de aprovechamiento de N se puede mencionar que las pérdidas por denitrificación se encuentran en el rango de 10 a 45% y por volatilización están entre 1 y 50% (FAO, 1983). Otra de las causas de las pérdidas de N es la lixiviación debida a la alta movilidad de los nitratos en el suelo.

La cantidad de agua que recibe un cultivo a lo largo de su ciclo y el estrés hídrico bajo el que está sometido determinan en gran parte la eficiencia en la utilización del N aplicado. La capacidad de absorción de este elemento por la planta, al igual que el desarrollo de los procesos metabólicos de la planta se ven afectados; así, con el mismo nivel de N una planta bajo estrés hídrico acumula menor cantidad de materia seca que una que no está bajo este efecto (Rhoads, 1984). Esto se visualiza a nivel del sistema suelo-planta: la presencia de humedad en el suelo es absolutamente esencial para la respuesta efectiva a la aplicación de N, pero al mismo tiempo, el nivel de N en la nutrición de la planta determina la eficiencia de la misma en el uso del agua en el suelo (Olson, 1984).

El efecto de la humedad en las pérdidas de N del suelo se debe también a la presencia o ausencia de bacterias nitrificantes. En verano, cuando no hay disponibilidad de agua en el suelo, la nitrificación se atenúa, y en suelos normales de cultivo, con 12 a 18% de humedad se obtienen las mejores condiciones para el desarrollo de estos microorganismos (Fuentes, 1994).

Otro factor determinante en el uso de este elemento por la planta es la presencia de N residual en el suelo, esta concentración puede variar enormemente por factores externos. El N residual en forma orgánica pasa por una serie de reacciones hasta llegar a N inorgánico aprovechable por la planta. En un ensayo en Holanda se comprobó que manejando un rango de 0 a 200 kg N/ha, durante cinco años no se encontró diferencia significativa en el N residual, es decir, luego de cada aplicación de N, o se utilizaba por el cultivo o se perdía por lixiviación u otros mecanismos (Domínguez, 1990). Esta es una de las razones por las que es importante la adición de fertilizantes o fuentes alternas de N al inicio y durante cada nuevo cultivo.

La influencia de estos factores es muy variable según las características de cada lugar, pero en general son causantes de grandes pérdidas en la agricultura y ésta es una de las principales causas por las que se recomienda el fraccionamiento de fertilizantes como la urea (FAO, 1989).

2.2.1.3. Factores de manejo que afectan la disponibilidad del N. El aprovechamiento de los fertilizantes nitrogenados depende de factores ambientales y propios del suelo, como pH, textura, materia orgánica, entre otros que se mencionaron anteriormente, pero también aspectos de manejo como la forma de aplicación, la época, la combinación con otros fertilizantes y el cultivo en sí pueden alterar significativamente este proceso.

La forma de aplicación de N tiene mucha influencia sobre la eficiencia en su uso. Por citar un ejemplo, al momento de la siembra se aplican fertilizantes compuestos en bandas junto con la semilla; a pesar de tener muchas ventajas de manejo y económicas, también tiene ciertas desventajas. La capacidad de gasificación del NH_3 es una de las causas de toxicidad en semillas en el campo. Una exposición a vapor de NH_3 a presiones cercanas a 0.063 atmósferas puede causar daños a la semilla y plántula en los primeros estadios de crecimiento (Goyal & Huffaker, 1984).

También la combinación con otros fertilizantes influye en la efectividad del N. Una práctica de campo que se utiliza mucho por sus ventajas de manejo y costos es la combinación de dos o más fertilizantes al momento de la aplicación, hay que tomar en cuenta la compatibilidad y las reacciones negativas que pueden ocurrir en el suelo, por ejemplo, la urea forma compuestos indeseables en el suelo cuando reacciona con superfosfatos (Russel, 1984).

Por otra parte, la incorporación de residuos de cosecha, pobres en N (práctica muy utilizada), y la baja actividad de los microorganismos que transforma el N inorgánico proveniente de los fertilizantes en N orgánico del suelo son causas importantes de la inmovilización del mismo (Broadbent, 1984) y si bien es cierto que tiene considerables ventajas la adición de materia orgánica al suelo, hay que tener en cuenta el efecto que ésta causa sobre el N para determinar los requerimientos nutricionales del cultivo.

2.2.1.4. Interacciones del N con otros elementos. El N como la mayoría de los nutrimentos tiene muchas interacciones positivas y otras negativas con otros macro y micronutrimentos por lo que es necesario que el suelo mantenga un balance de estos a lo largo de todo el ciclo para no causar deficiencias de otros elementos. El N *per se* es necesario principalmente en las primeras etapas del cultivo, en las que la planta utiliza la mayor parte de su energía en crecimiento vegetativo (Barber, 1984).

Varias investigaciones reportan el efecto negativo del ión NH_4^+ sobre la tasa de absorción de otros elementos como Ca, Mg y K. Se dice que la disminución en la tasa de absorción de Ca especialmente es causada por un mecanismo negativo del $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ en la planta de algodón (Goyal & Huffaker, 1984).

También el cultivo puede reaccionar negativamente al N por naturaleza. Generalmente, no se encuentra respuesta a la fertilización nitrogenada en cultivos de leguminosas cuando el suelo tiene suficiente inóculo natural o aplicado de bacterias fijadoras de N. Estudios en Florida han demostrado que en soya sembrada sin fertilización nitrogenada se encontraron rendimientos de 2580 kg/ha y cuando se aplicaron 672 kg/ha de N el rendimiento bajó a 2370 kg/ha (Rhoads, 1984). Esto puede ser atribuido a muchas causas, entre otras el efecto negativo que el N tiene sobre estas bacterias y otras posibles limitantes. Niveles altos de N pueden llegar a inhibir completamente la actividad fijadora de las bacterias de suelo (Viteri *et al*, 1992).

2.2.2 Fósforo

El P es otro de los macronutrimentos indispensables para el crecimiento y desarrollo de la planta. Entre las funciones del P se menciona su rol genético en el ácido ribonucleico y la transferencia de energía vía adenosintrifosfato (ATP), la fosforilación oxidativa en la glicólisis, crecimiento y organización celular. El P es componente esencial del ADN (ácido desoxi-ribonucleico) por lo que juega un papel importante en la herencia celular también (Brady & Weil, 1999).

Los iones fosfatos están involucrados en muchas reacciones químicas de los suelos y en numerosas reacciones metabólicas de las plantas. Consecuentemente, las funciones del P y su disponibilidad están influenciadas por la disponibilidad y utilización de otros elementos, tanto macro como micro (Fuentes, 1994). Por otra parte el P está involucrado en el desarrollo de biomasa de la planta, así tenemos que Gómez *et al* en 1996 encontró que la acumulación de biomasa en frijol guarda relación con el nivel de P aplicado, y que el comportamiento es diferente según la variedad.

En la agricultura, a nivel mundial, el P está ubicado en segundo lugar de importancia, luego del N. La oferta natural de este elemento por los suelos es en general bastante baja por lo que se hace indispensable la utilización de alguna fuente de este elemento para la producción agrícola (Brady & Weil, 1999).

2.2.2.1. Fuentes de P en el suelo. En ecosistemas naturales el P es un elemento limitante para la vida por su baja disponibilidad. El 90% del P utilizado en el ciclo suelo-planta-animal proviene del suelo y el 10% restante entra en el ciclo animal-planta (Ozanne, 1980) y en el suelo el P tiene graves problemas de movilidad y por reacciones adversas forma compuestos poco disponibles por las plantas.

Cuando un suelo empieza su desarrollo, todo el P presente se encuentra en forma inorgánica, derivada del material parental. Gradualmente se van estableciendo, plantas, microorganismos y animales que necesitan del P del suelo por ser un macronutriente esencial y convierten parte del P inorgánico en P orgánico, que luego regresa al suelo donde una parte se acumula como P orgánico y la otra parte regresa como P inorgánico completando el ciclo biológico del P (Anderson, 1980).

2.2.2.2. Ventajas de la fertilización fosforada. La utilización de fuentes adicionales de P para suplir los requerimientos de P del sistema según Ozanne (1980) es necesaria no sólo para evitar deficiencias *per se* sino por varias razones como:

- La fertilización fosforada tiende a regular el balance de N en la madurez de la planta .
- Los rendimientos en cereales incrementan
- La calidad en ciertos vegetales aumenta con adiciones de P
- Cultivos con niveles adecuados de P son más resistentes a enfermedades

Se ha reportado como una de las funciones adicionales del P el incrementar la nodulación en leguminosas como frijol y soya pero sin incrementar rendimientos comerciales. En un rango de 0 a 150 kg P₂O₅/ha se incrementaron las variables nodulación y crecimiento mas no en rendimiento en Zamorano (Robledo, 1988). También Rodríguez & Díaz (1990) reportaron que el frijol común en Zamorano no presentó ninguna diferencia significativa a niveles de P entre 0 y 120 kg P₂O₅/ha. En ambos casos pudo haber sido los contenidos iniciales de P en el suelo que no lo convertían en un elemento limitante. Sin embargo, Rosas *et al* (1995) encontraron diferencias significativas en rendimiento para los mismos niveles de P₂O₅ tanto en Zamorano como en Güinope.

2.2.2.3. Requerimientos de la planta. Los requerimientos de P en la planta dependen mucho de la etapa de desarrollo en que se encuentre, y tienen estrecha relación con la cantidad de materia seca que la planta acumule. Al inicio del período vegetativo, el crecimiento y acumulación de materia seca es constante, y de la misma manera la necesidad de P por la planta, luego se vuelve estable y bajo, hasta el momento de formación de grano, en que se incrementa nuevamente el requerimiento de este elemento, ya que es translocado de la planta al grano (Hanway & Olson, 1980).

La cantidad de P absorbido por los cultivos varía mucho según el suelo, el cultivo y la frecuencia de aplicación; en lugares donde es común la adición de fertilizantes fosforados, el cultivo absorbe cerca de un 20% del total añadido (Barrow, 1980).

2.2.2.4. Disponibilidad en el suelo. El P es un elemento no reciclable por la lluvia y no es representativo su retorno al suelo a través de los residuos orgánicos. Los fertilizantes solubles de P aplicados al suelo son rápidamente cambiados a compuestos menos solubles, los cuales en poco de tiempo pierden su solubilidad para la absorción por las plantas (Ozanne, 1980).

Para la adición de fertilizantes fosforados en un sistema se debe tomar en cuenta todos los factores que afectan la disponibilidad del P y los que causan la reducción de su disponibilidad, como la humedad, reacción con otros elementos, tipo de suelo, pH entre otras.

La disponibilidad del P en el suelo se basa en tres problemas. Primero, el nivel de P en el suelo es generalmente bajo. Segundo, el P que se encuentra en el suelo es generalmente poco utilizable por la planta por su baja disponibilidad. Tercero, cuando se añaden fertilizantes fosforados a modo de suplir las deficiencias, una gran parte de éste pierde su disponibilidad al transformarse en compuestos insolubles no disponibles para las plantas (Brady & Weil, 1999).

