

Evaluación de sistemas de fertilización nitrogenada vía foliar en maíz

Patricio Reinaldo Rubio Chávez

Honduras
Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Evaluación de sistemas de fertilización nitrogenada vía foliar en maíz

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

Presentado por:

Patricio Reinaldo Rubio Chávez

Honduras
Diciembre, 2002

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.

Patricio Reinaldo Rubio Chávez

Honduras
Diciembre, 2002

Evaluación de sistemas de fertilización nitrogenada vía foliar en maíz

presentado por

Patricio Reinaldo Rubio Chávez

Aprobada:

Pablo E. Paz, Ph D.
Asesor Principal

Jorge I. Restrepo, M.B.A.
Coordinador de Ciencia y
Producción Agropecuaria

David Moreira, M.B.A.
Asesor

Antonio Flores, Ph. D.
Decano Académico

Francisco Alvarez, M.B.A.
Asesor

Mario Contreras, Ph. D.
Director General

Pablo E. Paz, Ph D.
Coordinador PIA

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y a la Santísima Virgen de la Caridad.

A mis padres, Neptali y Marieta, por la confianza depositada en mi y darme la oportunidad de superarme profesionalmente; por el amor, por el apoyo, por estar siempre a mi lado, por el cariño y por la comprensión y paciencia brindada en cada paso de mi existencia.

A mi hermana Gabriela, por tener la paciencia y el tacto de entenderme, apoyarme y ayudarme siempre en los momentos más difíciles.

A mi hermano Santiago, por ser tan especiales y por su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por se siempre el apoyo, la confianza y el amor, por todo gracias de corazón.

A mis asesores Dr. Pablo E. Paz, Ing. David Moreira y el Ing. Francisco Alvarez por sus enseñanza, paciencia y consejos que me llevaron a cumplir con éxito mi proyecto de graduación.

A mis colegas, y amigos un gracias de verdad.

RESUMEN

Rubio Chávez, Patricio. 2002. Evaluación de sistemas de fertilización nitrogenada vía foliar en maíz. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras. 32 p.

La fertilización foliar consiste en la nutrición a través de las hojas, se utiliza como complemento a la fertilización del suelo, permite aumentar la eficiencia en la aplicación de los nutrientes y la reducción de pérdidas que normalmente ocurren en la fertilización tradicional. El objetivo fue determinar la factibilidad de la suplementación de nitrógeno como complemento a la fertilización edáfica, realizada al momento de la siembra y fraccionando la suplementación en diferentes épocas críticas del cultivo. El estudio se realizó entre julio y noviembre de 2002 en El Zamorano, Honduras. Se comparó la fertilización tradicional contra tres tratamientos donde se fraccionó el nitrógeno en diferentes épocas, aplicado vía foliar utilizando urea. El ensayo se realizó en un campo de 24 ha aproximadamente, el cual fue dividido en cuatro lotes del mismo tamaño cada uno, asignando los cuatro tratamientos al azar. Para propósitos de muestreo se marcaron sistemáticamente 20 parcelas de 24 m² dentro de cada lote. En todos los tratamientos se aplicó el 100% del P y el 25% del N al momento de la siembra, con 18-46-0; el resto del N se aplicó en forma de urea vía foliar, fraccionado en las épocas de 20-40, 20-40-60, 20-40-60-80 días después de la siembra, comparando con el tratamiento tradicional de aplicación edáfica. El sistema de aspersión que se usó fue el de pivote central, dosificando el fertilizante con un sistema de inyección hidráulico. Se realizó análisis foliares 5 días después de cada aplicación de urea, para evaluar el contenido de nitrógeno principalmente. Se analizaron estadísticamente las variables fenológicas y las de rendimiento con sus componentes; se realizó el análisis económico para evaluar la relación beneficio-costo comparando con el manejo convencional. Los fraccionamientos de nitrógeno, a los 20-40-60 y 20-40-60-80 días después de la siembra manifestaron los mejores rendimientos, sin diferencia estadística entre ellos; obteniendo también una mayor rentabilidad con respecto al manejo convencional. Al fraccionar a los 20-40 días después de la siembra se obtuvo rendimiento y rentabilidades similares al manejo tradicional, siendo éstos los más bajos del ensayo. La fenología del cultivo no fue afectada por los fraccionamientos de nitrógeno, siendo el período de cosecha uniforme para todos los tratamientos. Se recomienda hacer aplicaciones con urea a nivel foliar con fraccionamientos hechos a los 20-40-60 y 20-40-60-80 días después de la siembra; aumentando así los rendimientos y obteniendo rentabilidades mayores que las prácticas tradicionales de fertilización. Además, se recomienda evaluar la cobertura del cultivo en las diferentes etapas fenológicas; así como el uso de diferentes boquillas, cobertura, volúmenes y velocidad de aplicación con el sistema de pivote central a diferentes presiones de trabajo.

Palabras Clave: Número de granos por kilogramo, mazorcas por planta, peso de mazorca, porcentaje de desgrane, surfactantes, urea, *Zea mays*

NOTA DE PRENSA

Suplementaciones fraccionadas de nitrógeno a nivel foliar aumentan los rendimientos de maíz.

El maíz es la mayor aportación de las culturas Mesoamericanas a la humanidad; hoy en día, junto con el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a seres humanos como a animales y es una materia prima básica en la industria de transformación, proporcionando carbohidratos y proteínas a la dieta humana. Los usos varían, en América Latina la mayor parte de su producción se utiliza en la alimentación humana, mientras que en los Estados Unidos y Europa mayormente para el consumo animal.

Entre julio y noviembre del año 2002, se llevó a cabo en Zamorano un estudio con el propósito de evaluar diferentes épocas de fraccionamiento del nitrógeno con aplicaciones foliares que complementen a la fertilización edáfica realizada al momento de la siembra.

En el experimento se utilizó el cultivar HB-104 de polinización libre con una densidad de siembra de 55,000 plantas por hectárea. Las aplicaciones de fertilizantes se basaron en los análisis de suelo y requerimientos del cultivo. Se evaluaron 4 tratamientos, el primero sirvió como testigo, evaluando la fertilización tradicional. En los tres siguientes, se aplicó el 100% del fósforo y 25% de nitrógeno al momento de la siembra con el uso de 18-46-0; se fraccionó el nitrógeno restante en dos, tres y cuatro aplicaciones con urea en aplicaciones a nivel foliar cada 20 días, monitoreando el contenido de nitrógeno en el follaje 5 días después de cada aplicación.

Al final del ensayo, los mayores números de fraccionamientos con aplicaciones foliares cada 20 días después de la siembra (20-40-60 y 20-40-60-80) mostraron los rendimientos más altos con una diferencia marcada a los otros tratamientos evaluados.

CONTENIDO

Portadilla	i
Autoría	ii
Portadilla	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Nota de prensa.....	vii
Contenido	viii
Indice de figuras.....	x
Indice de cuadros	xi
Indice de gráficos	xii
Indice de anexos.....	xiii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. General.....	2
1.1.2. Específicos	2
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Importancia del nitrógeno	4
2.2 Características de la urea	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1 Ubicación de la zona del estudio	8
3.2 Suelo	8
3.2.1 Características químicas	8
3.2.2 Características físicas	8
3.3 Diseño experimental	9
3.4 Materiales.....	10
3.4.1 Material genético.....	10
3.4.2 Fertilizantes utilizados	10
3.4.3 Sistema de riego	11
3.5 Manejo del ensayo	11
3.5.1 Preparación del terreno	11
3.5.2 Siembra	12

3.5.3	Fertilización.....	12
3.5.4	Control de malezas.....	12
3.5.5	Manejo fitosanitario	12
3.5.6	Riego	12
3.5.7	Cosecha	12
3.5.8	Secado	13
3.6	Tratamientos.....	13
3.6.1	Tratamiento 1 (T1 fertilización tradicional).....	13
3.6.2	Tratamiento 2 (N 20-40 DDS).....	14
3.6.3	Tratamiento 3 (N 20-40-60 DDS).....	14
3.6.4	Tratamiento 4 (N 20-40-60-80 DDS)	15
3.7	Variables	15
3.7.1	Fenológicas:.....	15
3.7.2	Componentes de Rendimiento:.....	16
3.7.3	Evaluación económica de los tratamientos:.....	16
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	17
4.1	Variables fenológicas.....	17
4.2.	Contenidos de nutrientes	18
4.3	Rendimiento y sus componentes.....	21
4.3.1	Rendimiento.	21
4.3.2	Peso promedio de mazorcas.	22
4.3.3	Porcentaje de desgrane.	22
4.3.4	Número de mazorcas por planta.....	22
4.3.5	Tamaño del grano.....	23
4.4	Análisis economico	23
5.	CONCLUSIONES	25
6.	RECOMENDACIONES	26
7.	BIBLIOGRAFIA	28
8.	ANEXOS	31

INDICE DE FIGURAS

Figura

1	Croquis del área de ensayo (San Nicolás).....	10
2	Diseño de la parcela de muestreo.....	10

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Características físicas y químicas de la urea.....	6
2	Resultado promedio del análisis de suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad.....	8
3	Requerimientos del cultivo por ha según el programa de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos.....	11
4	Descripción de tratamientos en porcentaje de aplicación, kg/ha a aplicar y días de fraccionamiento.....	14
5	Descripción de la cantidad de fertilizante, número de pases, volumen de solución, tiempo de riego y lámina de riego a aplicar en forma foliar por tratamiento.....	15
6	Efecto de los tratamientos de fertilización foliar sobre la fenología del maíz.....	17
7	Efecto del sistema de fertilización sobre el rendimiento y sus componentes en maíz.....	22
8	Estado de resultados de los tratamientos evaluados en la producción de maíz.....	24

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico

1	Contenido de nitrógeno foliar a lo largo del ciclo del cultivo de maíz.....	19
2	Contenido de nitrógeno en el suelo antes de la siembra y después de la cosecha de maíz.....	20

INDICE DE ANEXOS

Anexo

- 1 Contenido foliar de fósforo y potasio a lo largo del ciclo de cultivo de maíz 31
- 2 Contenidos de pH, materia orgánica, fósforo y potasio antes de la siembra y después de la cosecha en maíz..... 32

1. INTRODUCCION

El maíz, es sin discusión la mayor aportación de la culturas Mesoamericanas a la humanidad; hoy en día, junto con el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos tanto a seres humanos como a animales y es una materia prima básica en la industria de transformación, con la que se producen almidones, aceites, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustibles. Además, proporciona el 65% de los carbohidratos y 50% de las proteínas a la dieta humana (FAO, 1993). Los usos de este cereal varían, en América Latina la mayor parte de su producción es usada en la alimentación humana, mientras que en los Estados Unidos el 85% es utilizado para el consumo animal y un porcentaje similar es usado como forraje en el norte de Europa.

Los fertilizantes son un recurso fundamental para la producción agropecuaria moderna, integrada a otros factores como los demás insumos y manejo de suelos condicionan las respuestas de los cultivos y pasturas, estableciendo reacciones complejas. El uso de los fertilizantes permite proporcionar a la planta las cantidades de nutrientes que ella necesita, los cuales, en su mayoría no están presentes o disponibles en las cantidades suficientes para el cultivo en el suelo, ayudándonos a obtener producciones más altas y rentables. Estos fertilizantes pueden ser aprovechados por la planta ya sea por las raíces o por el follaje principalmente las hojas.

La fertirrigación es una alternativa poco conocida y evaluada en la región. En la actualidad, la aplicación de nutrientes por vía foliar es una práctica de gran importancia en la agricultura, constituyendo una alternativa viable al uso eficiente de agua, mayor fraccionamiento en la aplicación de fertilizantes, aplicaciones más rápidas y precisas permitiendo que los nutrientes pueden ser absorbidos y translocados a otras partes de la planta en menor tiempo, con una notable reducción en los costos de producción.

Dentro de las ventajas del riego localizado se puede señalar la demanda baja de mano de obra, energía y uso eficiente del agua; lo cual se traduce en una reducción de costos y un aprovechamiento más eficiente del sistema de riego de Pivote Central, existente en las áreas de producción de Zamorano, el cual hasta la actualidad solamente ha sido utilizado para la suplementación hídrica de los cultivos.

Aplicaciones foliares al cultivo permiten aumentar la eficiencia en la nutrición, reduciendo los problemas físicos o químicos que se dan al hacer aplicaciones al suelo de fertilizantes. Entre los problemas físicos que se pueden presentar tenemos el pie de arado o alta densidad aparente que altera el desarrollo radicular, afectando la absorción de nutrientes en el suelo; y problemas químicos al hacer aplicaciones de fertilizante al suelo

como son las alteraciones en pH del suelo, precipitaciones, fijaciones, lixiviación y volatilización, entre otros.

Por lo señalado anteriormente, las aplicaciones foliares de fertilizantes es una alternativa que puede ser implantada en el área de producción agrícola de Zamorano, al disponer de un sistema de riego localizado como es el pivote central.

El enfoque del estudio se basó en la aplicación de fertilizante nitrogenado (urea), evaluando diferentes épocas de aplicación, que permita cambiar metodologías de fertilización edáfica que ha venido utilizando la Zamoempresa de Cultivos Extensivos (ZECE) y un uso más eficiente del sistema de pivote central, bajo la responsabilidad de la Zamoempresa de Servicios Agrícolas (ZESA), permitiendo además, realizar mayores fraccionamientos en la suplementación de nitrógeno, al ser éste un elemento de alta movilidad en la planta y en el suelo, por lo que la suplementación fraccionada permite un mayor aprovechamiento, reducción de costos de mano de obra y menor uso de maquinaria, permitiendo obtener mayores retornos para la ZECE.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. General

- Determinar la factibilidad de la suplementación de nitrógeno, como complemento a la fertilización edáfica al momento de la siembra, aplicado al cultivo en diferentes épocas, reduciendo las pérdidas y aumentando la eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados.

1.1.2. Específicos

- Definir el adecuado fraccionamiento y época de aplicación del fertilizante nitrogenado (urea) vía foliar que permita alcanzar los mejores rendimientos.
- Evaluar la respuesta de la planta a los tratamientos.
- Determinar las mejores prácticas utilizadas y realizar un estudio técnico económico que permita medir la efectividad y factibilidad de los tratamientos, evaluando los costos de cada tratamiento y su resultado financiero.

2. REVISION DE LITERATURA

Domínguez (1997), define a la fertirrigación como un concepto que se ha desarrollado a partir de “fertilizar” (abonar la tierra para conseguir mejores cosecha) e “irrigar” (regar), consistiendo entonces en la disolución de los fertilizantes en el agua de riego, consiguiendo incrementar la productividad, aportando los nutrientes de una forma equilibrada y logrando dosificarlos a través de un sistema de inyección, ya sea por goteo, exudación o micro aspersores; pudiendo realizarse también en los sistemas convencionales, como los de aspersión.

Sin embargo, Seguel (2002), señala que la fertirrigación representa una técnica mayor a la aplicación de fertilizantes en el agua; siendo un concepto mayor, con el objetivo de mejorar el agua con la que el cultivo se va a nutrir y no mejorar el suelo en donde se desarrolla la planta, en donde se puede obtener ventajas como el ahorro y eficiencia en el uso de fertilizantes, mejor distribución y asimilación, adecuación a las necesidades de la planta y actuar rápidamente ante síntomas de deficiencias.

Larraín (2002), denota que en los últimos años la fertirrigación se ha tomado como la técnica de mejorar la eficiencia del uso de agua y maximizar el uso de los fertilizantes, principalmente el nitrógeno; sin olvidar que fertirrigación no es sinónimo de pérdidas de nitrógeno como nitrato. Además, señala que existen reportes de pérdida de nitrógeno aplicado de alrededor del 50%; por otra parte, Quintero y Boschetti (2000), señalan pérdidas de 10 a 30%, estimando las pérdidas de nitrógeno en 33% para cereales a escala mundial.; manifestando entonces que de 50 a 80% del nitrógeno aplicado es aprovechado por el cultivo y el resto causa perjuicios económicos y ambientales. Por lo que es de pensar entonces, que existen limitaciones en la absorción de este elemento y la búsqueda de sistemas que mejoren la eficiencia son esenciales.

Seguel (2002), señala que los fertilizantes que tradicionalmente se usan para las aplicaciones directas al suelo presentan características que limitan su aplicación en los sistemas localizados como:

- Escasa solubilidad, provocando la obstrucción de goteros o aspersores y el colapso de los sistemas de filtrado.
- Impurezas que impiden el control de las aportaciones y afectan la conductividad eléctrica (CE) del agua.
- Formulaciones descompensadas, ricas en ciertos elementos que pueden ser necesarios para el cultivo, pero porcentajes excesivos que pueden resultar dañinos.
- Escasas formulaciones, unido al desconocimiento de la compatibilidad entre las fuentes nutritivas, que dan lugar a un caos en las instalaciones de riego.

Por lo que, actualmente existe una amplia gama de fertilizantes solubles, formulaciones líquidas que permiten su inyección en estado puro y fórmulas según el estado vegetativo de la planta (Seguel, 2002).

La eficiencia fisiológica con la que las plantas utilizan el nitrógeno, dependiendo de la disponibilidad y de las características de la especie; para el maíz, señala Quintero y Boschetti (2000) que se producen 40 kg de grano por kilogramo de nitrógeno absorbido por la planta.

Ferraris (2001), señala que dentro de la dinámica de absorción de nutrientes, en el maíz, la fase rápida de acumulación de nitrógeno en la planta cesa con el crecimiento reproductivo, lo que sucede alrededor de 30 días después de la floración; siendo acumulado finalmente en los granos, que se obtiene a expensas del nitrógeno acumulado anteriormente.

El nitrógeno, es uno de los elementos más importantes en la nutrición vegetal y el más difícil de suministrar al cultivo; en sus dos formas más comunes, nítrica y ureica, el nitrógeno se lixivia a capas profundas no alcanzables por las raíces, siendo la única forma estable en el suelo, el amoníaco (NH_4), pero en pocos días pasa a nitrato, por lo que no es la solución la búsqueda de formulaciones amoniacales para la fertilización (Larraín, 2002).

Quintero y Boschetti (2000), indican que las pérdidas de nitrógeno se dan por volatilización de amoníaco (52-73%), denitrificación (5-10%), lixiviación (20%) y por escurrimiento superficial (<15%). Las pérdidas en la aplicación de urea inician al pasar de NH_4 a NH_3 , que a presión atmosférica es un gas; llegando a pérdidas del 10-40% cuando no es incorporada, el proceso es favorecido por altas temperaturas, pH y baja humedad; las pérdidas totales de nitrógeno por ésta vía se encuentran entre 52 y 73%. Recomiendan además, las aplicaciones foliares del elemento alcanzando una eficiencia del 70%, siendo limitada por las cantidades bajas que se pueden adicionar por aplicación (10 kg N/ha).

2.1 IMPORTANCIA DEL NITRÓGENO

Torres (2000), menciona que este macroelemento participa en la síntesis de proteínas, por lo que es vital para todas las actividades metabólicas de la planta; sus deficiencias provocan severas reducciones en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reduce el área fotosintética activa.

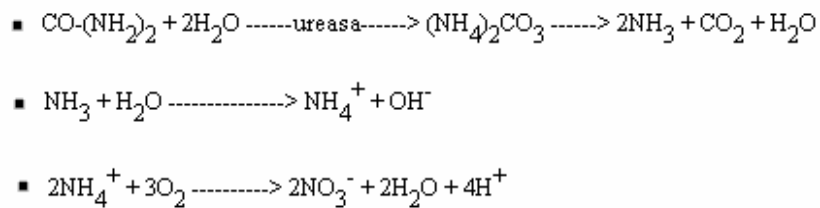
Las deficiencias de nitrógeno se presentan como plantas de color verde amarillento con desarrollo raquítrico, clorosis de las hojas (a partir del ápice, se inicia en las hojas bajas y después alcanza a toda la planta), se producen mazorcas pequeñas con aborto de granos en el ápice (Domínguez, 1997). Los excesos de nitrógeno dan un alto grado de

producción de órganos preproductivos, mayor susceptibilidad a plagas enfermedades y a factores climáticos como sequía, viento, anegamiento o heladas (Océano, 2000)

La función específica de los nitratos en los vegetales es suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, una vez reducido por acción de la enzima nitrato reductasa. A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitritos y amonio), los nitratos se acumulan en las vacuolas de los tejidos vegetales, donde tienen una función no específica, supliendo ácidos orgánicos y azúcares, actuando como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja. Las consecuencias de esta acumulación no están muy estudiadas y definidas, pero sí es suficientemente conocida su toxicidad en el organismo humano (Rincón *et al.* 2002).