2.2.2.5. Factores ambientales y de suelo que determinan la disponibilidad de P. Uno de los factores que afecta la difusión de P en el suelo es el contenido de humedad, a mayor volumen de agua contenido entre las partículas de suelo mayor es la capacidad de difusión del fertilizante en el suelo, obviamente con un límite que determinará la lixiviación del mismo (Barber, 1980). En condiciones de humedad, los fosfatos de aluminio más solubles tienden a ser importantes, en tanto que en condiciones de sequía son los fosfatos de Fe menos solubles los que predominan en el suelo (FAO, 1990).

Muchas veces es ignorado el efecto de la temperatura en la reacción del P con el suelo ya que es un proceso bastante lento que pasa inadvertido. Altas temperaturas favorecen la velocidad de reacción del P con el suelo por un proceso denominado incubación. Esto reduce la efectividad del P en los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta (Barrow, 1980).

Las reacciones por las que pasan los fertilizantes fosforados son relativamente distintas en cada tipo de suelo, y bajo diferentes condiciones de pH. La fijación de P en suelos ácidos ocurre por el desbalance que se provoca con la disminución de iones de Ca y el incremento de Fe o Al, esto promueve reacciones de los fosfatos disponibles con estos dos elementos (Brady & Weil, 1999) y como consecuencia estos iones son precipitados o fuertemente absorbidos por arcillas u óxidos hidratados amorfos de Fe y Al. Bajo estas condiciones de pH la fijación de P es inicialmente rápida y luego se vuelve lenta; la capacidad de fijación es máxima a valores de pH menores que 5.5 (FAO, 1990).

Generalmente, la mayor disponibilidad de P en el suelo ocurre en un rango de pH de 5.5 a 7.8; fuera de este rango hay un efecto en la velocidad y tipo de reacciones que ocurren con este elemento y el suelo, además de afectar negativamente al crecimiento radicular y en consecuencia a la absorción de nutrimentos (Engelstad & Terman, 1980).

2.2.2.6. Factores de manejo que afectan la disponibilidad de P. La efectividad de la aplicación de P también depende del tipo de fertilizante que se utilice; según la fuente de la que provenga y como se lo ha obtenido pueden haber grandes diferencias en el contenido de este elemento y en la efectividad del mismo en el suelo.

El superfosfato triple (0-46-0) es un fertilizante proveniente de la reacción de la fosforita o roca fosfórica con el ácido fosfórico: H_3PO_4 (Andrews, 1998), y pertenece al grupo de los fertilizantes fosfatados solubles en agua. Este grupo posee una superioridad considerable sobre la eficiencia de las fuentes insolubles ya que reduce al mínimo la necesidad de contacto del fertilizante con el suelo (FAO, 1990), facilitando así su aplicación y mejorando su efectividad. La utilización de fosfatos mono y diamónicos facilita la absorción de este elemento ya que la planta puede tomar mejor el P en el proceso de transformación del amonio en nitrato por la acidez que produce (Brady & Weil, 1999).

Otro factor muy importante a nivel de manejo es la forma de aplicación ya que por la baja movilidad que el P tiene en el suelo, generalmente es aplicado en bandas al suelo, muy cerca de la semilla. Una de las desventajas de este tipo de aplicación es el desuniforme crecimiento de las raíces de la planta, en especial por el bajo contacto con la banda aplicada y la baja tasa de absorción, entre 33-50%; es necesario realizar esta práctica junto con la siembra para evitar este problema puesto que mientras más cerca de la raíz se coloque el P, mejor será la absorción del mismo (Brady & Weil, 1999). Si bien el tipo de fertilizante no exige total contacto con el suelo, la raíz si debe estar muy cerca de la banda de aplicación.

Se ha reportado que la aplicación del P en bandas para llegar a su óptimo económico se debe hacer a dosis más bajas de las que corresponderían en promedio con una dosis determinada por unidad de área (Barrow, 1980); en caso contrario, las altas dosis concentradas en áreas muy pequeñas de suelo podrían causar daños en las raíces y/o afectar a la planta en su totalidad.

La incorporación de materia orgánica al suelo es otro factor de manejo que determina la disponibilidad del P en el suelo. Cuando un suelo ha sido cultivado constantemente con leguminosas, generalmente acumula gran cantidad de materia orgánica, si es que se ha incorporado continuamente los rastrojos, y esto provee condiciones óptimas para la absorción de algunos nutrimentos incluyendo el P ya que ni se inmoviliza ni se transforma en P orgánico no absorbible. La deficiencia o el exceso de materia orgánica causa un desequilibrio en el suelo con este elemento y baja la absorción de P por la planta (Barrow, 1980).

Hay evidencia de que la materia orgánica puede incrementar o disminuir la habilidad de los suelos de adsorber P. Algunos investigadores han reportado la relación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo y la adsorción de P (Fuentes, 1994).

2.2.2.7 Interacciones con otros elementos. Cuando un fertilizante fosforado es aplicado al suelo, ocurre una serie de reacciones que tienden a formar una solución de fosfato absorbible. Se ha notado que dicha solución tiende a reaccionar con iones de Ca, Fe y Al formando precipitados no aprovechables por la planta. Este es otro de los grandes problemas que reducen la efectividad de los fertilizantes fosforados (Barrow, 1980) en especial bajo condiciones de encalado.

Varios investigadores han reportado el efecto que tiene el carbonato de Ca, los hidróxidos de Fe y Al, fosfato de Al y algunos iones *per se* sobre la fijación de P en el suelo, y mucho de esto se explica por reacciones de adsorción y precipitación (Sample *et al*, 1980).

La acumulación de Ca en la superficie de la raíz reduce la efectividad del P aunque el pH se mantenga constante. Esta acumulación trae como consecuencia la formación de espacios libres entre la raíz y el suelo y esto dificulta la absorción de los nutrimentos en especial del P por la diferencia de cargas de los elementos (Barber, 1980).

Además de los efectos del P por si mismo, se han reportado efectos del P por interacción con otros nutrimentos y una de las más notorias entre elementos es la del P con N. Se ha observado una precipitación del N junto con el P cuando existe un desbalance o exceso del mismo y en especial cuando son aplicados como fertilizantes mezclados. Muchas interacciones aparentemente son resultados de otras reacciones, en las que no actúa el N o P *per se*. Por ejemplo, hay considerable evidencia de que la nitrificación incrementa la solubilidad de compuestos fosforados en suelos alcalinos (Adams, 1980).

La importancia del balance N-P en fertilizantes ha sido vastamente explicada en soya donde se ha demostrado el efecto negativo del exceso de fertilizantes en base a P en el metabolismo de fijación biológica del N₂ (Adams, 1980) y como consecuencia sobre los rendimientos totales.

Una interacción positiva entre P y N se puede observar en el incremento de la capacidad de absorción de la planta cuando se maneja el P con el uso de fertilizantes nitrogenados, eso se debe básicamente al mejor crecimiento de raíces, tallos y otros cambios en el metabolismo de la planta (Adams, 1980).

2.3 ACIDEZ DE SUELO

El pH es una de las medidas más utilizadas para evaluar la calidad de suelo. Según el rango de pH se clasifica a un suelo como ácido, neutro o básico. Muchos de los suelos tropicales son ácidos, y los factores que determinan esa acidez son diversos: concentración de iones H, altas concentraciones de Al u otros (Adams, 1984).

El frijol es un cultivo que crece mejor a un pH entre 6.5 y 7.5. En este rango, la mayoría de los nutrientes del suelo están disponibles para la planta. Sin embargo, muchos de los suelos de Latinoamérica tienen pH menor de 6.5 y constituyen gran parte del área agrícola. El frijol puede tolerar hasta 4.5 y 5.5 si es que no existen toxicidades de elementos como Al o Mn (Schwartz & Gálvez, 1980).

Existen varias causas de la acidez de los suelos. Una de ellas es el exceso en la utilización de fertilizantes inorgánicos. Los fertilizantes amoniacales, por ejemplo, son oxidados en el suelo por los microbios y producen ácidos inorgánicos. Estos ácidos al entrar en reacción con el suelo liberan iones de H⁺ que contribuyen con la acidificación del suelo (Brady & Weil, 1999).

La mayoría de las veces los bajos rendimientos encontrados en suelos ácidos se debe a la toxicidad de Al o Mn, y el efecto negativo que esto causa sobre las reacciones metabólicas de la planta, pero no descarta que una baja concentración de Ca pueda ser otra de las causantes del decrecimiento en el rendimiento de los cultivos (FAO, 1990).

En suelos ácidos, la aplicación de fosfatos de amonio con o junto a la semilla puede resultar en una toxicidad a la misma. Parte de este problema es el desbalance existente entre el Ca y amonio en el suelo, sin embargo, las sales amónicas y nítricas son solubles en todo el intervalo de pH que pueda presentar el suelo. La nitrificación tiene lugar con gran intensidad en intervalos comprendidos entre 6.5 y 8 (Fuentes, 1994).

La mayoría de los suelos tropicales ácidos tienen bajos contenidos totales de P (FAO, 1990) por reacciones de fijación con arcillas u otros iones, y esto añade una limitante más a los suelos ácidos para el cultivo agrícola. Con pH inferior a 6.5 disminuye el P disponible, debido a que el Fe y el Al se encuentran muy solubilizados y provocan la formación de fosfatos insolubles (Fuentes, 1994).

Hay maneras de corregir las toxicidades de elementos causantes de este problema, y una de ellas es la misma utilización de P. A medida que el pH del suelo disminuye, las concentraciones crecientes de iones Fe y Al se combinan con iones fosfato para formar compuestos muy poco solubles (en una relación directa), por ende el fosfato aplicado en altas dosis puede reducir o eliminar la toxicidad de Al, causante en la mayoría de los casos de la acidez del suelo; a este proceso se le denomina “encalado con fosfato” (FAO, 1990). Esta práctica, a pesar de ser factible agronómicamente, su elevado costo la hace impráctica económicamente.

Las necesidades de P en un suelo con bajo pH pueden incrementarse considerablemente, disminuyendo la eficiencia de utilización del fertilizante. Un suelo deficiente en P requiere normalmente de 20 a 50 kg de P/ha para corregir esa deficiencia, pero un suelo ácido, con problemas de fijación de P puede llegar a requerir entre 300 y más de 1000 kg de P/ha. En los Estados Unidos se ha reportado que en suelos con el mismo déficit de P pero con distinto pH, se ha llegado a necesitar más del doble de P en los suelos ácidos que en los neutrales o alcalinos (Sánchez & Uehara, 1980).

Por otra parte, se han reportado problemas con N, tanto en fertilizantes inorgánicos añadidos como en fijación biológica por microorganismos. El pH del suelo es un factor limitante para el normal desarrollo de bacterias fijadoras de N como el *Rhizobium sp.* (Mays *et al.*, 1984). Los procesos de nitrificación suelen disminuir considerablemente el pH en muchos sistemas de cultivo ya que para la fijación biológica de N las bacterias toman más cationes que aniones del suelo (Adams & Martin, 1984). En adición a esto, la mineralización del N orgánico es relativamente menor en suelos ácidos que en suelos alcalinos o básicos.

Muchas especies de leguminosas toleran suelos ácidos, pero ha sido claramente determinado que las bacterias fijadoras de N son severamente afectadas en su actividad en suelos ácidos. Los procesos de nodulación son altamente sensitivos a un bajo pH tanto como a la deficiencia de Ca (Adams & Martin, 1984).