2.2 CARACTERISTICAS DE LA UREA

La urea es una amida de ácido carbónico, es un fertilizante sólido con 46% de nitrógeno, aportando todo el nitrógeno en forma ureica; en esta forma la planta no puede tomarlo, por lo que debe pasarlo a forma amoniacal (NH_4) y después a forma nítrica (NO_3) mediante la enzima ureasa se produce la hidrólisis de la urea (Grupo Fertiberia, 2000). Chien *et al* (2001), menciona que el NH_4 al pasar a NO_3 libera iones H^+ que pueden producir acidez en el suelo, llamándose al proceso nitrificación. El proceso de hidrólisis de la urea se da como sigue:



El grupo DELBON (1999), menciona que las quemaduras foliares producidas por la urea, son causadas por el ion amoniacal en exceso, que provoca quemaduras en la epidermis de la hoja; por lo que, el biuret no causa ningún daño en la planta. Presentándose entonces las quemaduras, cuando la velocidad de hidrólisis de la urea libera el ion amoniacal antes que la absorba la hoja para su nitrificación. Además, señala que el biuret ($\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH} - \text{CO} - \text{NH}_2$), que es un carbamyl urea, se forma en el proceso de fabricación de urea, cuando ésta no es enfriada rápidamente. Sanford *et al.* (1954) por el contrario, señala que el biuret posee características tóxicas a plantas que son muy susceptibles a éste compuesto, cantidades mayores a 3% causan quemaduras. El contenido de biuret en la urea comercial actual, fluctúa alrededor del 0.3% y para aplicaciones foliares el contenido no debe ser mayor al 0.25%, denotando que el mayor problema producido por el biuret es en las semillas; siendo los cereales más tolerantes que otros cultivos (Overdahl *et al.* 1991).

El grupo Fertiberia (2000), destaca las ventajas del uso de urea en forma foliar por su alto contenido de nitrógeno que permite el empleo de dosis bajas, su alta solubilidad, no es

corrosivo ni obstruye boquillas, puede ser mezclado con otros productos fitosanitarios con previa evaluación y por bajo costo. Señala también, que la aplicación de urea foliar requiere de enzima ureasa, que se encuentra en los tejidos de las hojas. La ureasa produce la hidrólisis de la urea que se transforma en aminoácidos y proteínas, desde las hojas a otras partes de la planta; de esta forma, el nitrógeno aportado es aprovechado con mayor rapidez sin que se produzca pérdida de energía al ser transformado en otros productos intermedios.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de la urea.

Composición química	46-0-0
Fórmula química	(NH ₂) ₂ CO
Forma química del N	Ureico
Contenido de N	46%
Presentación	Granulado
Color	Blanco
Dureza	0.9 - 1.6 kg ¹
Gránulos > 2.36 mm	4 - 6%
2.36 - 1 mm	90%
< 1 mm	4 - 6%
Humedad	0.50%
Densidad aparente	0.75
Solubilidad a 25 °C	1.25 g/L
Biuret máximo	1.20%
Potencial de lavado	Moderado
Potencial de quemaduras	Alto
Respuesta a bajas temperaturas	Rápido
Efecto residual	Corto

¹ Presión para romper los granos

Fuente: Grupo Fertiberia (2000) y Grupo Profertil (2001), adaptado por el autor.

Señala ¹Keindar (2002), que la concentración de urea en el sistema de riego no debe ser mayor a 30%, para evitar problemas de corrosión en tuberías y boquillas; después de cada

¹ Keindar, A. 2002. Uso de urea en sistemas de fertirrigación (correo electrónico. CAMOSA, Honduras. Comunicación Personal

aplicación de urea, la tubería y sistema de inyección debe ser lavado, inyectando sólo agua por 10 minutos. En el Cuadro 1 se muestran las características físicas y químicas principales de la urea.

Gros (1971), señala que la urea puede ser aplicada en mezcla con insecticidas, fungicidas y herbicidas presentando en ocasiones mayores efectos de control (efecto potencializador); menciona también, que la urea a temperatura ambiente se disuelve a razón de 103 kg en 100 L de agua, aumentando 1 kg de urea 0.86 L de solución.

El grupo Disagro (2001), menciona que existe una compatibilidad limitada con superfosfato triple y superfosfato sencillo, ya que reaccionan formando agua, causando apelmazamiento; señala también, que es incompatible con nitrato de amonio, ya que en mezcla ambos presentan una humedad crítica relativa de 18% a 30⁰ C.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACION DE LA ZONA DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en los dos cuadrantes norte del sistema de riego del Pivote Central, del área de San Nicolás de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos (ZECE), propiedad de la Escuela Agrícola Panamericana, el Zamorano, ubicado a 32 km al sureste de Tegucigalpa, Departamento Francisco Morazán, Honduras.

El lote se encuentra a una altitud de 800 m.s.n.m. El área de cultivo posee una ligera pendiente del 2% y con una precipitación media anual de 1,100 mm, distribuidos de forma no uniforme entre los meses de junio a noviembre.

3.2 SUELO

3.2.1 Características químicas

Previo al estudio se realizó un análisis de suelo a una profundidad de 0-15 y 15-30 cm para determinar las características químicas del suelo, en cada uno de los lotes del ensayo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultado promedio del análisis de suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad, El Zamorano, Honduras.

Lote	pH	% M.O. ^a	N		P		K		Ca		Mg	
			%	kg/ha	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha
1	5.9	2.03	0.11	40	10	28	199	381	1,031	2,062	116	232
2	5.77	2.11	0.10	36	13	37	114	218	997	1,994	112	224
3	5.94	1.79	0.09	31	10	28	147	281	1,020	2,039	124	247
4	5.87	1.97	0.10	35	11	31	153	293	1,016	2,032	117	234

^a Materia Orgánica

3.2.2 Características físicas

Castillo (2001), menciona que las características físicas predominantes del suelo utilizado para el estudio son de textura franco, con transición franco/franco arcillo-arenoso. Señala además, que el porcentaje de arena, limo y arcilla es de 50-28-22 respectivamente, densidad aparente alta (1.33 g/cm³), profundidad efectiva de 45 cm y el pie de arado fluctúa entre los 20 y 40 cm de profundidad.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El área aproximada del ensayo fue de 24 hectáreas, de forma semicircular (Figura 1), destinada a la producción de semilla certificada de maíz, delimitada claramente por el recorrido del sistema de riego del pivote central; el cual fue dividido en 4 partes iguales con el uso de teodolito, marcando a los ángulos de 45°, 90°, 135° y 180°, tomados desde el centro del sistema de riego (Figura 1).

Se usaron parcelas de igual tamaño, ubicadas en zig-zag en los lotes del ensayo, realizando un muestreo sistemático, para obtener un total de 20 unidades experimentales por cada área de tratamiento. Las unidades experimentales fueron de 6 hileras por 5 metro de largo (24m² por parcela) (Figura 2), en donde se muestreó el contenido de nitrógeno foliar (cinco días después de realizadas las aplicaciones de nitrógeno foliar) y las reacciones fenológicas del cultivo (en todos los lotes de ensayo). Posteriormente se tomaron las dos hileras centrales de las parcelas de muestreo para evaluar rendimiento y sus componentes: plantas cosechadas, número de mazorcas por planta, peso promedio de la mazorca individual, porcentaje de desgrane, granos por kilogramo y rendimiento kg/ha. El monitoreo foliar, se realizó en cuatro ocasiones en cada uno de los lotes, pudiendo así evaluar la respuesta a las aplicaciones foliares de urea.

Las primeras muestras foliares (20 DDS) se tomó la hilera uno en la planta número 8 y la hilera 6 con plata número 6. Tomando la muestra en la quinta hoja de la planta, debajo de las que forman el cogollo, tomando en cuenta lo señalado por Domínguez (1997), para todas las extracciones foliares.

Después de terminada la aplicación foliar a los 40 DDS, cinco días después se tomó de las hileras 2 y 5, la muestra foliar de la planta número 3 y 7 respectivamente. Al igual que el anterior caso, se tomó la muestra en la hoja abajo del cogollo.

Terminada la aplicación de los 60 DDS y dejando pasar 5 días, se tomaron de nuevo de las hileras 1 y 6, la muestra foliar de las plantas 10 y 12 respectivamente. Aquí el cultivo ya tiene desarrollada la flor femenina y en algunas plantas existía desarrollo de mazorca, por lo que se tomaron las muestras en la hoja más próxima a la flor femenina o la mazorca.

A los 80 DDS y terminada la aplicación, cinco días después se tomaron las muestras de las hileras 2 y 5, las muestras foliares de las plantas número 2 y 14 respectivamente. A esta etapa, el cultivo ya tenía claramente desarrollada la mazorca, por lo que se tomó la muestra foliar en la hoja que envuelve a ésta.

Los números de planta de cada hilera en donde se tomó la muestra foliar, fueron escogidas al azar. Enviando las muestras foliares en grupos de cuatro parcelas, con un total de cinco muestras foliares por lote de ensayo, agrupando las parcelas en grupos de cuatro como sigue: de la 1-4, 5-8, 9-12, 13-16 y 17-20, para su análisis.

Figura 1. Croquis del área de ensayo (San Nicolás).

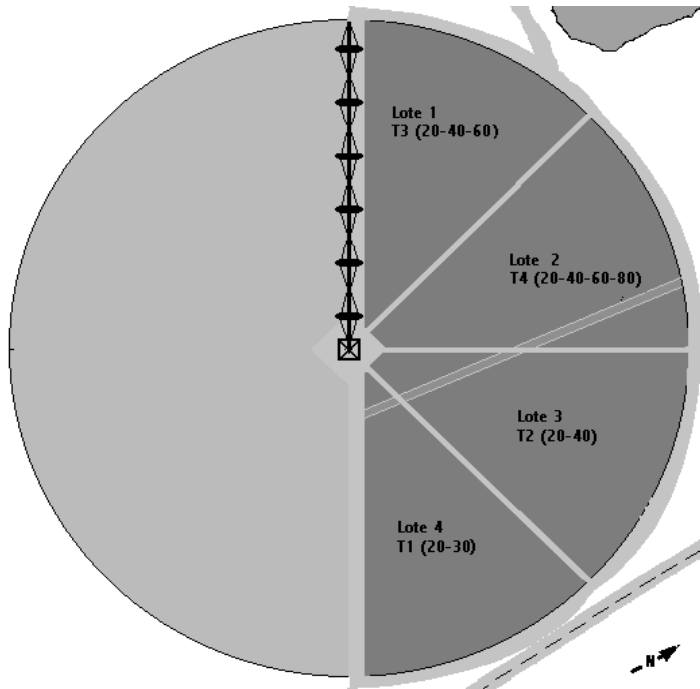
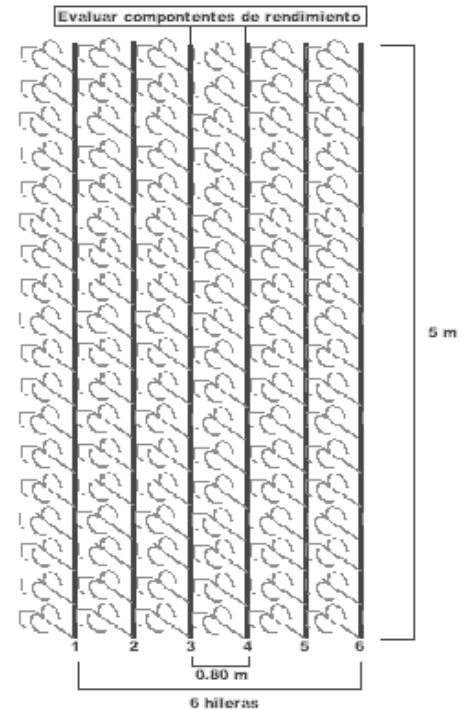


Figura 2. Diseño de la parcela de muestreo.



3.4 MATERIALES

3.4.1 Material genético

El material genético usado, fue la variedad de maíz HB-104, obtenida de la Dirección de Investigación y Tecnología Agropecuaria (DICTA), destinada para la producción y comercialización de semilla certificada y evaluaciones del ensayo, sembrada a una densidad de 56,000 plantas por hectárea (136 plantas por parcela de muestreo de 24 m²).

Después de realizado el análisis de suelo, se determinó la fertilización tomando en cuenta los tres macronutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio), el nitrógeno y el fósforo se encontraban deficientes, el potasio se encontraba en cantidades aceptables para el requerimiento utilizado, por lo que no fue necesaria la suplementación de este nutriente (Cuadro 3).

3.4.2 Fertilizantes utilizados

Se utilizaron dos tipos de fertilizantes:

- Se aplicó el fertilizante 18-46-0, a la siembra cubriendo todo el requerimiento de fósforo y parte del nitrógeno aportado por el tipo de fertilizante, a razón de 160 kg/ha.

- La urea (46-0-0), se utilizó para la suplementación del nitrógeno restante a la siembra (edáfica), posteriormente para las aplicaciones foliares suplementarias para cubrir el nitrógeno requerido por el cultivo.

Cuadro 3. Requerimiento del cultivo por hectarea según el programa de fertilización de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos, El Zamorano, Honduras.

Lote	Elemento	Requerimiento del cultivo		Aporte del Suelo		Cantidad a Suplir
		kg/ha		kg/ha		kg/ha
1	N	180	-	40	=	140
	P	100	-	28	=	72
	K	80	-	381	=	0
2	N	180	-	36	=	144
	P	100	-	37	=	63
	K	80	-	218	=	0
3	N	180	-	31	=	149
	P	100	-	28	=	72
	K	80	-	281	=	0
4	N	180	-	35	=	145
	P	100	-	31	=	69
	K	80	-	293	=	0

3.4.3 Sistema de riego

El sistema de riego utilizado fue el del pivote central de marca Zimmatic®, que consta de 7 torres, con una longitud total aproximada de 395 m, una descarga aproximada de 800 gal/min, presión nominal de trabajo de 25 psi, para cubrir un área aproximada de 50 ha de las cuales 25 hectáreas fueron utilizadas en el estudio. El tiempo que demora el sistema de riego es 72 horas (50 has) para toda el área de cultivo aplicando una lámina de 25 mm/ha.

El sistema de inyección constó de una bomba hidráulica de fertilización, marca AMIAD TMB 250L, la cual trabaja con presión mínima de 30 psi, inyectando 42 cm³/seg (a la presión del sistema de 25 psi).

3.5 MANEJO DEL ENSAYO

3.5.1 Preparación del terreno

Previo a realizar el ensayo, se hizo un pase de chapiadora para picar el rastrojo del cultivo anterior existente en el terreno; luego se realizó un pase de rastra pesada, incorporando la materia orgánica y rompiendo el suelo; para luego hacer un pase de rastra liviana, dejando así mullido el suelo listo para la siembra.

3.5.2 Siembra

La siembra se la realizó con la sembradora de vacío John Deere 1750 , a una distancia de 0.8 m entre hileras, calibrada a una densidad teórica de 56,818 plantas por hectárea a 0.22 m entre plantas.

La fecha de siembra de la parte alta del cuadrante fue el 17 de julio de 2002, la parte baja del dique el 24 de julio y la parte más baja una semana más tarde (24 de julio). La germinación fue uniforme en todas las siembras a los 7 DDS.

3.5.3 Fertilización

La fertilización se realizó conforme se describe en cada uno de los tratamientos.

3.5.4 Control de malezas

Para el control de gramíneas y hojas anchas se usaron los herbicidas preemergentes Lazo (*Alachlor*) en mezcla con Gesaprin (*Atrazina*), a una dosis de 2 L/ha y 1.34 kg/ha respectivamente, en 300 L/ha de mezcla aplicando con el boom.

3.5.5 Manejo fitosanitario

Al momento de la siembra se hizo una aplicación de Furadan (*Carbamato*), para el control de plagas de suelo, a razón de 200cc por saco de semilla de 44 lb. A los 15 DDS se hizo una aplicación de Lorsban (*Clorpyrifos*), que es un insecticida de amplio espectro, usado para el control de gusano cogollero (*Sp. frujiperda*), aplicado a 1 L/ha de ingrediente activo, utilizando 300 L/ha de solución.

3.5.6 Riego

A pesar de que el ensayo se realizó en la época de lluvia, se realizaron las aplicaciones del fertilizante foliar a través del sistema de riego, aplicando láminas de 46 a 73 mm, dependiendo del tratamiento.

En los primeros días del cultivo fue necesaria la utilización del sistema de riego como suplementación hídrica, debido a las necesidades del cultivo y la falta de lluvias, luego sólo se utilizó el sistema de riego para las aplicaciones foliares.

3.5.7 Cosecha

Se realizó manualmente, cuando el grano tenía 30% de humedad, para asegurar la calidad de la semilla principalmente la germinación. El área de cosecha fue las dos hileras centrales de la parcela de muestreo de cinco metros de largo cada una.

3.5.8 Secado

Luego de cosechadas las muestras del tratamiento 4 y 3 se secaron al sol hasta llegar a un contenido promedio de humedad del 12.5%; las muestras del tratamiento 2 y 3 se colocaron por 4 días en la secadora de la planta de semillas de la ZECE, hasta bajar la humedad de 13%. Seguido a esto, se desgranó y se procedió a tomar los datos para analizar las variables de rendimiento y sus componentes.

3.6 TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron formulados a partir del análisis de suelo que se hizo en los cuatro lotes del ensayo y de los requerimientos nutricionales del cultivo. El fósforo fue aplicado el 100% a la siembra; el potasio no fue necesario hacer aplicaciones ya que el contenido en el suelo no lo ameritaba.

Los resultados obtenidos por Castillo (2001), indican que la urea utilizada como fuente de nitrógeno y suplementado vía foliar se obtuvieron resultados favorables en la productividad del cultivo de maíz en comparación a la fertilización tradicional y otros fertilizantes como al ácido fosfórico y nitrato de amonio aplicados vía foliar; por lo cual para este estudio el nitrógeno fue el elemento que se fraccionó en diferentes días después de la siembra (DDS) suplementado con base en de urea vía foliar, siendo el fraccionamiento del nitrógeno la base del estudio y su influencia en los componentes del rendimiento.

Castillo (2001), señala que suplementación del 25% del nitrógeno requerido por el cultivo a la siembra con el 100% del fósforo; y el 75% suplementado vía foliar a los 20-40, 20-40-60 y 20-40-60-80 DDS, fueron los tratamientos que produjeron mejores resultados tanto técnicos como económicos. Todos estos tratamientos se compararon con la fertilización tradicional que realiza la Zamoempresa, que consiste en la aplicación del 25% del total de nitrógeno al momento de la siembra y el 75% restante aplicado a los 30 DDS por medio del aporque.

Por la variabilidad del suelo, el contenido de los nutrimentos no es igual para todos los lotes de ensayo; por lo que se decidió estandarizar, aplicando 159 kg/ha de 18-46-0 (3.5 qq/ha), para suplir los requerimientos totales de fósforo y el 25% de nitrógeno requerido a la siembra para todos los tratamiento, mientras que el nitrógeno se restante se aplicó según los requerimientos, siendo diferentes para cada tratamiento. En el Cuadro 4 se muestran la descripción de los tratamientos evaluados.

3.6.1 Tratamiento 1 (T1 fertilización tradicional)

Este tratamiento se aplicó al Lote 4 del estudio, para un área de 6 ha, en donde se probó el manejo tradicional de fertilización efectuado por la Zamoempresa, aplicando el 100% del fósforo y el 25% del nitrógeno al momento de la siembra y el 75% de nitrógeno restantes se lo aplicó a los 30 DDS al suelo de forma manual no mecánica por las

condiciones de humedad en el suelo no lo permitieron, esta aplicación equivalente a 295 kg de urea/ha (6.5 qq/ha).

Cuadro 4. Descripción de tratamientos en porcentaje de aplicación, kg/ha a aplicar y días de fraccionamiento, El Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Elemento	DDS											
		0 ^a		20		30 ^a		40		60		80	
		%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
T1 ¹	N	25	36.25			75	108.8						
	P	100	100										
T2 ²	N	25	37	38	56			38	56				
	P	100	100										
T3 ³	N	25	35	25	35			25	35	25	35		
	P	100	100										
T4 ⁴	N	25	36	19	27			19	27	19	27	19	27
	P	100	100										

DDS Días después de la siembra

^a Fertilizante aplicado al suelo

¹ Fertilización tradicional

² N foliar aplicado a los 20 y 40 DDS

³ N foliar aplicado a los 20,40 y 60 DDS

⁴ N foliar aplicado 20,40,60 y 80 DDS

3.6.2 Tratamiento 2 (N 20-40 DDS)

Este tratamiento se aplicó al Lote 3, en donde se evaluó la aplicación de urea foliar a los 20-40 DDS, aportando el 75% de nitrógeno necesario para el desarrollo del cultivo en estas dos fechas; la aplicación del 100% de fósforo y el 25% de nitrógeno se realizó al momento de la siembra.

La cantidad requerida por el cultivo fue de 67.5 kg/ha de nitrógeno a los 20 y 40 DDS, el cual se aplicó de forma foliar a razón 147 kg/ha de urea (3.3 qq/ha) por época de fraccionamiento; supliendo así los requerimientos totales de nitrógeno a los 40 DDS.

3.6.3 Tratamiento 3 (N 20-40-60 DDS)

Se aplicó este tratamiento en el Lote 1, aplicando la urea en forma foliar a los 20, 40 y 60 DDS, aportando el 75 % del nitrógeno restante en estas tres épocas de aplicación.