El pH óptimo para la denitrificación es de 7 a 7.5. Este rango es mucho menor en suelos ácidos que en suelos neutrales, probablemente por el efecto inhibitorio que ejerce un bajo pH sobre el crecimiento y actividad de las bacterias involucradas en este proceso (Adams & Martin, 1984).

Se ha determinado que las pérdidas por volatilización de NH_3 son mayores en suelos ácidos que en suelos alcalinos ya que en suelos ácidos hay mayor hidrólisis de la urea y por ende mayores pérdidas (Adams & Martin, 1984).

2.3.1 Cal y Hi Cal Mag

El encalamiento es una práctica muy antigua y arraigada para mejorar los suelos ácidos en regiones templadas, pero muchas veces bajo condiciones tropicales no tiene el mismo efecto. Esto se debe básicamente al tipo de suelo ya que en suelos tropicales predominan minerales y arcillas de carga superficial muy alta, y gran parte de la cal aplicada se pierde en neutralización de esas cargas (FAO, 1990). Por estas condiciones muchas veces el encalado se vuelve una práctica poco factible por costos y efectos secundarios sobre el suelo como son deficiencias de otros minerales y cambios indeseables sobre la estructura del suelo.

Los efectos del encalado son (FAO, 1990):

- Reduce la toxicidad de Al y Mn
- Aumenta el número de cultivos que pueden sembrarse
- Mejora la disponibilidad de P
- Estimula la nitrificación por incremento en la actividad de los microorganismos.
- Promueve la fijación de N por la mayor disponibilidad de P
- Aumenta la disponibilidad de microelementos
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico
- Disminuye la disponibilidad de K
- Afecta la estructura del suelo

Dosis bajas de cal frecuentemente aumentan los rendimientos y la absorción de P, K, Ca, Zn, Cu y Mn, en tanto que las dosis mayores disminuye los rendimientos en asociación con una menor toma de estos elementos, aunque esto es muy variable de acuerdo a la tolerancia de acidez de cada especie como se observa en la figura 2 (FAO, 1990). Se ha encontrado poca o ninguna respuesta al encalamiento en algunos estudios realizados en Zamorano: a dosis tan altas como 1000 kg CaCO₃ no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de frijol (Robleto, 1988). Cabe anotar que el pH del suelo en este ensayo era de 6.2 y tenía 1000 ppm de Ca, lo que sugiere que las condiciones experimentales no eran tan extremas como para observar efectos de los tratamientos.

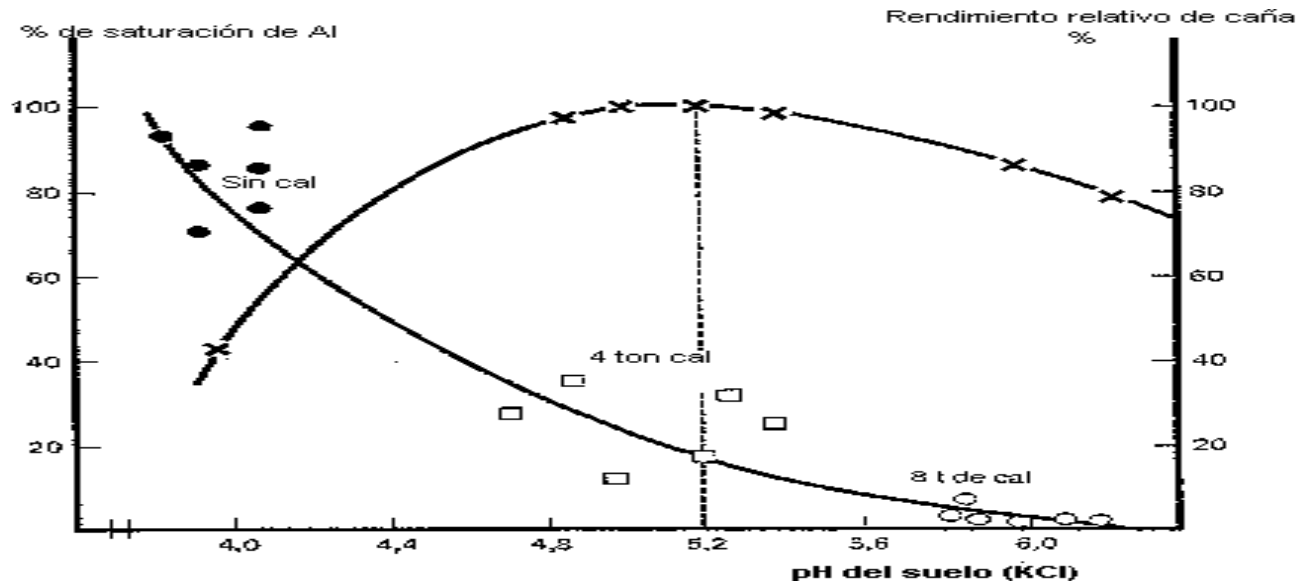


Figura 2. Efecto del encalado sobre el pH, la saturación de Al y rendimiento en caña de azúcar (FAO, 1990).

En general, el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ es el segundo compuesto en velocidad de reacción de encalado luego del óxido de calcio (CaO). Su rápida reacción con el suelo se debe a su alto equivalente de carbonato de calcio o valor de neutralización de 136. El mayor problema del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es su alto costo y problema con la manipulación pues muchas veces es tan rápida su reacción con el suelo que se dificulta su distribución y aplicación (FAO, 1990).

La velocidad con que los materiales de encalado reaccionan con el suelo depende del área superficial del material que entra en contacto con aquel. Tanto el CaO como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ son por naturaleza muy finos además de que son altamente reactivos (Fuentes, 1994). Para la aplicación es necesario poner en contacto las partículas de cal con las de suelo, y distribuir las de la mejor manera, en caso contrario pueden causar problemas con el desarrollo de las raíces aunque mejoren el pH de la capa arable. Aunque muchas veces esto resulta difícil por el poco equipo disponible y el incremento en costos (FAO, 1990).

Hi Cal Mag es una combinación de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 e hidróxido de magnesio Mg(OH)_2 . El producto es muy móvil dentro del perfil del suelo, mucho más que los carbonatos (cal agrícola o dolomita).

El hidróxido de calcio, comúnmente llamado “cal hidratada” es irritante a la piel por lo que dificulta el manejo, pero su reacción con el suelo es tan rápida que es uno de los materiales de encalado preferidos (Brady & Weil, 1999).

La cantidad de cal necesaria para corregir el pH del suelo es muy variable y depende básicamente de cuatro factores (Brady & Weil, 1999):

- La magnitud del cambio deseado en el pH del suelo
- La capacidad buffer del suelo
- La composición química del material de encalado
- La finura del tamaño de la partícula del material de encalado

Recomendaciones del fabricante sugieren una aplicación de Hi Cal Mag junto con fertilizantes nitrogenados o fosfatados en la misma mezcla sin tener efectos secundarios nocivos ya que la reacción de los fosfatos en el suelo es rápida y no permite que reaccionen con otros compuestos.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

El experimento se realizó en los terrenos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicados en Zavala, lote # 1 durante el período comprendido entre febrero y mayo de 1998. Zamorano se encuentra en el valle del río Yeguaré, a 30 km al este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, Honduras, a 14° de latitud norte y 87°02' de longitud oeste, a una altura de 805 m sobre el nivel del mar, con una precipitación anual de 1100 msnm y una temperatura anual media de 24.2°C. El ecosistema de la región según Holdridge (1987) está caracterizado como bosque seco subtropical¹.

El cultivo fue establecido manualmente por siembra directa el 10 de febrero de 1998, en una labranza de suelo convencional (un pase de arado, dos de rastra y un surcado). Se utilizaron semillas de la variedad de frijol Tío Canela 75.

Las semillas fueron sembradas en hileras simples sobre surcos distanciados a 60 cm y a 10 cm entre sí, con una semilla por postura. La densidad de siembra fue aproximadamente de 166.666 plantas por hectárea.

Las condiciones de fertilidad se manejaron similares en cada ensayo (con aplicaciones de 46-0-0, 0-46-0 y Hi Cal Mag respectivamente), variando entre sí únicamente por los tratamientos y entre ensayos.

3.2 TRATAMIENTOS

Para el ensayo 1 se evaluaron cuatro dosis de urea (46-0-0) y tres fraccionamientos. Las dosis de 46-0-0 se determinaron en un rango de cantidades equidistantes en cuyo rango se ubica la dosis de fertilización típica para frijol, y los fraccionamientos provienen del testigo absoluto (cero fraccionamientos) y de dos de los fraccionamientos más comunes en la producción de este grano.

Los tratamientos fueron determinados de acuerdo a un arreglo factorial de cuatro niveles de N dos de fraccionamiento más un testigo absoluto, al cual no se le realizó ninguna aplicación de N (Cuadro 1).

¹ Agudelo 1995, Comunicación personal

Cuadro 1. Arreglo factorial de los tratamientos del ensayo 1

Fraccionamiento	Dosis de N				
	NIVEL	0 kg N/ha	40 kg N/ha	80 kg N/ha	120 kg N/ha
	Testigo	N0A0			
1/3 15dds			N1A1	N2A1	N3A1
2/3 45 dds					
1/3 15 dds			N1A2	N2A2	N3A2
1/3 30 dds					
1/3 45 dds					

En el ensayo 2 se evaluaron cuatro dosis de P usando superfosfato triple (0-46-0) como fuente del mismo y dos niveles de cal. Las dosis de 0-46-0 se determinaron en un rango de cantidades equidistantes en cuyo rango se ubica la dosis de fertilización típica para frijol, y los niveles de encalamiento provienen de la necesidad del suelo según su nivel de acidez y las recomendaciones del fabricante. Cabe recalcar que el producto comercial que se utilizó (Hi Cal Mag) como fuente de cal es de rápida reacción con el suelo, motivo por el cual fue elegido. Bajo condiciones normales se hubiera trabajado con cal dolomítica ($MgCO_3$), por su costo, disponibilidad y su contenido de Mg.

Los tratamientos fueron determinados de acuerdo a un arreglo factorial de cuatro niveles de P y dos de cal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Arreglo factorial de tratamientos del ensayo 2

Encalamiento	Dosis de P2O5				
	FACTOR	0 kg/ha	30 kg/ha	60 kg/ha	90 kg/ha
	0 kg cal/ha	P0C0	P1C0	P2C0	P3C0
260 kg cal/ha	P0C1	P1C1	P2C1	P3C1	

Las unidades experimentales consistieron en cuatro surcos contiguos de cinco metros de longitud, a los cuales les fueron asignados los tratamientos de acuerdo a un diseño en bloques completamente al azar. Las parcelas se encontraban distribuidas en cuatro bloques adyacentes, discriminables por pendiente y la textura del suelo. Los ensayos se encontraban uno a continuación de otro, para facilitar el manejo.

La aplicación de la urea, en el ensayo 1 se realizó a la fecha establecida para el fraccionamiento (15, 30 y 45 días después de la siembra según el caso) y en forma manual antes del riego para luego ser incorporada manualmente.

Por otra parte, en el ensayo 2, la cal fue aplicada e incorporada manualmente, en surco sobre la cama de siembra una semana antes de la misma. Dos días antes de la siembra se aplicó el P en forma manual, no se aplicaron juntos el P y la cal por motivos de relativa incompatibilidad química.

3.3 MANEJO AGRONOMICO

En el ensayo 1 se aplicaron 80 kg P₂O₅/ha y 260 kg/ha de Hi Cal Mag uniformemente las 32 parcelas a modo de bloquear los efectos por estos dos factores, mismos que fueron probados en el ensayo 2.

En el ensayo 2 estas prácticas fueron realizadas en las parcelas a las que les correspondía dicho tratamiento según la distribución aleatoria del ensayo.

Las fertilizaciones nitrogenadas se llevaron a cabo según los tratamientos, en el Ensayo 1 fueron a los 15, 30 y 45 dds, a las dosis mencionadas anteriormente, y en el Ensayo 2 se fraccionó la dosis única de N (100 kg N/ha) en dos, a los 15 y 45 días, aplicadas de la misma manera que en el ensayo 1.

A los 30 dds se aplicó el insecticida dimetoato a una concentración de 1% para el control de lorito verde (*Empoasca kraemeri*).

Al final del ciclo se observó un ataque de *Macrophumina phaseolina*, hongo de verano que necrosa las raíces. Se asume que la fuente de inóculo fueron los residuos de cosecha del ciclo anterior; no se efectuó ningún control sobre la enfermedad por su alto costo y por el momento de infección (cerca del final del ciclo).

Los riegos se manejaron semanalmente hasta la décima semana con una duración semanal promedio de tres horas como parte del ciclo de rotación de riegos del Departamento de Agronomía de Zamorano.

La cosecha se realizó a los 90 días después de la siembra (9-10 de mayo de 1998) ya que más del 80% de las plantas habían terminado de llenar grano y estaban completamente secas. Para la cosecha se arrancaron todas las plantas de la parcela útil (dos surcos centrales con 0.3 m de cabecera y final eliminados por efecto de borde) para ser secadas en sacos y poder obtener el rendimiento real de la parcela. El secado de la cosecha se realizó en los silos del Departamento de Agronomía para acelerar el proceso de toma de datos. Las vainas verdes fueron desechadas al momento de aporrear y separar el grano.

3.4 RECOLECCION DE DATOS

Los componentes del rendimiento fueron medidos en cada parcela útil al momento de la cosecha. Se tomó la densidad al momento de la cosecha; el número de vainas por planta fue medido en una muestra al azar de 20 plantas; el número de granos por vaina fue tomado de 50 vainas cosechadas al azar y el peso de 100 granos se obtuvo una vez cosechada la parcela y separado el grano.

Para el análisis económico de cada tratamiento se hicieron estimaciones de los coeficientes técnicos y precios de los factores que influyen en los costos comunes de los tratamientos, costos diferenciales, beneficio bruto y beneficio neto. Las estimaciones de estas variables se basaron en datos de campo, en registros y entrevistas al personal de campo de la Sección de Producción del Departamento de Agronomía de Zamorano.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico aportó la información necesaria para determinar si existen diferencias significativas entre las dosis de N y fraccionamiento del mismo en el ensayo 1 y entre los niveles de enclamiento y los niveles de P en el ensayo 2.

Ensayo 1:

Por el método de los mínimos cuadrados, se ajustó un modelo lineal que expresa el rendimiento de frijol por unidad de área en función de las dosis de N y su fraccionamiento, sus posibles interacciones y el error experimental.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_k + \beta_j + (\tau\alpha)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk}	Rendimiento de la dosis de N i, fraccionamiento k, bloque j
μ	Media de rendimiento del ensayo
τ_i	Efecto de la dosis i
α_k	Efecto del fraccionamiento k
β_j	Efecto del bloque j
$(\tau\alpha)_{ik}$	Efecto de la interacción entre dosis y fraccionamiento
ε_{ijk}	Error experimental

Ensayo 2:

Por el método de los mínimos cuadrados, se ajustó un modelo lineal que expresa el rendimiento de frijol por unidad de área en función de las dosis de P y niveles de encalamiento, sus posibles interacciones y el error experimental.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_k + \beta_j + (\tau\alpha)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk}	Rendimiento de la dosis de P i , nivel de encalamiento k , bloque j
μ	Media de rendimiento del ensayo
τ_i	Efecto de la dosis i
α_k	Efecto del nivel de encalamiento k
β_j	Efecto del bloque j
$(\tau\alpha)_{ik}$	Efecto de la interacción entre dosis de P y encalamiento
ε_{ijk}	Error experimental

3.6 ANALISIS DE VARIANZA

Ensayo 1:

Se utilizó un modelo mixto para el análisis de varianza: las dosis de aplicación de N y los bloques fueron considerados como factores al azar, mientras que fraccionamiento como factor fijo.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	3
Fraccionamiento	1
Dosis de N	3
Efecto lineal	1
Efecto cuadrático	1
Efecto cúbico	1
Fraccionamiento x dosis de N	3
Error experimental	21
Total	31

Ensayo 2:

Se utilizó un modelo mixto para el análisis de varianza: las dosis de aplicación de P y los bloques fueron considerados como factores al azar, mientras que niveles de enclamiento como factor fijo.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	3
Cal	1
Dosis de P	3
Efecto lineal	1
Efecto cuadrático	1
Efecto cúbico	1
Cal x dosis de P	3
Error experimental	21
Total	31

Para los dos ensayos se utilizó el paquete estadístico SAS[®] 6.2. Se utilizó un nivel de significación del 10% tanto para los análisis de varianza (ANDEVA) como para las pruebas Tukey de separación de medias.

3.7 ANALISIS ECONOMICO

Se efectuó la evaluación económica de todos los tratamientos por medio de la metodología de presupuestos parciales adaptada y propuesta por el CIMMYT (1988) para la formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos en los dos ensayos.

Se preparó un resumen económico con tres escenarios planteados. En el primero se mantienen las condiciones experimentales, es decir los costos reales e imputados que se efectuaron en el ensayo. Para el segundo escenario se ajustaron los rendimientos experimentales a los rendimientos promedio del Departamento de Agronomía de Zamorano, y se eliminó el costo de riego ya que bajo condiciones normales de producción, la siembra se realizaría en la época lluviosa; sin embargo, por cuestiones de tiempo el ensayo se efectuó en época seca bajo riego. En el tercer escenario se mantienen las condiciones del segundo pero se cambia el costo de Hi Cal Mag por el costo de cal dolomítica ya que bajo condiciones de producción es un producto muy caro para el uso y se lo recomienda solamente para cultivos de alto valor.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS AGRONOMICOS DEL ENSAYO 1

4.1.1 Densidad

La variable densidad tuvo una media de poco más de 137000 plantas/ha (Cuadro 3) cerca de 18% menos de los esperado, que es considerado normal. Pero en el análisis del modelo propuesto se observó que no fue significativo el comportamiento de la variable, y que el ajuste fue de 0.43% (R^2).

Cuadro 3. Análisis estadístico de la variable densidad

Densidad (plantas/ha)	Media	137107.7	Fuente de variación		F	Prob
	CV	11.64%	Bloque	2.46	0.0956 *	
R-square	0.433921	Dosis de N	3.57	0.0493 *		
Valor F	1.53	Fraccionamiento	0.11	0.7448 n.s.		
Probabilidad	0.2103 n.s.	Dosis de N x Fraccionamiento	0.12	0.8879 n.s.		

Dentro de los factores que afectan la variable densidad observamos que el efecto de bloques es altamente significativo, lo que indica que el gradiente observado en el campo afectó de manera distinta a los cuatro bloques del ensayo. De igual manera se encontró que el efecto de dosis de N afectó a la variable densidad, mientras que el efecto de fraccionamiento no es significativo y tampoco existe efecto de interacción entre dosis y fraccionamiento.

El efecto de la dosis de N en esta variable se explica por la diferencia entre dosis bajas y dosis altas (0-40 vs 80-120) según una prueba Tukey de separación de medias al 5%.

4.1.2. Vainas por planta

Para el segundo componente de rendimiento se encontró en promedio casi 10 vainas por planta al momento de la cosecha (Cuadro 4). El comportamiento de la variable para el modelo planteado es altamente significativo con una alta variabilidad (32.6%) y con un ajuste del modelo de poco más del 60%.

Cuadro 4. Análisis estadístico de la variable vainas por planta

Vainas por planta	Media	9.6	Fuente de variación		F	Prob
	CV	32.61%	Bloque	7.91	0.0014	**
R-square	0.609513	Dosis N	1.06	0.3661	n.s.	
Valor F	3.12	Fraccionamiento	0.37	0.5526	n.s.	
Probabilidad	0.0190 *	Dosis N x Fraccionamiento	1.62	0.2262	n.s.	

Al igual que en la variable anterior, el efecto de bloques es altamente significativo. Los efectos tanto de dosis de N como de fraccionamiento del mismo y su interacción no presentan diferencias significativas al 10%.

4.1.3. Granos por vaina

En promedio se encontró casi tres granos por cada vaina, con una baja variabilidad en la dispersión de datos (Cuadro 5). El comportamiento de la variable se ajusta al modelo en más del 60% con una alta significación.

Cuadro 5. Análisis estadístico de la variable granos por vaina

Granos por vaina	Media	2.9	Fuente de variación		F	Prob
	CV	14.23%	Bloque	7.69	0.0016	**
R-square	0.630613	Dosis N	0.51	0.6088	n.s.	
Valor F	3.41	Fraccionamiento	1.03	0.3240	n.s.	
Probabilidad	0.0128 **	Dosis N x Fraccionamiento	2.81	0.0864	*	

Las fuentes de variación de este componente de rendimiento no son significativas excepto bloques como en las variables anteriores. La interacción de niveles de N con su fraccionamiento es significativa al 10% y esto se explica por el efecto que tiene la dosis de 120 kg N/ha, significativo al 10%, que al promediarse con el efecto de los otros niveles de la variable (ninguno significativo) lleva a un efecto de dosis no significativo (Prueba de medias marginales Tukey).

4.1.4. Peso de 100 granos

En promedio, 100 granos de frijol Tío Canela 75, en este ensayo, pesaron casi 30 g con una baja variabilidad en la dispersión de los datos (Cuadro 6). El modelo es significativo al 10% y el comportamiento de la variable se ajusta al modelo en poco más del 50%.

Cuadro 6. Análisis estadístico de la variable peso de 100 granos

Peso de 100 granos (g)	Media	27.93	Fuente de variación	F	Prob
	CV	13.42%	Bloque	2.25	0.1178
R-square	0.510297	Dosis N	0.36	0.7009	n.s.
Valor F	2.08	Fraccionamiento	5.53	0.0303	*
Probabilidad	0.0884 *	Dosis N x Fraccionamiento	1.84	0.1877	n.s.

El efecto de bloques en esta variable resultó no significativo al 10% al igual que las dosis de N. El fraccionamiento tiene un efecto significativo explicable por la diferencia causada al cambiar de dos a tres fraccionamientos, obteniéndose una diferencia de poco más de cuatro gramos por este efecto (Tukey al 10%). La interacción de dosis por fraccionamiento no es significativa en esta variable.