La cantidad aplicada fue de 45 kg/ha de nitrógeno, a razón de 98 kg/ha de urea (2.15 qq/ha) por época de fraccionamiento, supliendo así el 75% de nitrógeno requerido después de la siembra; satisfaciendo así los requerimientos del cultivo a los 60 DDS.

3.6.4 Tratamiento 4 (N 20-40-60-80 DDS)

Se aplicó éste tratamiento en el Lote 2, con aplicaciones foliares de urea a los 20,40,60 y 80 DDS, aportado así el 75 % del nitrógeno restante.

Cuadro 5. Descripción de la cantidad de fertilizante, número de pases, volumen de solución, tiempo de riego y lámina de riego a aplicar en forma foliar por tratamiento, El Zamorano, Honduras.

Descripción	Lote 3	Lote 1	Lote 2	Unidad
	T2 ²	T3 ³	T4 ⁴	
Área de tratamiento	6.0	6.0	6.0	ha
N (75%)	135.0	135.0	135.0	kg/ha
Urea foliar	293.0	293.0	293.0	kg/ha
	1761.0	1761.0	1761.0	kg/6ha
	38.7	38.7	38.7	qq/6ha
Fraccionamiento	2.0	3.0	4.0	aplicaciones
Urea/fraccionamiento	19.4	12.9	9.7	qq
Agua/qq urea	50.0	50.0	50.0	L agua
Pases	2.0	2.0	1.0	
Urea/pases	9.7	6.5	9.7	qq
Volumen de urea	379.2	254.1	379.2	L
Volumen de solución	864.2	579.1	864.2	L
Tiempo en inyectar 100 L	40.0	40.0	40.0	min
Tiempo de riego	5.76	3.86	5.76	horas
Lámina a aplicar/pase	0.20	0.14	0.20	mm

² N foliar aplicado a los 20 y 40 DDS

³ N foliar aplicado a los 20,40 y 60 DDS

⁴ N foliar aplicado 20,40,60 y 80 DDS

La cantidad requerida fue de 33.8 kg/ha de nitrógeno por época de fraccionamiento para suplir el 75% del nitrógeno faltante; por lo que se hicieron aplicaciones de 74 kg/ha de urea (1.6 qq/ha), para suplir los requerimientos del cultivo, realizando al última aplicación a los 80 DDS.

El cuadro 5 describe con detalle las cantidades de fertilizante, tiempos de riego y láminas a aplicar por cada uno de los tratamientos foliares a evaluar.

3.7 VARIABLES

3.7.1 Fenológicas:

- Días a floración masculina y femenina; tomado desde la fecha de siembra hasta que el 50% del cultivo tenga diferenciadas las flores masculinas y femeninas.
- Días a madurez fisiológica al tener el grano la presencia del punto de inserción, midiéndolo por medio de apreciación visual.

- Contenido de nitrógeno en las hojas, el cual fue medido a los 25, 45, 65 y 85 DDS en cada uno de los lotes.
- Altura de la mazorca, medida al momento de la cosecha.
- Altura de plantas, tomada desde el nivel del suelo a la base de la flor masculina.

3.7.2 Componentes de rendimiento:

- Número de plantas cosechadas.
- Número de mazorcas por planta.
- Peso promedio de la mazorca individual.
- Porcentaje de desgrane.
- Rendimiento en kg/ha con un contenido de 13% de humedad.
- Tamaño del grano, número de semillas por kilogramo.

3.7.3 Evaluación económica de los tratamientos:

- Relación costo-beneficio
- Rentabilidad de entre los tratamientos evaluados

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 VARIABLES FENOLOGICAS

Por medio del análisis estadístico se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), indicando, que el comportamiento del cultivo no fue uniforme para todos los tratamientos evaluados; las diferentes condiciones que pudieron existir en el terreno y el manejo agronómico que se proporciono al cultivo influyeron en los resultados obtenidos en el estudio, afectando las variables fenológicas (Cuadro 6).

Al realizar el análisis estadístico para las fechas de siembra, tomando en cuenta que los tratamientos 1 y 2 se sembraron una semana después de los tratamientos 3 y 4, se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$), mostrando el efecto de la fecha de siembra en las variables fonológicas medidas, ya sea por efectos ambientales o por el manejo agronómico dado al cultivo.

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de fertilización foliar sobre la fenología del maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002

Tratamiento	Días a floración		Altura de planta (m)	Altura de mazorca ^a (m)	Acame de raíz (%)
	Masculina	Femenina			
T1 ¹	55	62	2.34d	1.37c	8.28a
T2 ²	55	62	2.53c	1.54b	6.25a
T3 ³	61	67	2.74b	1.72a	3.59b
T4 ⁴	61	67	2.68a	1.68a	3.75b

^a Altura tomada con referencia a la primera mazorca

¹ Fertilización tradicional

² N foliar aplicado a los 20 y 40 DDS

³ N foliar aplicado a los 20,40 y 60 DDS

⁴ N foliar aplicado 20,40,60 y 80 DDS

Números seguidos por letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)

Los días a floración masculina no presentaron diferencia estadística significativa ($P < 0.05$), mostrando un comportamiento similar a los días de madurez fisiológica, lo cual

indica que los tratamientos no afectaron estas variables, permaneciendo igual para los cuatro tratamientos evaluados, llegando a madurez fisiológica entre los 59-62 días después de la floración masculina (55-61 DDS). Posiblemente los factores ambientales y de manejo no afectaron a estas variables, ya que son altamente influenciadas por el genotipo.

La variable altura de planta mostró un ajuste de los datos alto ($R^2=0.70$), con un coeficiente de variación bajo ($CV=3.5$); mostrando datos similares la variable altura de mazorca ($R^2=0.71$; $CV=5.6$); un ajuste más bajo ($R^2=0.17$) y un coeficiente de variación alto ($CV=16.24$) se presentó en la variable número de mazorcas por planta, demostrando una confiabilidad de los datos obtenidos en el experimento, denotando un buen manejo del ensayo.

Los datos de coeficiente de variación más altos se presentaron en la variable acame de la raíz ($CV=68.21$) con un ajuste bajo ($R^2=0.22$), indicando que el ensayo no fue bien llevado con resultados erráticos, debiéndose en parte a que no se realizó aporque de las plantas, efectos ambientales como son los vientos fuertes, distribuciones irregulares y densidades menores de plantas facilitó que el aire circule con mayor facilidad dentro del cultivo y ocasione mayores daños en las plantas.

Según la Escuela Agrícola Panamericana y Duwest (2001), señalan que la altura promedio de la planta es de 2-2.2 m y de la primera mazorca es de 1.2 m, siendo estas alturas más bajas a las obtenidas en los ensayos evaluados. En lo que no se detectaron variaciones fue en los días floración masculina y femenina como en los días a madures fisiológica. Se menciona también, que el número de mazorcas por planta que es de uno, siendo este valor mayor a los obtenidos en el ensayo.

4.2. Contenidos de nutrientes

El contenido de nitrógeno foliar, el cual fue monitoreado a los 20, 40, 60 y 80 DDS (5 días después de las aplicaciones de fertilizante foliar), se mantuvo por debajo de los parámetros normales a lo largo del ciclo del cultivo (Gráfico 1). Los mayores contenidos de nitrógeno en el follaje mostrados fueron a los 20 DDS, con una reducción marcada hasta llegar a los 80 DDS, con excepción del tratamiento 2, en donde el contenido de nitrógeno foliar no presenta una reducción marcada con referencia a los otros tratamientos evaluados. Los contenidos de potasio en el follaje se mantuvieron dentro de los parámetros permisibles (Anexo 1), a excepción del tratamiento 1 (fertilización tradicional), que presentó a los 80 DDS contenidos por debajo de los parámetros normales; denotando una absorción baja de este elemento (Anexo 2), a pesar de la abundancia de este elemento, en vista del origen volcánico de los suelos.

Comportamientos similares se presentan en los contenidos de fósforo foliar como edáfico. La baja bala absorción de potasio y fósforo se puede deber a lo señalado por Potash & Phosphate Institute (2000), quien denota la interacción positiva (sinergismo) del nitrógeno con el fósforo y potasio, entonces, las concentraciones altas en el suelo o las suplantaciones de estos dos macroelementos al cultivo, no van a tener ningún efecto en la

respuesta si el nitrógeno es un elemento limitante en el sistema de producción, como es el caso particular del ensayo. A este efecto puede sumarse las altas concentraciones de calcio en el suelo, el cual tiene un efecto antagónico con el fósforo, produciendo precipitados insolubles en el suelo por la afinidad de cargas (Altamirano, 2002).

La reducción del contenido de nitrógeno en el follaje se puede deber a lo señalado por el Potash & Phosphate Institute (2000), el cual menciona que la absorción de nitrógeno es máxima a los 45 DDS. Además, Salazar (1990), señala que a partir de los 15 DDS comienza a aumentar la velocidad de absorción del nitrógeno hasta la formación de la flor masculina, extrayendo ya el 60% del nitrógeno requerido; al aparecer la flor femenina, la absorción disminuye y el nitrógeno acumulado en el follaje es movido al grano.