4.1.5. Rendimiento teórico

En promedio, se obtuvieron casi 1100 kg/ha de frijol limpio al 14% de humedad, con una variación alta en la dispersión de datos (37%) explicable por la acumulación de variabilidad de las variables anteriores que en conjunto forman el rendimiento teórico (Cuadro 7). La variable se ajusta al modelo en cerca del 60% y su efecto es significativo al 10%.

Cuadro 7. Análisis estadístico de la variable rendimiento teórico

Rendimiento Teórico (kg/ha)	Media	1074.26	Fuente de variación	F	Prob
	CV	37.71%	Bloque	6.61	0.0033
R-square	0.566714	Dosis N	0.56	0.5798	n.s.
Valor F	2.62	Fraccionamiento	0.13	0.7200	n.s.
Probabilidad	0.0394 *	Dosis N x Fraccionamiento	1.79	0.1956	n.s.

El efecto producido por los bloques es altamente significativo como en la mayoría de las variables pero tanto dosis de N como fraccionamiento y su interacción producen efectos no significativos.

4.1.6. Rendimiento real

Se obtuvieron 460 kg/ha de rendimiento real de frijol limpio al 14% de humedad, con una dispersión de datos de más del 50% (Cuadro 8). El comportamiento de la variable con respecto al modelo es significativo al 10% aunque con un ajuste del 50%.

Cuadro 8. Análisis estadístico de la variable rendimiento real

Rendimiento Real (kg/ha)	Media	460.50	Fuente de variación	F	Prob
	CV	51.94%	Bloque	4.12	0.0217 *
R-square	0.509666	Dosis N	0.27	0.7688 n.s.	
Valor F	2.08	Fraccionamiento	0.91	0.3532 n.s.	
Probabilidad	0.0891 *	Dosis N x Fraccionamiento	2.38	0.1215 n.s.	

Al igual que en el rendimiento real, el efecto de bloques es significativo mientras que dosis, fraccionamiento y la interacción no lo son.

4.2. ANALISIS ECONOMICO PRELIMINAR DEL ENSAYO 1

En vista de que en general los efectos de los tratamientos no fueron significativos sobre el rendimiento del cultivo en este ensayo, el análisis económico preliminar se limitó a un resumen de costos y el ingreso proyectado con los rendimientos obtenidos y en tres situaciones hipotéticas explicadas con anterioridad (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis económico preliminar del ensayo 1

Fertilizante 46-0-0 (kg/ha)	0	0	40	40	80	80	120	120	Prom.
Fraccionamientos de Fertilizante	0	0	2	3	2	3	2	3	

Bajo Condiciones Experimentales

Costo total por tratamiento (Lps/ha)	11258	11839	11490	11885	12032	9047	12298	12414	11533
Costos de Oportunidad	1838	1902	1864	1907	1924	1595	1953	1966	1869
Rendimiento (kg/ha)	1105	1930	293	1283	910	743	852	1166	1035
Beneficios Brutos (Lps/ha)	13261	23164	3511	15393	10920	8914	10227	13995	12423
Beneficios Netos (Lps/ha)	164	9423	-9842	1601	-3036	-1727	-4023	-385	-978

Rendimiento Ajustado, sin Riego con HiCalMag

Costo Total por Tratamiento (Lps/ha)	7178	7759	7410	7805	7952	7747	8218	8334	7800
Costos de Oportunidad	1390	1453	1415	1459	1475	1452	1504	1517	1458
Rendimientos Ajustados (kg/ha)	1067	1865	283	1239	879	718	823	1127	1000
Beneficios Brutos Ajustados (Lps/ha)	12809	22375	3392	14869	10548	8611	9879	13518	12000
Beneficios Netos Ajustados (Lps/ha)	4241	13163	-5433	5605	1121	-589	157	3667	2742
Rentabilidad de Costos	59%	170%	-73%	72%	14%	-8%	2%	44%	35%

Rendimiento Ajustado, sin Riego con Cal Dolomítica

Costo Total por Tratamiento (Lps/ha)	4804.4	5385.0	5035.7	5430.9	5578.7	5373.3	5843.8	5960.5	5426.5
Costos de Oportunidad	1128.5	1192.3	1153.9	1197.4	1213.7	1191.1	1242.8	1255.7	1196.9
Rendimientos Ajustados (kg/ha)	1067.4	1864.6	282.6	1239.1	879.0	717.6	823.2	1126.5	1000.0
Beneficios Brutos Ajustados (Lps/ha)	12809.2	22375.1	3391.8	14868.7	10547.7	8610.7	9878.6	13518.2	12000.0
Beneficios Netos Ajustados (Lps/ha)	6876.3	15797.7	-2797.9	8240.4	3755.4	2046.4	2791.9	6302.0	5376.5
Rentabilidad de Costos	143%	293%	-56%	152%	67%	38%	48%	106%	99%

En los tres escenarios los tratamientos testigos son los que mejores rentabilidades presentan, por su bajo costo ya que prácticamente no llevan insumos. En el escenario 1 los beneficios netos son en su mayoría negativos o muy bajos, y esto se debe al alto costo de los insumos. Al ajustar el rendimiento y eliminar el riego (escenario 2) de los costos comunes del ensayo, se observa un sensible incremento de la rentabilidad. En el tercer escenario que presenta las condiciones óptimas de producción, podemos ver que la rentabilidad en promedio llega casi al 100%.

4.3. RESULTADOS AGRONOMICOS DEL ENSAYO 2

4.3.1 Densidad

La variable densidad tuvo una media de poco más de 115000 plantas/ha cerca de 30% menos de lo esperado, probablemente por efectos de ubicación del ensayo. La dispersión de datos es de poco más del 15% (Cuadro 10). En el análisis del modelo se observó el comportamiento de la variable es significativo al 10% para el modelo propuesto, y que el ajuste es de cerca del 51%.

Cuadro 10. Análisis estadístico de la variable densidad

Densidad (plantas/ha)	Media	115885.4	Fuente de variación		F	Prob
	CV	15.34%	Bloque	2.73	0.0697 *	
R-square	0.509232	Dosis P	1.64	0.2097 n.s.		
Valor F	2.18	Nivel de Cal	2.5	0.1286 n.s.		
Probabilidad	0.0638 *	Dosis P x Nivel de Cal	2.06	0.1365 n.s.		

Dentro de los factores que afectan la variable densidad observamos que el efecto de bloques es significativo al 10%, lo que indica que el gradiente observado en el campo afectó de manera distinta a los cuatro bloques del ensayo. En cuanto a las demás fuentes de variación: dosis de P, nivel de cal y su interacción, no se encontraron diferencias significativas.

4.3.2. Vainas por planta

Para el segundo componente de rendimiento se encontró en promedio casi 10 vainas por planta al momento de la cosecha (Cuadro 11). El comportamiento de la variable para el modelo planteado es significativo al 10% con una alta variabilidad (35%) y con un ajuste del modelo de poco más del 56%.

Cuadro 11. Análisis estadístico de la variable vainas por planta

Vainas por planta	Media	9.6	Fuente de variación		F	Prob
	CV	34.92%	Bloque	5.46	0.0062 **	
R-square	0.566788	Dosis P	1.26	0.3149 n.s.		
Valor F	2.75	Nivel de Cal	0.94	0.3438 n.s.		
Probabilidad	0.0245 *	Dosis P x Nivel de Cal	2.13	0.1264 n.s.		

Al igual que en la variable anterior, el efecto de bloques es altamente significativo. Los efectos tanto de dosis de P como de niveles de enclavamiento y su interacción no presentan diferencias significativas al 10%.

4.3.3. Granos por vaina

En promedio se encuentra poco más de tres granos por cada vaina, con una regular variabilidad en la dispersión de datos (Cuadro 12). El comportamiento de la variable se ajusta poco al modelo: 42% y el efecto del modelo fue no significativo al 10%.

Cuadro 12. Análisis estadístico de la variable granos por vaina

Granos por vaina	Media	3.1	Fuente de variación		F	Prob
	CV	15.63%	Bloque	3.49	0.0339 *	
R-square	0.420896	Dosis P	0.64	0.5994 n.s.		
Valor F	1.53	Nivel de Cal	0.11	0.7472 n.s.		
Probabilidad	0.1986 n.s.	Dosis P x Nivel de Cal	0.93	0.4442 n.s.		

Las fuentes de variación de en este componente de rendimiento no son significativas excepto bloques como en las variables anteriores. Ni la dosis de P o el nivel de cal presentaron efectos significativos; la interacción tampoco es significativa al 10%.

4.3.4. Peso de 100 granos

En promedio, 100 granos de frijol Tio Canela 75, en este ensayo, pesan casi 30 g con una baja variabilidad en la dispersión de datos de poco más del 15% (Cuadro 13). El modelo no es significativo al 10% y el comportamiento de la variable se ajusta al modelo en poco menos del 50%.

Cuadro 13. Análisis estadístico de la variable peso de 100 granos

Peso de 100 granos (g)	Media	29.26	Fuente de variación		F	Prob
	CV	15.60%	Bloque	4.34	0.0157 **	
R-square	0.469061	Dosis P	0.37	0.7739 n.s.		
Valor F	1.86	Nivel de Cal	0.04	0.8404 n.s.		
Probabilidad	0.1119 n.s.	Dosis P x Nivel de Cal	1.45	0.2554 n.s.		

El efecto de bloques en esta variable resultó altamente significativo al 10% En cambio los efectos de la dosis de P, nivel de cal y su interacción resultaron no significativos al 10%

4.3.5. Rendimiento teórico

En promedio, se obtuvieron casi 950 kg/ha de frijol limpio al 14% de humedad, con una variación alta en la dispersión de datos (30%) explicable por la acumulación de variabilidad de las variables anteriores que en conjunto forman el rendimiento teórico (Cuadro 14). La variable se ajusta al modelo en poco más del 43% y su efecto es no significativo al 10%.

Cuadro 14. Análisis estadístico de la variable rendimiento teórico

Rendimiento Teórico (kg/ha)	Media	947.45	Fuente de variación	F	Prob
	CV	30.33%	Bloque	3.00	0.0538 *
	R-square	0.438969	Dosis P	0.51	0.6792 n.s.
	Valor F	1.64	Nivel de Cal	0.08	0.7783 n.s.
	Probabilidad	0.1621 n.s.	Dosis P x Nivel de Cal	1.94	0.1536 n.s.

El efecto producido por los bloques es significativo como en la mayoría de las variables pero tanto dosis de P como nivel de Cal y su interacción producen efectos no significativos.

4.3.6. Rendimiento real

Se obtuvieron 372 kg/ha de rendimiento real de frijol limpio al 14% de humedad, con una dispersión de datos de más del 40% (Cuadro 15). El comportamiento de la variable con respecto al modelo es no significativo al 10% con un pobre ajuste de apenas el 36%.

Cuadro 15. Análisis estadístico de la variable rendimiento real

Rendimiento Real (kg/ha)	Media	371.97	Fuente de variación	F	Prob
	CV	41.27%	Bloque	1.6	0.21 n.s.
	R-square	0.35747	Dosis P	0.3	0.85 n.s.
	Valor F	1.17	Nivel de Cal	0.3	0.579 n.s.
	Probabilidad	0.3636 n.s.	Dosis P x Nivel de Cal	1.9	0.164 n.s.

Al igual que en el rendimiento real, el efecto de bloques es significativo mientras que dosis de P, enclamiento e interacción no lo son.

4.4. ANALISIS ECONOMICO PRELIMINAR DEL ENSAYO 2

De igual manera que en el ensayo 1, los efectos de los tratamientos no fueron significativos sobre el rendimiento del cultivo en este ensayo, por ende el análisis económico se limitó a un resumen de costos y el ingreso proyectado con los rendimientos obtenidos.

Igualmente se han preparado tres escenarios para el cultivo; en el primero se presentan las condiciones experimentales bajo las cuales se realizó el ensayo. En el segundo escenario se presentan los rendimientos ajustados del cultivo y se eliminó el costo de riego. El tercer escenario difiere del segundo en que se cambia de fuente de encalado: en lugar de utilizar Hi Cal Mag se utiliza cal dolomítica (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis económico preliminar del ensayo 2

Fósforo 0-46-0 (kg/ha)	0	0	30	30	60	60	90	90	
------------------------	---	---	----	----	----	----	----	----	--

Bajo Condiciones Experimentales

Costo Total por Tratamiento (lps/ha)	7974	12233	8212	12558	8622	12987	9126	13455	10646
Costos de Oportunidad (lps/ha)	1477	1947	1505	1984	1552	2034	1610	2087	1775
Rendimiento (kg/ha)	1245	1110	761	857	738	885	967	1017	947
Beneficios Brutos (lps/ha)	14946	13322	9133	10282	8853	10614	11605	12201	11369
Beneficios Netos (lps/ha)	5495	-858	-584	-4260	-1322	-4406	869	-3341	-1051
Rentabilidad de Costos	69%	-7%	-7%	-34%	-15%	-34%	10%	-25%	-10%

Rendimiento Ajustado, sin Riego con HiCalMag

Costo Total por Tratamiento (lps/ha)	4494	8753	4732	9078	5142	9507	5646	9975	7166
Costos de Oportunidad (lps/ha)	1094	1564	1123	1602	1170	1651	1227	1704	1392
Rendimiento Ajustado (kg/ha)	1315	1172	803	904	779	934	1021	1073	1000
Beneficios Brutos (lps/ha)	15775	14061	9640	10853	9344	11203	12248	12877	12000
Beneficios Netos (lps/ha)	10187	3743	3785	173	3032	45	5375	1199	3442
Rentabilidad de Costos	227%	43%	80%	2%	59%	0%	95%	12%	48%

Rendimiento Ajustado, sin Riego con Cal Dolomítica

Costo Total por Tratamiento (lps/ha)	4494	5293	4732	5617	5142	6046	5646	6514	5435
Costos de Oportunidad (lps/ha)	1094	1183	1123	1221	1170	1270	1227	1324	1201
Rendimiento Ajustado (kg/ha)	1315	1172	803	904	779	934	1021	1073	1000
Beneficios Brutos (lps/ha)	15775	14061	9640	10853	9344	11203	12248	12877	12000
Beneficios Netos (lps/ha)	10187	7585	3785	4015	3032	3886	5375	5040	5363
Rentabilidad de Costos	227%	143%	80%	71%	59%	64%	95%	77%	99%

En los tres escenarios los tratamientos testigos son los que mejores rentabilidades presentan, por su bajo costo ya que prácticamente no llevan insumos. En el escenario 1 los beneficios netos son en su mayoría negativos o muy bajos excepto en uno de los testigos, y esto se debe al alto costo de los insumos. Al ajustar el rendimiento y eliminar el riego (escenario 2) de los costos comunes del ensayo, se observa un sensible incremento de la rentabilidad, llegando en promedio a casi el 50%. En el tercer escenario que presenta las condiciones óptimas de producción, podemos ver que la rentabilidad en promedio llega casi al 100%.

5. DISCUSION

5.1. ENSAYO 1

Dentro de los componentes de rendimiento, la variable densidad de plantas se vió afectada significativamente por el efecto de la dosis de N. En inicio, la densidad incrementa a la dosis de 40 kg N/ha pero luego desciende en un comportamiento difícil de explicar. Cabe anotar que el modelo no fue significativo en esta variable. Es probable que la cantidad de plantas por hectárea se vea reducida conforme aumenta la dosis de N. La tendencia de disminución en la variable se puede explicar con el incremento en la turgencia de las plántulas debido a mayores dosis de N; esto las vuelve más susceptibles al ataque de hongos u otros patógenos, es probable que a altas densidades el crecimiento vigoroso de la planta (por la dosis de N) tenga un efecto negativo por la competencia entre plantas por luz y espacio. Resultados similares presentaron Ajquejay & Masaya en 1980, cuando probaron dosis de N y densidades de siembra en frijol: a densidades de 250000 plantas/ha altas dosis de N resultaban perjudiciales por la competencia entre plantas.

En la variable granos por vaina se encontró que la interacción de dosis de N por fraccionamiento del mismo resultó significativa al 10%, a pesar de que ni dosis ni fraccionamiento por separado tuvieron efectos significativos. Al separar los efectos de la interacción (Lsmeans test) se encontró que la dosis de 120 kg/ha tuvo un efecto significativo dentro de la interacción, pero al combinarse con los otros niveles de los factores, este efecto se diluye y el total resulta no significativo. Con este resultado se puede inferir que altas dosis de N incrementan la producción de granos de frijol en cada vaina y este podría ser el efecto que conlleva a un incremento en rendimientos como ha sido reportado por la literatura.

En cuanto al fraccionamiento de N, resultó significativo únicamente para la variable peso de 100 granos, y el efecto de fraccionar tres veces en lugar de dos incrementó en 4.1 g la variable, por lo que se asume que la distribución del N a lo largo del ciclo, se ajusta a los requerimientos de la planta para el llenado de grano. Es posible que la planta desarrolle mejor si tiene disponibilidad de nutrimentos en todo su ciclo vegetativo, y al momento de llenado de grano, utilice mejor sus reservas. Esto apoya de la sugerencia hecha por Fuentes en 1994, quien recomienda suministrar el N a la planta en varios momentos, dependiendo del clima y del suelo, y en cantidades pequeñas para favorecer la absorción.

A nivel de los demás componentes de rendimiento, no se observan diferencias significativas entre las dosis de N aplicadas o el fraccionamiento, de igual manera con la interacción entre los dos factores. Sánchez & Zavala encontraron en 1991 que la dosis de N afectó a la variable vainas por planta y también al rendimiento del cultivo de frijol en un ensayo realizado en Zapotitán, El Salvador .

El efecto no significativo de las dosis de N sobre el rendimiento del cultivo contradice lo reportado por Toscano *et al* en 1993, quien encontró que un nivel adecuado de P en la planta favorece la absorción del N vía nitrato, volviendo susceptible al cultivo al uso de fertilizantes nitrogenados, pero encontró también que la respuesta es diferente a distintos niveles de P, siendo esto variable según la fuente de N que se utilice y difiere entre variedades. Lo que sugiere que la variabilidad del terreno fue tan grande que ocultó posibles efectos de los tratamientos.

Los resultados a nivel de dosis de N se contradicen también con lo reportado por Echeverría *et al* en 1993, quien encontró que el frijol vigna variedad “Viñales 144 A” a una densidad de 88000 plantas/ha producía los máximos rendimientos agronómicos y económicos a un nivel de 60 kg N/ha. Durón & Caballero (1982) reportan respuestas estadísticamente significativas en cuanto al incremento del rendimiento del frijol a la aplicación de fertilizantes tanto nitrogenados como fosforados, llegando incluso a establecer regresiones para estos dos elementos en base a tres estudios relacionados con fertilización de este cultivo. Kavamahanga *et al* en 1995 corroboran las investigaciones anteriores pues reportan que con 66 kg N /ha se obtienen los máximos rendimientos agronómicos en el cultivo de frijol.

En cuanto a los resultados económicos, solamente se presenta un análisis económico preliminar en tres posibles escenarios de producción. Los tres escenarios resumen las condiciones experimentales reales, las de alto costo (sin riego, rendimientos ajustados y Hi Cal Mag) y las ideales en el campo (sin riego, rendimientos ajustados y cal dolomítica). El rendimiento fue ajustado según los niveles de producción reportados por el Departamento de Agronomía de Zamorano.

Para los tres escenarios, los tratamientos no tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento por lo que económicamente el tratamiento más rentable es el testigo ya que no tiene costo de utilización ni aplicación de insumos y uno de los testigos reporta el mayor rendimiento del ensayo, sin embargo, los bajos rendimientos observados en este ensayo sugieren no sembrar bajo esas condiciones en Zamorano. La diferencia entre escenarios es muy marcada, ya que eliminando el costo de riego, el cultivo se vuelve económicamente atractivo, y hay que considerar que esas son las condiciones normales de producción: según el régimen de lluvias. Al cambiar la fuente de encalado de Hi Cal Mag a cal dolomítica hay otro considerable incremento en rentabilidad. La fuente de cal utilizada en este ensayo responde únicamente a las necesidades de un rápido efecto y no a la importancia del producto en el cultivo.

5.2. ENSAYO 2

El único efecto visible en este ensayo fue el producido por los bloques, lo que indica que el terreno tiene un gradiente que fue aislado con el diseño experimental. En cuanto a las demás fuentes de variación podemos decir que tanto el efecto del P como el del encalamiento resultaron no significativos al igual que su interacción.

El efecto del Hi Cal Mag resultó no significativo, esto coincide con los resultados encontrados por Yunes² en 1998 al probar dos niveles de encalamiento (0 y 520 kg/ha) en el cultivo de arroz de secano en Zamorano. Sin embargo, los efectos benéficos del Ca han sido vastamente documentados: Acuña & Cordero en 1989 reportaron que el Ca y el P tienen efectos positivos sobre la nodulación y rendimiento de frijol en suelos de baja fertilidad y alta acidez.

El efecto no significativo de las dosis de P en este ensayo se contradice con los resultados obtenidos por García *et al* en 1993 quienes demostraron que en suelos pobres en P se incrementa la absorción de N por el frijol cuando se incrementan las dosis de P, esto trae como consecuencia el incremento en el rendimiento del cultivo. En el mismo ensayo se encontró que suelos con niveles medios y altos de P no presentaban el mismo comportamiento, siendo el efecto de dosis P entre 0 y 280 kg/ha no significativo, lo que sugiere que probablemente el nivel de P existente en el suelo, a pesar de ser bajo (Cuadro 17), fue suficiente para el desarrollo de la planta con esos bajos rendimientos. Sin embargo, es necesario aclarar que con esos rendimientos, para las condiciones experimentales del ensayo, no es rentable la producción.

Cuadro 17. Análisis preliminar de suelo en el ensayo

	Ensayo 1	Ensayo 2
pH	4.9 ^{FA}	4.88 ^{FA}
M.orgánica (%)	1.86 ^B	2.37 ^M
N total (%)	0.07 ^B	0.11 ^M
P (ppm)	3 ^B	3 ^B
K (ppm)	54 ^B	71 ^M
Ca (ppm)	547 ^B	540 ^B
Mg (ppm)	60 ^B	60 ^B

FA = Fuertemente ácido

B = Bajo

M = Medio

Guzmán *et al* en 1991 reportaron que los niveles de P que el cultivo de frijol extrae del suelo son relativamente bajos y que un suelo con niveles medios de este elemento es suficiente para el normal desarrollo del cultivo. Corroborando esto, Samidio (1991) encontró que la aplicación de P al suelo tuvo poca influencia sobre el rendimiento del cultivo, y argumentó esto con la posible alta capacidad de fijación de ese suelo, por lo que se recomiendan estudios sobre aplicación foliar de fertilizantes; sin embargo, Díaz (1986) reportó que el frijol no responde a fertilizaciones foliares ni de P ni de N.