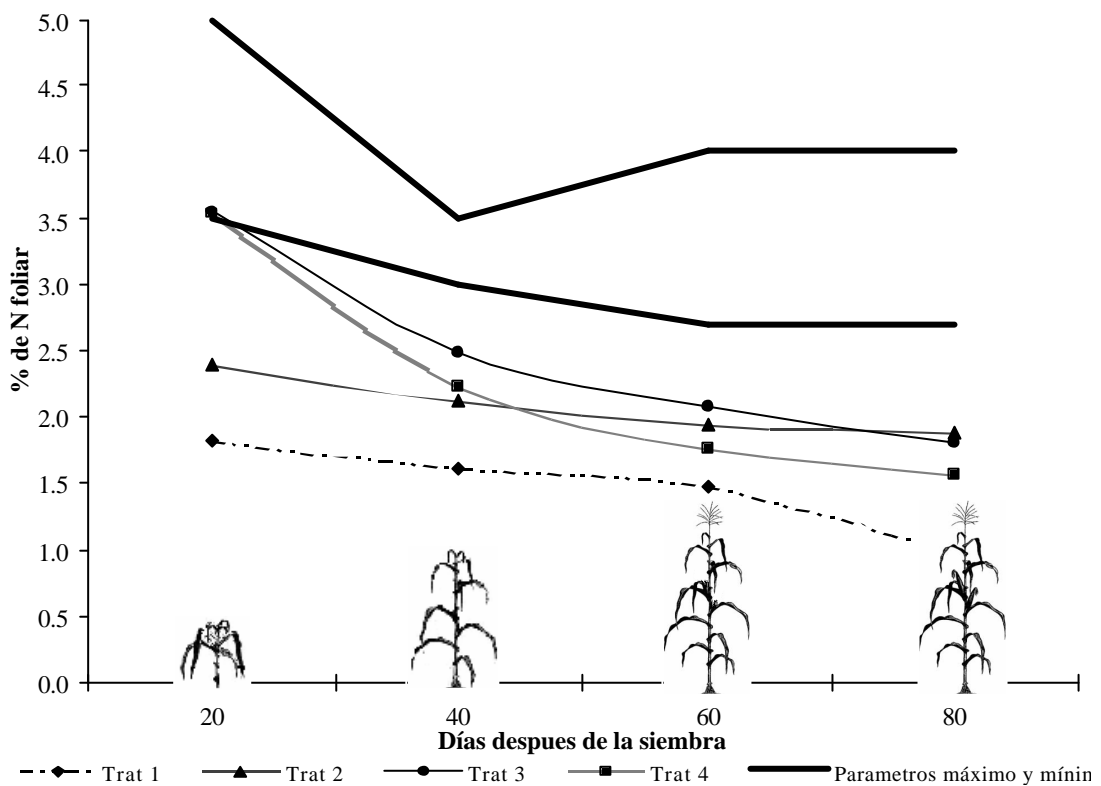


Gráfico 1. Contenido de nitrógeno foliar a lo largo del ciclo de cultivo de maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002.

Con los resultados obtenidos en el análisis de suelo, realizados antes de la siembra y después de la cosecha de maíz (Gráfico 2), se pudo observar que el contenido de nitrógeno en el suelo fue mayor al finalizar el ensayo en los tratamientos 2, 3 y 4; al hacer relación con el contenido de nitrógeno foliar el cual no estuvo dentro del rango adecuado a lo largo del ciclo, denotando una baja absorción de este elemento.

La diferencia en el contenido de nitrógeno en el suelo, en el tratamiento 1 (fertilización tradicional), al final del ciclo de cultivo no fue considerable; manifestando, al igual que en los tratamientos anteriores, niveles de nitrógeno foliar por debajo de lo óptimo, lo cual denota una baja absorción ya sea por la presencia alta de malezas, las cuales compiten por espacio y nutrientes con el cultivo; o por el efecto del fraccionamiento que al dosificar el nitrógeno requerido en varias aplicaciones, la planta se vuelve más eficiente. Los resultados de pH, materia orgánica, fósforo y potasio previos a la siembra versus los obtenidos después de la cosecha se muestran en el anexo 2; los cuales manifiestan comportamientos similares a los observados con el nitrógeno.

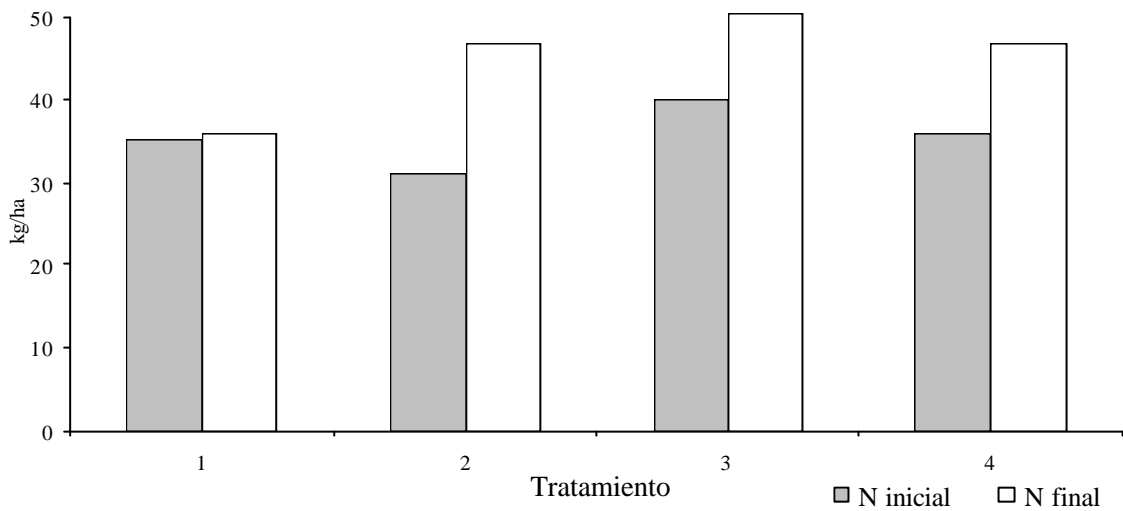


Gráfico 2. Contenido de nitrógeno en el suelo antes de la siembra y después de la cosecha de maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002

Las cantidades altas de nitrógeno en el suelo al final del cultivo en los tratamientos donde se fraccionó éste elemento foliarmente (tratamientos 2, 3 y 4), mostraron un bajo aprovechamiento por el follaje de las plantas, mostrando un efecto de escurrimiento de la solución al suelo; debiéndose probablemente a:

- Tamaño de la gota de agua, ya que las boquillas utilizadas para el riego presentan un tamaño de gota no adecuada para una aspersión foliar (fertirrigación) y la presión a la que trabaja el sistema actual de bombeo (25 psi). Por lo que se debe de buscar un sistema de boquillas, el cual permita obtener un tamaño de gota más pequeño lo cual aumentaría los requerimientos de presión en el sistema, permitiendo aumentar la eficiencia del sistema y de las aspersiones foliares.
- Volumen del agua utilizada, debido a que no se pudo dosificar haciendo uso de menores cantidades de agua por la presión a la que trabaja el sistema de riego, que es el mínimo de presión con el cual puede funcionar el sistema de inyección utilizado.
- Desarrollo foliar en las diferentes etapas, tomando en cuenta que las primeras aplicaciones se hicieron cuando el cultivo tenía 7 hojas (20 DDS), en donde el

porcentaje de cobertura no es mayor al 20%, lo que implica que la mayor cantidad de producto aplicado no fue retenido en el follaje de la planta para luego ser absorbido, llegando directamente al suelo. El porcentaje de cobertura va aumentando con la etapa de crecimiento del cultivo, por lo que el porcentaje de cobertura y la eficiencia de aplicación van en aumento.

- El maíz, por su naturaleza, tiene hojas serófilas lo cual limita la retención de los productos aplicados foliarmente; la presencia de vellos en las hojas limita el área de contacto y la eficiencia de aplicación (Salazar, 1990). La posición de la hoja también afecta la retención del producto en el follaje.

4.3 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

4.3.1 Rendimiento

Los tratamientos mostraron efectos sobre el rendimiento ($P < 0.05$). El coeficiente de variación fue considerable ($CV = 34.1$), lo que indica una baja confiabilidad de los datos por la variabilidad entre los tratamientos, con un ajuste al modelo lineal alto ($R^2 = 0.57$). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 7. Los tratamientos 4 y 3 son estadísticamente iguales ($P < 0.05$), con los rendimientos más altos en comparación a los otros tratamientos; mostrando que los tratamientos en donde se hizo el mayor número de fraccionamientos se obtuvieron los mejores resultados de rendimiento, pudiendo deberse a que las aportaciones de nitrógeno son oportunas en las etapas más críticas de desarrollo del cultivo en la floración, formación y llenado de grano.

Para el análisis estadístico del rendimiento se realizó un análisis de covarianza, debido a la desuniformidad de plantas por hectárea al momento de la cosecha que se obtuvo en los diferentes tratamientos, influenciado por una costra superficial del terreno provocado por la preparación de suelo y época de siembra (lluviosa) afectando el establecimiento del cultivo. Otro factor que pudo influenciar en la densidad de plantas por hectárea es la presencia de malezas, las cuales compitieron con el cultivo por nutrientes y espacio, limitando el potencial de desarrollo y producción de la variedad, mermando considerablemente los rendimientos alcanzados en el ensayo; debiéndose a que no se realizaron deshierbas para complementar el efecto de los herbicidas utilizados, siendo más afectados los lotes en donde se evaluaron los tratamientos 1 y 2 y en donde se obtuvieron los rendimientos más bajos.

Debido a que las densidades de plantas por tratamiento no eran iguales, se ajustaron los rendimientos según el número de plantas cosechadas por cada tratamiento, por la influencia que había de la población sobre el rendimiento y poder comparar los rendimientos absolutos obtenidos por cada tratamiento.

4.3.2 Peso promedio de mazorcas

Para esta variable no se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$) entre los tratamientos, un ajuste extremadamente bajo ($R^2 = 0.064$) y un coeficiente de variación supremamente alto ($CV = 106.3$) lo que denota una baja confiabilidad en los datos, con un peso promedio general de 166 g.

4.3.3 Porcentaje de desgrane

No mostró diferencia estadística significativa entre tratamiento ($P < 0.05$), un ajuste bajo ($R^2 = 0.063$) y un coeficiente de variación bajo ($CV = 9.31$), un promedio general de 78%.

Cuadro 7. Efecto del sistema de fertilización sobre el rendimiento y sus componentes en maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002.

Tratamiento	Promedio plantas / ha	Rendimiento (kg/ha)	No. de mazorcas por planta	Peso de mazorca (g)	No. de granos por kg	% de desgrane
T1 ¹	43,750	1,630.8 b	0.45 c	122	4,047 a	79%
T2 ²	41,875	1,920.1 b	0.45 c	241	3,893 a	76%
T3 ³	49,325	4,584.3 a	0.77 b	159	3,456 b	81%
T4 ⁴	49,230	4,599.1 a	0.90 a	143	3,513 b	77%

- ¹ Fertilización tradicional
² N foliar aplicado a los 20 y 40 DDS
³ N foliar aplicado a los 20,40 y 60 DDS
⁴ N foliar aplicado 20,40,60 y 80 DDS

Números seguidos por letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)

4.3.4 Número de mazorcas por planta

Se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$), mostrando que en el tratamiento 4, en donde se hizo el mayor número de fraccionamientos, se alcanzó el mayor número de mazorcas por planta. Se mostró un ajuste medio ($R^2 = 0.51$) y un coeficiente de variación alto ($CV = 30.65$). En esta variable se encontró que los tratamientos con más altas densidades de plantas obtuvieron mayor número de mazorcas por planta y los mayores rendimientos, lo cual muestra un marcado efecto de las malezas en los tratamientos 1 y 2, en donde se manifestó claramente la competencia de éstas con el cultivo.

4.3.5 Tama ño del grano

Medido en número de granos por kilogramo. Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$), indicando que el mayor número de granos por kilogramo se obtuvo para el tratamiento 1 y 2, lo que indica que los granos son más livianos que para los otros tratamientos; lo que nuevamente muestra un efecto de competencia de las malezas. El ajuste de los datos es bajo ($R^2 = 0.34$) y un coeficiente de variación aceptable ($CV = 9.54$), señalando un buen manejo del ensayo, por el coeficiente de variación bajo.

Señala la Escuela Agrícola Panamericana y Duwes (2002), que el peso de los granos por kilogramo es de 3148, siendo este valor más bajo que lo obtenido en los tratamientos evaluados.

4.4 ANALISIS ECONOMICO

En el cuadro 8 se indican las rentabilidades obtenidas a partir del análisis costo beneficio. En los tratamientos 3 y 4 fue donde se obtuvieron las rentabilidades más altas (159%) por tener mayores rendimientos, con un ingreso neto de 386% más alto respecto a al tratamiento de fertilización tradicional (tratamiento 1) y 102% respecto a lo presupuestado por la Zamoempresa; los costos fueron más altos que los presupuestados y los hechos en la fertilización tradicional (18% y 68% respectivamente) por un mayor uso de maquinaria. Las rentabilidades obtenidas para los tratamientos 1 y 2 son similares, siendo las más bajas del estudio, debido principalmente a los rendimientos obtenidos.

Las variantes en los costos de los insumos se da por las cantidades que se hicieron uso, principalmente en los tiempos de fertirrigación hecho con el pivote central. Con respecto a lo presupuestado por la Zamoempresa, las variantes en costos se debieron a labores que se presupuestaron y no se realizaron e insumos que no se aplicaron, como es el uso de insecticidas, que por la baja incidencia de plagas las aplicaciones se redujeron a la mitad.

En el tratamiento 2 y 3, a pesar de tener menor número de fraccionamientos, el uso del sistema de riego fue igual al del tratamiento 4, debido a la capacidad del sistema de inyección, por lo que los costos de maquinaria son similares.

Los costos de procesamiento varían entre tratamiento y lo presupuestado por la Zamoempresa, debido a la cantidad de producción obtenida; siendo los costos sobre unidad producida más elevados para lo que se presupuestó y los tratamientos 1 y 2.

Cuadro 8. Estado de resultados de los tratamientos evaluados en la producción de maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002.

Descripción	Costo / ha				
	Presupuestado	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Trat. 4
Maquinaria	L. 5,948 32%	L. 5,178 28%	L. 7,178 39%	L. 7,178 39%	L. 7,178 39%
Insumos	L. 4,306 23%	L. 2,333 13%	L. 2,333 13%	L. 2,333 13%	L. 2,333 13%
Mano de Obra	L. 1,500 8%	L. 1,600 9%	L. 1,600 9%	L. 1,600 9%	L. 1,600 9%
Procesamiento	L. 6,634 36%	L. 3,733 20%	L. 4,396 24%	L. 10,495 57%	L. 10,529 57%
Costo/ha	L. 18,388	L. 12,844	L. 15,507	L. 21,606	L. 21,640
Producción qq/ha	48	27	32	76	76
	16	9	11	25	25
Costo/qq	L. 287	L. 357	L. 361	L. 214	L. 214
Precio/qq	L. 700	L. 700	L. 700	L. 700	L. 700
	L. 120	L. 120	L. 120	L. 120	L. 120
Ingreso Bruto/ha	L. 35,520	L. 19,980	L. 23,720	L. 56,200	L. 56,200
Ingreso Neto/ha	L. 17,132	L. 7,136	L. 8,213	L. 34,594	L. 34,560
Rentabilidad	93%	56%	53%	160%	160%

5. CONCLUSIONES

- Las aplicaciones foliares de nitrógeno no afectaron las variables fenológicas de días a floración masculina y femenina; sí alterando otras variables, como la altura de planta, altura de la primera mazorca y el porcentaje de acame de raíz. Las plantas no presentaron daños causados por las aplicaciones foliares, tampoco influyeron en la senescencia de la planta presentando un desarrollo normal a lo largo del ciclo de cultivo.
- La absorción de nitrógeno se vio limitada a lo largo del ciclo del cultivo para todos los tratamientos en donde se aplicó el nitrógeno foliarmente, presentando contenidos foliares por debajo de los parámetros óptimos; éste efecto fue menor para los tratamientos en donde se fraccionó el nitrógeno vía foliar a los 20-40-60 y 20-40-60-80 días después de la siembra (tratamiento 3 y 4 respectivamente). Se determinó además, que los niveles de nitrógeno en el suelo fueron más altos al final de ciclo del cultivo con los niveles al momento de la siembra, lo cual denota los bajos niveles de absorción de la planta y acumulaciones de nitrógeno en el suelo.
- Las aplicaciones foliares de nitrógeno en los fraccionamientos de 20-40-60 y 20-40-60-80 días después de la siembra (tratamiento 3 y 4), presentaron una mayor altura de planta, altura de la primera mazorca y un menor acame de raíz, lo cual se manifiesta en un mayor peso de mazorca y peso del grano mostrando un mayor rendimiento por área del cultivo.
- Las aplicaciones foliares de nitrógeno a los 20-40-60 y 20-40-60-80 días después de la siembra, presentaron una mayor ganancia económica sobre los costos sobre la ganancia obtenida con la fertilización tradicional hecha por la Zamoempresa.
- Los rendimientos obtenidos por los tratamientos de fertilización tradicional y fraccionamientos del nitrógeno a nivel foliar a los 20-40 días después de la siembra (tratamiento 1 y 2 respectivamente), no presentaron diferencia estadística significativa, siendo menos rentables que las suplementaciones de nitrógeno con el mayor fraccionamiento (tratamiento 3 y 4).
- El sistema de pivote central puede ser utilizado en las aplicaciones foliares de urea a nivel foliar, presentando limitación de presión y de cobertura de las boquillas

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar las aplicaciones complementarias de nitrógeno después de la fertilización edáfica a los 20-40-60 o 20-40-60-80 días después de la siembra a niveles comerciales a mayor escala, que mostraron para las condiciones del estudio los mejores resultados tanto agronómicos como económicos.
- Evaluar con mayor precisión las aplicaciones de nitrógeno vía foliar en épocas tempranas, como es a los 20 días después de la siembra, debido a la baja cobertura del cultivo.
- Realizar las labores complementarias al uso de herbicidas (fecha de siembra, cultivada y desmalezado), en las épocas adecuadas, que para éste estudio no se realizaron , por lo que no se pudo estimar con exactitud el efecto real de los fraccionamientos de cada tratamiento y las aplicaciones foliares de urea.
- Determinar el tipo de boquillas, altura de las boquillas y presión del sistema de riego que permita una mejor cobertura del follaje de la planta (dependiendo de la etapa de crecimiento del cultivo), con un menor consumo de agua y menor tiempo de aplicación por área.
- Evaluar mayor número de fraccionamientos de nitrógeno a base de urea de los utilizados en el estudio, como el uso de surfactantes que puedan contribuir a una mayor eficiencia en la absorción por parte del cultivo a las aplicaciones foliares.
- Realizar monitoreos de absorción del cultivo de micro y macro elementos que son aplicados o están presentes en el suelo, para determinar si existe algún tipo de sinergismo o antagonismo entre los elementos, permitiendo mejorar la eficiencia en las aplicaciones complementarias de los nutrientes.
- Por lo resultados obtenidos, se recomienda la aplicación de urea con fraccionamientos a los 20, 40, 60 y 80 días después de la siembra, ya que con el uso del pivote central se puede hacer mayores fraccionamientos del nitrógeno requerido por el cultivo con menores volúmenes de agua, menor saturación del suelo y una mayor eficiencia en la cobertura de la solución aplicada al cultivo, evitando el escurrimiento de la solución al suelo. Tampoco se debe olvidar las labores culturales que el cultivo necesita, como es la escarificación a los 30 días después de la siembra y mejorar el sistema de siembra para evitar los daños de maquinaria al apisonar la semilla sembrada principalmente en los bordes.

- Evaluar el uso del sistema de pivote central en las aplicaciones de productos fitosanitarios, tomando en cuenta las medidas de seguridad para el manejo de estos productos, la cobertura, el recorrido el sistema y los volúmenes de aplicación.

7. BIBLIOGRAFIA

ALTAMIRANO, S. 2002. Las bases técnicas del fertirriego (en línea). Consultado el 5 de noviembre del 2002. Disponible en http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11_4.htm

CASTILLO SIRIAS, M. 2001. Evaluación de alternativas de fertilización foliar con macro nutrientes en maíz. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 24p.

CHIEN, S.; GEARHART, M.; COLLAMER, D. 2001. Los fertilizantes nitrogenados y la acidificación del suelo (en línea). Consultado el 20 de octubre del 2002. Disponible en <http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Los%20Fertilizantes%20Nitrogenados%20y%20la%20Acidificacion%20del%20Suelo.htm>

DOMÍNGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. 3 ed. Madrid España, Ediciones Mundí-Prensa. 389 p.

ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA; DUWEST. 2001. Información general maíz variedad HB-104. Tegucigalpa, Honduras (folleto).

FERRARIS, G. 2001. Nutrientes absorbidos por los cultivos pampéanos (en línea). Disponible en <http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Nutricion%20-%20La%20Cosecha%20que%20se%20lleva%20el%20Carreton%20del%20Lote.htm>

GROS, A. 1971. Abonos guía practica de la fertilización. 5 ed. Madrid España, Ediciones Mundí-Prensa. 526 p.

GRUPO DELBON. 1999. Solución de urea enriquecido con aminoácidos para pulverización foliar (en línea). Consultado el 25 de Julio de 2002. Disponible en <http://www.delbon.com/biblio/doc-html/UreeProt-sp.html>

GRUPO DISAGRO. .2001. Urea (en línea). Consultado el 12 de noviembre de 2002. Disponible en <http://www.disagro.com/productosyservicios/fertilizantes/urea.htm><http://www.disagro.com/productosyservicios/fertilizantes/urea.htm>

GRUPO FERTIBERIA. 2000. Características detalladas de urea (en línea). Consultado el 24 de septiembre de 2002. Disponible en http://www.fertiberia.com/productos/catalogo/abonos_simples/Urea_4.html

GRUPO FERTIBERIA. 2000. Urea cristalina (en línea). Consultado el 24 de septiembre de 2002. Disponible en http://www.fertiberia.es/productos/nuevos_productos/urea_cristalina.html

GRUPO PROFERTIL. 2000. Urea granulada (en línea). Consultado el 17 de julio de 2002. Disponible en <http://www.profertil.com.ar/quees.htm>

LARRAÍN, P. 2002. Nueva generación de fertilizantes nitrogenados con inhibidor de la nitrificación (en línea). Consultado el 10 de agosto de 2002. Disponible en http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11_8.htm

OCÉANO, 2000. Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Barcelona, España. 1028 p.