² Miguel Yunes, 1998. Comunicación personal.

Resultados similares a los encontrados en este estudio presentan Sánchez y Zavala en 1991, quienes probaron que la dosis de N afecta el rendimiento de frijol mientras que la dosis de P y la interacción entre N y P no presentan ninguna diferencia significativa a este nivel. En este ensayo pudo haber fijación de estos elementos por el suelo debido a la alta acidez que este presentaba desde el inicio del cultivo, Fuentes (1994) sugiere que menos del 30% del P aplicado en un suelo ácido es realmente aprovechado por la planta.

También es posible que haya habido una reacción negativa entre la fuente de cal y el superfosfato triple, ya que en la literatura se recomienda manejar por separados estos dos elementos para evitar posible incompatibilidad química y/o fijación de cualquiera de los dos compuestos (Fuentes, 1994), aunque se sabe que los hidróxidos reaccionan rápido con el suelo y esto evita problemas de reacciones negativas, el problema ocurre cuando la fuente es carbonato de calcio.

Por otra parte, Acuña & Cordero (1989) reportaron sensibilidad del cultivo a aplicaciones de fertilizantes fosforados y encontraron que dosis de 675 mg P_2O_5/kg de suelo producen el máximo rendimiento agronómico y económico. Andrews *et al* (1995) reportaron sensibilidad del cultivo de frijol a la fertilización fosforada en dos localidades en Honduras.

Como se puede observar en los dos ensayos, los rendimientos tanto teóricos como reales se encuentran por debajo del potencial del cultivo y la variedad (1200 kg/ha) lo que sugiere que hubo factores externos que afectaron el normal desarrollo del mismo.

Uno de los factores que pudo afectar el rendimiento del cultivo es el estrés hídrico bajo el cual estuvo sometido a lo largo de todo el ciclo. Como se mencionó anteriormente, el cultivo recibió cerca de tres horas semanales de riego, y a lo largo de las 10 semanas que se regó, acumuló poco más de 260 mm de agua, mientras que el requerimiento de agua del frijol, según Alfaro en 1983, se encuentra entre 300 y 400 mm bien distribuidos. Esta diferencia se puede observar en la figura 3.

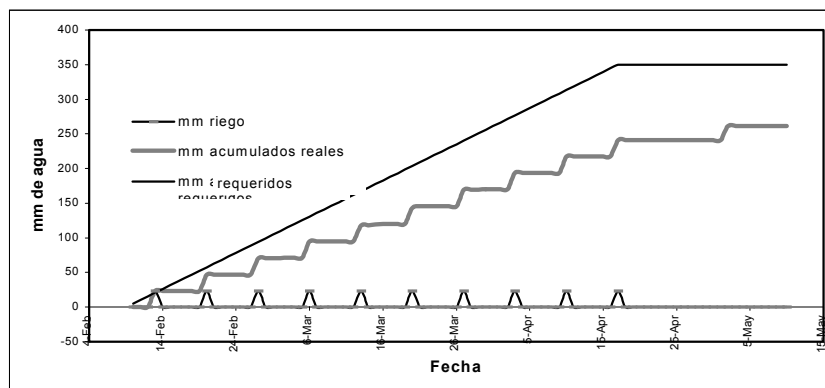


Figura 3. Requerimientos y disponibilidad de agua del cultivo de frijol en verano (febrero-mayo 1998) en Zamorano.

Se puede asumir que este estrés hídrico favoreció la incidencia de *Macrophomina phaseolina* e insectos chupadores como *Empoasca kraemeri*. Gallardo & Terreros (1993) encontraron que este hongo de suelo ataca al cultivo de frijol independientemente del nivel de fertilización o momento del riego. Tanto los insectos como enfermedades y el estrés hídrico pudieron disminuir el rendimiento del cultivo y probablemente esto ocultó el efecto de los tratamientos.

En cuanto al efecto de la temperatura, Alfaro (1983) reporta que el rango óptimo para el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol se encuentra entre 18 y 24° C. A lo largo del ensayo se mantuvo una temperatura máxima promedio de 33.5°C y una temperatura media promedio de 20.4°C. La temperatura promedio de todo el ciclo fue de 27°C (Figura 4).

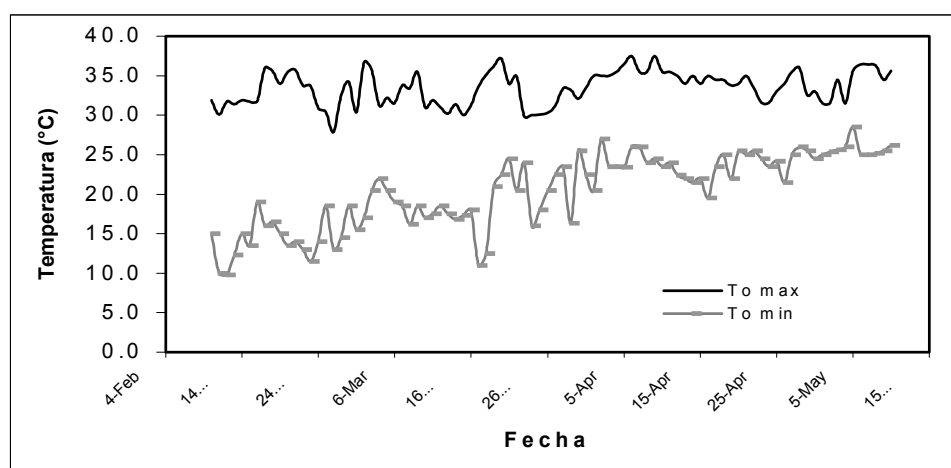


Figura 4. Registro de temperaturas máximas y mínimas en Zamorano durante el ciclo de cultivo

Durante el ciclo se registraron temperaturas tan altas como 37.5°C y tan bajas como 9.8°C. Se concluye que fue un ciclo bastante caliente y con grandes fluctuaciones. En general predominan las altas temperaturas que posiblemente agravaron el estrés hídrico al que el cultivo estuvo sometido.

En cuanto al análisis económico preliminar, igual que en el ensayo anterior solamente se presenta un resumen económico en tres posibles escenarios de producción. El rendimiento fue ajustado de la misma manera que en el ensayo 1 y la importancia de la fuente de cal es la misma que en el ensayo 1.

Para los tres escenarios, los tratamientos no tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento por lo que económicamente el tratamiento más rentable es el testigo ya que no tiene costo de utilización ni aplicación de insumos y los dos testigos reporta el mayor rendimiento del ensayo.

La diferencia entre escenarios, al igual que en el ensayo 1, está marcada por el efecto que causa el costo de riego. Hay que considerar que las condiciones normales de producción son según el régimen de lluvias. Al cambiar la fuente de encalado de Hi Cal Mag a cal dolomítica hay otro considerable incremento en rentabilidad.

6. CONCLUSIONES

La utilización de urea como fuente de N en el cultivo de frijol aparentemente no produjo ningún efecto sobre el rendimiento total bajo las condiciones de campo en las que se llevó a cabo el ensayo; si bien afecta a uno de sus componentes, no se refleja en ningún incremento productivo. Bajo las condiciones de producción de Zamorano, en época seca (febrero – mayo) con sistema de riego, no es rentable la utilización de éste insumo ya que se incrementan los costos de producción y no se obtiene ningún beneficio a nivel de producción ni de ingresos.

El fraccionamiento de la urea tiene un efecto positivo en la variable peso de 100 granos, pero a nivel de rendimiento no presenta ningún efecto significativo, por lo que se concluye que bajo las condiciones en las que el experimento se llevó a cabo, es mejor realizar solamente dos aplicaciones de N, al inicio del ciclo y antes de la floración ya que la aplicación intermedia entre estas dos no aporta ninguna ventaja comparativa que justifique su implementación, al contrario se incurre en mayores gastos de mano de obra que repercuten en la rentabilidad final del cultivo.

El superfosfato triple como fuente de P no aportó ningún efecto significativo ni en los componentes del rendimiento ni en el rendimiento total. Bajo las condiciones ya mencionadas anteriormente no se recomienda la utilización de este fertilizante como fuente de P, ya que incrementa el costo de cada tratamiento en 13.2% en promedio, y no reporta ningún efecto positivo sobre el rendimiento.

El Hi Cal Mag como fuente de Ca y encalamiento, tampoco presentó efectos significativos sobre el rendimiento del cultivo o sobre alguno de sus componentes. El costo de este producto lo hace bastante inaccesible para pequeños y medianos productores, a pesar de que se trató de probar únicamente el efecto del encalado, que tendría la cal dolomítica, no se pudo encontrar ninguna respuesta del cultivo a la modificación del pH.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar nuevos ensayos con esta variedad, probando los mismos factores pero efectuados en la época de siembra típica del productor: época lluviosa, ya que el efecto del riego puede modificar de alguna manera los resultados, sea a nivel de reacción fertilizantes-suelo o enmienda-suelo. Por otra parte, la disponibilidad de agua que el cultivo tendría en época lluviosa sería la real, mientras que en este sistema bajo riego hubo un déficit que de todos modos resulta irreal.

En caso de establecerse nuevamente el experimento, si se utiliza riego, es recomendable mantener la independencia de riegos del ensayo con respecto a los lotes de producción de la zona. Esta sería la única manera de eliminar el problema del estrés hídrico en el cultivo y así analizar aisladamente los efectos de cada tratamiento, sin confundirlos con los bajos rendimientos causados por la sequía.

También se recomienda la utilización de un terreno de baja fertilidad pero relativamente uniforme a nivel de características de suelo ya que otro de los factores que pudo afectar la variabilidad de los datos colectados fue la heterogeneidad del terreno en que se llevó a cabo el ensayo. Este efecto se ve claramente en la alta significación que tienen los bloques dentro del análisis estadístico.

Es recomendable también la utilización de cal dolomítica como fuente de encalamiento, para analizar realmente el efecto de la enmienda más utilizada por el productor y no confundirla con el efecto no significativo que tuvo el producto Hi Cal Mag en este estudio. Esto implica una planificación del ensayo con mayor tiempo para la aplicación de la enmienda y su reacción con el suelo.

Se recomienda el establecimiento de otro ensayo que combine niveles de P y niveles de encalamiento (cal dolomítica) pero con una aplicación anticipada de la cal de entre dos a seis meses antes de la siembra de frijol, a modo que el producto reaccione con el suelo y no presente reacciones negativas con la fuente de P.