OVERDAHL, C.; REHM, G.; MEREDITH, H. 1991. Fertilizer urea (en línea). Consultado el 13 de mayo de 2002. Disponible en <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0636.html>

POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE. 2000. Absorción de nutrientes por el maíz de alto rendimiento (en línea). Consultado el 24 de Octubre de 2002. Disponible en [http://www.ppi-far.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/063CCBD4B1C8580306256B8000612ACF/\\$file/ABSORCION+DE+NUTRIENTES+POR+EL+MAIZ+DE+ALTO+RENDIMIENTO..pdf](http://www.ppi-far.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/063CCBD4B1C8580306256B8000612ACF/$file/ABSORCION+DE+NUTRIENTES+POR+EL+MAIZ+DE+ALTO+RENDIMIENTO..pdf)

LAZCANO, I. 2000. El potasio y el concepto de fertilización balanceada (en línea). Consultado el 5 de noviembre de 2002. Disponible en [http://www.ppi-far.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/1B28DB4CA911C1AC06256B80006EAE5/\\$file/EL+POTASIO+Y++EL+CONCEPTO+DE+LA+FERTILIZACION+BALANCEADA.pdf](http://www.ppi-far.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/1B28DB4CA911C1AC06256B80006EAE5/$file/EL+POTASIO+Y++EL+CONCEPTO+DE+LA+FERTILIZACION+BALANCEADA.pdf)

QUINTERO, C.; BOSCHETTI, G. 2000. Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la región Pampeana Argentina (en línea). Consultado el 17 de julio de 2002. Disponible en <http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Eficiencia%20de%20Uso%20de%20Nitrogeno%20en%20Trigo%20y%20Maiz.htm>

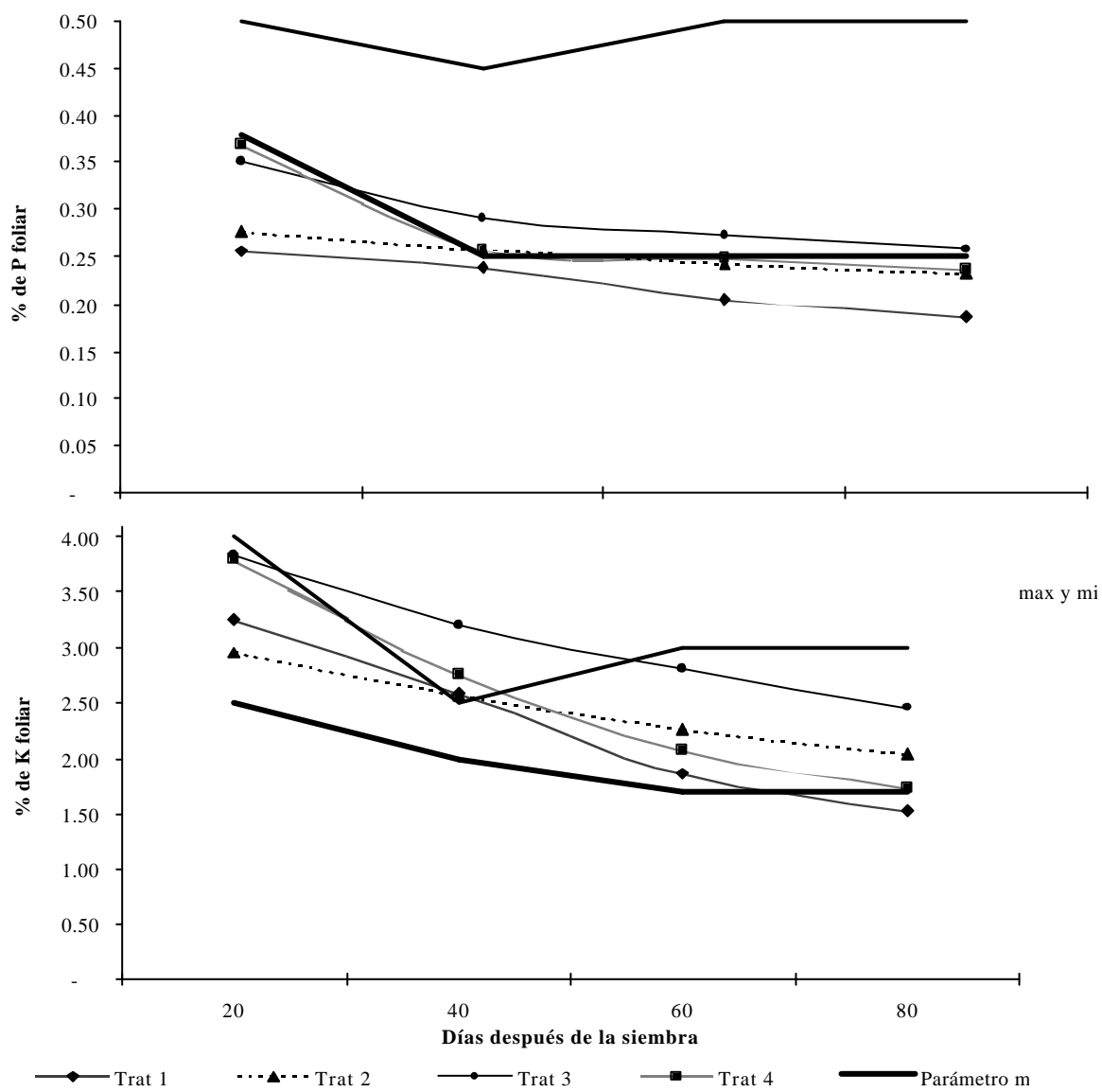
RINCÓN, L.; PÉREZ, A.; PELLICER, C.; SÁEZ, J.; ABADÍA, A. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg (en línea). Consultado el 12 de octubre de 2002. Disponible en <http://www.inia.es/IASPV/2002/vol17-2/rincons.pdf>

SALAZAR, P. 1990. El cultivo del maíz en el estado Trujillo II (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2002. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd34/texto/cultivo.htm>

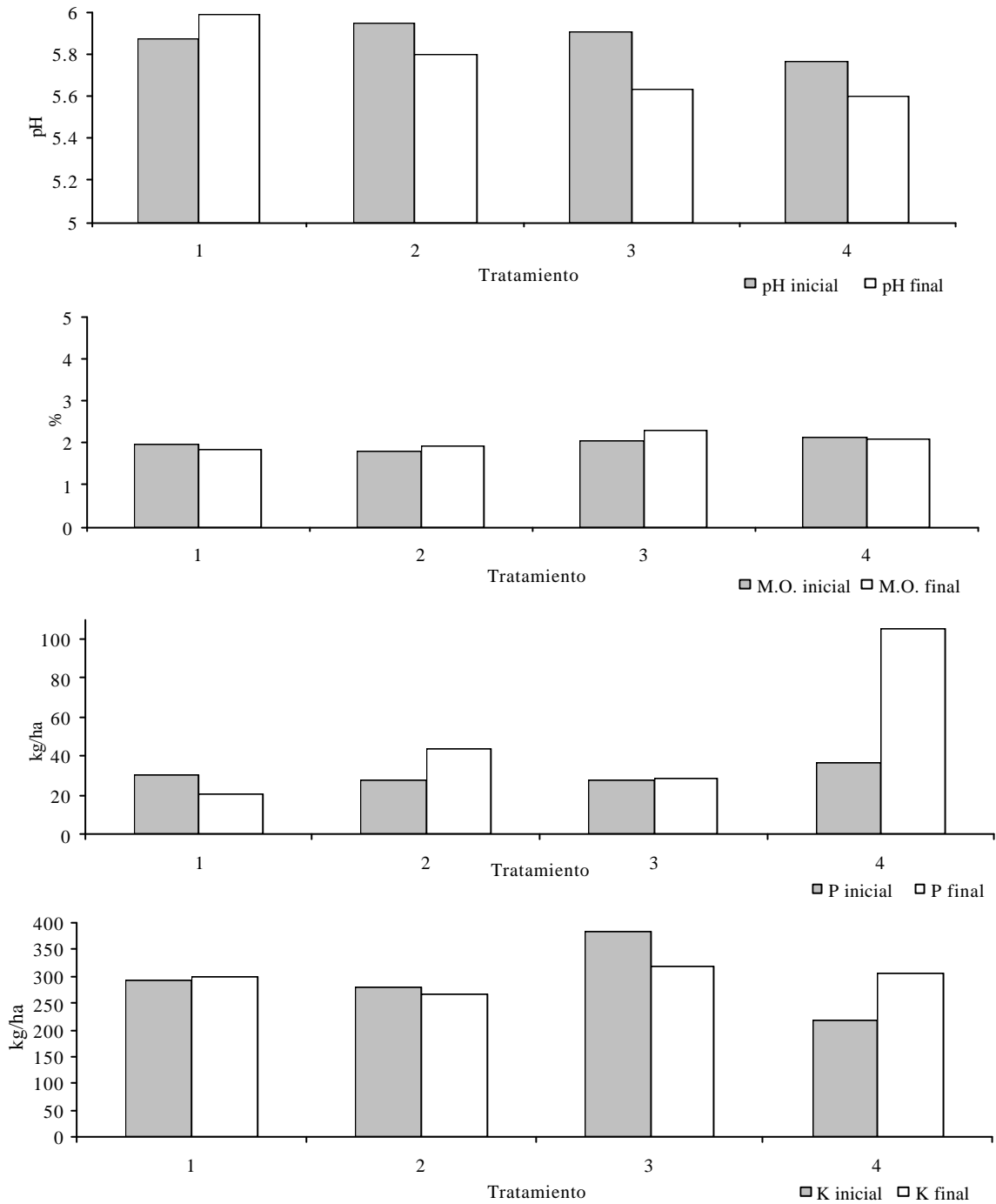
SEGUEL, S. 2002. Equipos de fertirrigación (en línea). Consultado el 18 de agosto de 2002. Disponible en http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11_9.htm

TORRES, M. 2000. Fertilización nitrogenada del cultivo de maíz (en línea).
Disponible en
<http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.htm>

8. ANEXOS



Anexo1. Contenido foliar de fósforo y potasio a lo largo del ciclo de cultivo de maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002.



Anexo 2. Contenidos de pH, materia orgánica, fósforo y potasio antes de la siembra y después de la cosecha en maíz variedad HB-104, El Zamorano, Honduras, 2002.