8. BIBLIOGRAFIA

- ACUÑA, O.; CORDERO, A. 1989. Efecto de diferentes dosis de molibdeno, fósforo y calcio sobre la nodulación y crecimiento del frijol en un ultisol de Puriscal. *Agronomía Costarricense*. C.R. Universidad de Costa Rica. 13(2): 193-196.
- ADAMS, F. 1980. Interactions of Phosphorous with Other Elements in Soils and in Plants. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 655-680.
- ADAMS, F. 1984. *Soil Acidity and Liming*. 2 ed. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Inc. 380 p.
- ADAMS, F.; MARTIN, J.B.; 1984. Liming Effects of Nitrogen Use and Efficiency. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 417-426.
- AJQUEJAY A., S.; MASAYA S., P. 1980. Influencia de la densidad y la fertilización en seis genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos zonas frijoleras de Guatemala. *In: Memorias de la XXIV Reunión Anual de Investigación Aplicada para una Agricultura Sostenida y Competitiva*. Guatemala.
- ALFARO, R. 1983. *El cultivo del frijol*. Editorial Cafesa. San José, C.R. 108 p.
- ANDERSON, G. 1980. Assessing Organic Phosphorous in Soils. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 411-432.
- ANDREWS, A.M. 1998. *Manejo racional de agroquímicos*. Apuntes de clase. Zamorano, Hond.
- ANDREWS, A.M.; CASTRO, A.; ROSAS, J.C. 1995. Respuesta de variedades de frijol a la fertilización fosforada en dos localidades de Honduras. Zamorano, Hond., Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 2 p.
- ASIF, M.I.A. 1970. Effects of NPK Fertility on Yield and Nutrient Content of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Resúmenes analíticos sobre frijol*. Cali, Col., Centro Internacional de Agricultura Tropical. Vol 1. 595 p.

- BARBER, S.A. 1980. Soil – Plant Interactions in the Phosphorous Nutrition of Plants. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 591–616.
- BARBER, S.A. 1984. Nutrient Balance and Nitrogen Use. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 87-121.
- BARROW, N.J. 1980. Evaluation and Utilization of Residual Phosphorous in Soils. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 333-360.
- BAYUELO JIMENEZ, J.S.; ESCALANTE ESTRADA, J.A.; KOHASHI SHIBATA, J. 1996. Nitrógeno, abscisión de órganos reproductivos y rendimiento en frijol. *Agrociencia (Méx.)* 30(4): 515-521.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R.; 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12 ed. New Jersey, USA., Prentice Hall. 881 p.
- BROADBENT, F.E. 1984. Plant Use of Soil Nitrogen. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 171-183.
- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; Manual metodológico de evaluación económica. Méx. 79 p.
- DIAZ, F. 1986. Efectos de diferentes dosis y frecuencia de fertilización foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Turrialba (C.R.)* 36(4): 415-425.
- DOMINGUEZ, A. 1990. *El abonado de los cultivos*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.
- DURON A., E.; CABALLERO, A. 1982. Resumen de la investigación en niveles de nitrógeno y fósforo en el cultivo del frijol rojo en la zona frijoles de Olancho. *In: Memorias de la XXVIII Reunión Anual de Investigación Aplicada para una Agricultura Sostenida y Competitiva*. San José, C. R.
- EACHEVERRIA, R.; SANCHEZ, M.; MARRERO, C.; CRESPO, C.; VALDEZ, B.; MARRERO, M. 1993. Efecto de niveles de nitrógeno y densidades de siembra en frijol vigna. *In: Memorias de la XXXIX Reunión Anual de Investigación Aplicada para una Agricultura Sostenida y Competitiva*. Guatemala. 446 p.

- ENGELSTAD, O.P.; TERMAN, G.L. 1980. Agronomic Effectiveness of Phosphate Fertilizers. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 311-332.
- ERICKSON, N. 1995. Fertilidad y manejo de suelos. Apuntes de clase. Zamorano, Hond.
- FAO. 1983. Maximizing Fertilizer Use Efficiency. Roma, Italia. 50 p.
- FAO. 1984. Los niveles de producción agrícola y el empleo de fertilizantes. Roma, Italia. 66 p.
- FAO. 1989. Estrategias en materia de fertilizantes. AGRIS: F04 E70. Roma, Italia. 162 p.
- FAO. 1990. El uso eficaz de los fertilizantes en los suelos ácidos de las tierras altas de los trópicos húmedos. Roma, Italia. 64 p.
- FUENTES Y., J.L. 1994. El suelo y los fertilizantes. 4 ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 327 p.
- GALLARDO, C.; TERREROS, A. 1993. Efecto del riego y la fertilización en la incidencia y severidad de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) en soya. Revista ICA (Col.) 28(4): 303-312.
- GARCIA, A.; HERNANDEZ, G.; NUVIOLA, A.; TOSCANO, V. 1996. Efecto del fósforo en el rendimiento y extracción de nitrógeno y fósforo del frijol cultivado en tres suelos. *In: Memorias de la XXXIX Reunión Anual de Investigación Aplicada para una Agricultura Sostenida y Competitiva*. Guatemala. 446 p.
- GOMEZ, L.A.; VADEZ, V.; HERNANDEZ, G.; SANCHEZ, T.; TOSCANO, V. 1996. Eficiencia del fósforo en 10 genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana* (C.R.) 7(1): 41-46.
- GOYAL, S.S.; HUFFAKER, R.C. 1984. Nitrogen Toxicity in Plants. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 97-121.
- GUZMAN, J.J.; MARRERO, V.; CHAILLOUX, M. 1991. Nutrición del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) extracción de N, P₂O₅, K₂O realizada por las diferentes partes de la biomasa y su exportación en dos variedades comerciales en Cuba. *In: Memorias de la XXXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el mejoramiento de Cultivos y Animales*. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 585 p.

- HANWAY, J.J.; OLSON, R.A. 1980. Phosphate Nutrition of Corn, Sorghum, Soybean and Small Grains. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 681-692.
- KAVAMAHANGA, F.; BISHNOI, U.R.; AMAN, K. 1995. Influence of different N rates and intercropping methods on grain sorghum, common bean and soybean yields. *Tropical Agriculture (Tri.)* 72(4): 257-260.
- MARTINEZ, P. 1998. Establecimiento de una planta empacadora de frijol en la empresa asociativa de campesinos de producción "El Plan" Morocelí, Depto de El Paraíso, Honduras. Tesis para Ing. Agr. Zamorano, Hond. 83 p.
- MAYS, D.A.; WILKINSON, S.R.; COLE, C.V. 1980. Phosphorous Nutrition of Forages. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 805-846.
- NELSON, S.D.; TERRY, R.E. 1996. The effects of soil physical properties and irrigation method on denitrification. *Soil Science (USA)* 162(1): 16-27.
- OLSON, R.A. 1984. Nitrogen Use in Dryland Farming Under Semiarid Conditions. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 335-348.
- OZANNE, P.G. 1980. Phosphate Nutrition of Plants – A General Treatise. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 559-585.
- RHOADS, F.M. 1984. Nitrogen or Water Stress: Their Interrelationships. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 307-318.
- ROBLETO, E. 1988. Efecto de la fertilización con calcio, fósforo y molibdeno en la fijación de nitrógeno y rendimiento en el frijol común. Tesis para Ing. Agr. Zamorano, Hond. 52 p.
- RODRIGUEZ, M.; DIAZ, O. 1990. Fertilización nitrogenada y fosforada del frijol. Zamorano, Hond. Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 2 p.

- ROSAS, J.C.; ANDREWS, A.M.; CASTRO, A. 1995. Tolerancia del frijol común a la baja disponibilidad de fósforo en suelos de Honduras. *In: Memorias del Taller Internacional Sobre Bajo Fósforo en el Cultivo de Frijol.* San José, C.R., PROFRIJOL, CIAT, UCR. 182 p.
- ROSAS, J.C. ASCHER, P.; ROSEN, P.; ROBLETO, E.; GRAHAM, P.; ESTEVEZ, C. 1990. Influencia de la sequía y nitrógeno en la productividad de *Phaseolus vulgaris* y *P. acutifolius*. Zamorano, Hond., Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 2 p.
- ROSAS, J.C. ASCHER, P.; ROSEN, P.; YOUNG, R.; ROBLETO, E.; HIBBERD, M. 1990. Comportamiento agronómico de híbridos *Phaseolus vulgaris* x *P. acutifolius* bajo condiciones de sequía en Honduras. Zamorano, Hond., Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 3 p.
- ROSAS, J.C.; VARELA, O.; CASTRO, A. 1997. Tío Canela-75: Nueva variedad de frijol rojo pequeño mesoamericano. Zamorano, Hond., Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 2 p.
- RUSSEL, D.A. 1984. Conventional Nitrogen Fertilizers. *In: Nitrogen in Crop Production.* Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 183-194.
- SAMIDIO P., A. 1991. Requerimiento externo de fósforo en tres cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrados en San Andrés, Panamá. *In: Memorias de la XXXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales.* Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 585 p.
- SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. 1980. Reactions of Phosphate Fertilizers in Soils. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture.* Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 263-310.
- SANCHEZ, O.P.; ZAVALA M., F. 1991. Evaluación de niveles de fertilización en el cultivo del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en el área de Zapotitán. *In: Memorias de la XXXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales.* Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 585 p.
- SANCHEZ, P.; SALINAS, J. 1983. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 93 p.

- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. 1980. Management Considerations for Acid Soils with High Phosphorous Fixation Capacity. *In: The Role of Phosphorous in Agriculture*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 471-514.
- SARTAIN, J.B.; WANG, Y. 1997. Effects of Urea-Urea y Urea-Nitric Phosphates on Plant Growth and Selected Soil Chemical Characteristics. *Soil and Crop Science Proceedings (USA)* 49(1): 5-9.
- SCHWARTZ, H.; GALVEZ, G. 1980. Bean Production Problems. Cali, Col., Centro Interamericano de Agricultura Tropical. 424 p.
- STANFORD, G.; LEGG, J.O. 1984. Nitrogen and Yield Potential. *In: Nitrogen in Crop Production*. Ed. by R. Dinauer. Wisconsin, USA., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 263-272.
- TIESDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J.; HAVLIN, J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5 ed. New York, USA., MacMillan. 634 p.
- TORRES, G. 1993. Estudio agroeconómico de la transferencia de tecnología en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región centro-oriental de Honduras. Tesis para Ing. Agr. Zamorano, Hond. 95 p.
- TOSCANO, V.; MENDEZ, N.; MORALES, R.; HERNANDEZ, G.; GOMEZ, L.; SANCHEZ, M. 1993. Respuesta de dos variedades de frijol común frente a dosis de fósforo con nutrición nitrogenada vía NO_3^- y FBN. *In: Memorias de la XXXIX Reunión Anual de Investigación Aplicada para una Agricultura Sostenida y Competitiva*. Guatemala. 446 p.
- VARGAS, P. 1998. Proyecto de crédito para producción, almacenamiento y comercialización de maíz y frijol en la región del Yeguaré. Tesis para Ing. Agr. Zamorano, Hond. 81 p.
- VITERI, S.; WONG, I.; ROSAS, J.C.; MENDOZA, C. 1992. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la fijación de N_2 y rendimiento de frijol. Zamorano, Hond., Informe Anual de Investigación del Departamento de Agronomía de Zamorano. 7 p.
- WONG, I. 1992. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la fijación de nitrógeno y rendimiento en frijol común. Tesis para Ing. Agr. Zamorano, Hond. 73 p.