

Determinación del nivel Optimo Económico  
de la fertilización Nitrogenada en Soya  
y su comparación con inoculación

P O R

*Enrique Mendizábal Ll.*

**T E S I S**

|            |             |
|------------|-------------|
| MICROISIS: | 1556        |
| FECHA:     | 08 / 1 / 91 |
| ENTARCA:   | VALLERAS    |

PRESENTADA A LA  
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION  
DEL TITULO DE

**INGENIERO AGRONOMO**

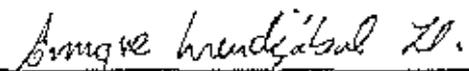
El Zamorano, Honduras  
Abril, 1989

BIBLIOTECA WILSON POPENOE  
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA  
APARTADO 93  
TEGUCIGALPA HONDURAS

DETERMINACION DEL NIVEL OPTIMO ECONOMICO DE LA FERTILIZACION  
NITROGENADA EN SOYA Y SU COMPARACION CON INOCULACION

Por:  
Enrique Mendizábal Llano

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesario. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos de autor.

---

Enrique Mendizábal Llano

14 de abril de 1989

DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermano.

AGRADECIMIENTO

A los integrantes del comité de profesores, por su ayuda y correcciones en el presente trabajo.

Al Dr. Leonardo Corral, por las facilidades prestadas en el Departamento de Agronomía.

Al Dr. Juan Carlos Rosas, por su ayuda y consejos en los momentos más críticos.

Al Agr. José Ramiro Moncada, por su valiosa colaboración en los trabajos de campo.

Al padre de la colonia boliviana en Tegucigalpa, Lic. Raúl Calderón, por su apoyo y su amistad.

A Víctor Eid, por lo que solo ambos sabemos.

Gracias !

## INDICE DE CUADROS

|            |  | PAGINA |
|------------|--|--------|
| Cuadro 1.  | Composición nutricional de especies leguminosas . . . . .  | 6      |
| Cuadro 2.  | Rendimientos esperados del cultivo de soya en Africa y EE.UU. (Kg/Ha) . . . . .  | 8      |
| Cuadro 3.  | Análisis de suelos de la Vega 1 . . . . .  | 13     |
| Cuadro 4.  | Determinaciones realizadas y métodos empleados en el análisis de suelo de la Vega 1 . . . . .                              | 14     |
| Cuadro 5.  | Programa de fertilización . . . . .  | 19     |
| Cuadro 6.  | ADEVA para todos los tratamientos evaluados en el ensayo . . . . .   | 24     |
| Cuadro 7.  | Duncan para todos los tratamientos evaluados en el ensayo . . . . .  | 26     |
| Cuadro 8.  | ADEVA de los tratamientos de la variedad Siatsa 194 . . . . .  | 27     |
| Cuadro 9.  | ADEVA para los tratamientos de la variedad Darco . . . . .   | 27     |
| Cuadro 10. | Duncan para las medias de los tratamientos de la variedad Darco . . . . .  | 28     |
| Cuadro 11. | Costos fijos por hectárea de la producción comercial de soya . . . . .   | 37     |
| Cuadro 12. | Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194 al nivel de máxima producción técnica . . . . . | 38     |
| Cuadro 13. | Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194, al nivel óptimo económico . . . . .            | 38     |
| Cuadro 14. | Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194, producida mediante inoculación. . . . .        | 39     |
| Cuadro 15. | Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Darco . . . . .  |        |

|            |   |    |
|------------|---|----|
|            | al nivel de máxima producción técnica . . . .   | 39 |
| Cuadro 16. | Margen bruto, ingresos, costos fijos<br>y variables de la variedad Darco<br>al nivel óptimo económico . . . . .             | 40 |
| Cuadro 17. | Margen bruto, ingresos, costos fijos<br>y variables de la variedad Darco<br>producida mediante inoculación. . . . .         | 40 |
| Cuadro 18. | Cantidades óptimas de nitrógeno a<br>cambios en los precios del producto y<br>el insumo para la variedad Siatsa 194 . . . . | 43 |
| Cuadro 19. | Cantidades óptimas de nitrógeno a<br>cambios en los precios del producto y<br>el insumo para la variedad Darco. . . . .     | 43 |

## INDICE DE FIGURAS

PAGINA

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Función de producción de la variedad Darco en respuesta a la fertilización nitrogenada . . . . .     | 32 |
| Figura 2. | Función de producción de la Variedad Siatsa 174 en respuesta a la fertilización nitrogenada. . . . . | 35 |

## INDICE DE ANEXOS

|  | PAGINA |
|--|--------|
| Anexo 1. Precipitación mensual promedio en 1988 registrada en la estación climatológica de El Zamorano . . . . . | 54     |
| Anexo 2. Temperaturas mínima y máxima en 1988 registradas en la estación climatológica de El Zamorano . . . . .  | 55     |
| Anexo 3. Distribución de los tratamientos en el área experimental . . . . .                                      | 56     |
| Anexo 4. Rendimientos (Kg) obtenidos en el experimento . . . . .   | 57     |

## TABLA DE CONTENIDO

|   | PAGINA |
|---|--------|
| I. INTRODUCCION . . . . .   | 1      |
| A. OBJETIVOS . . . . .  | 3      |
| 1. General . . . . .  | 3      |
| 2. Especificos . . . . .  | 3      |
| B. ALCANCES DEL ESTUDIO . . . . .   | 4      |
| II. REVISION DE LITERATURA . . . . .  | 5      |
| III. MATERIALES Y METODOS . . . . .   | 12     |
| A. Localización del Estudio y Condiciones Climáticas. . . . .   | 12     |
| B. Suelo. . . . .   | 13     |
| C. Variedades de Soya . . . . .   | 15     |
| D. Inoculante y Fertilizantes . . . . .   | 15     |
| 1. Inoculante . . . . .   | 15     |
| 2. Fertilizantes . . . . .  | 16     |
| E. Diseño Experimental . . . . .  | 17     |
| F. Manejo del Experimento . . . . .   | 17     |
| 1. Preparación de Terreno. . . . .  | 17     |
| 2. Siembra . . . . .  | 18     |
| 3. Fertilización. . . . .   | 18     |
| 4. Combate Fitosanitario. . . . .   | 19     |
| 5. Combate de Malezas. . . . .  | 19     |
| 6. Recolección de Datos. . . . .  | 20     |
| a. Agronómicos . . . . .  | 20     |
| b. Económicos . . . . .   | 20     |
| 7. Análisis Estadístico. . . . .  | 21     |
| 8. Análisis Económico . . . . .   | 21     |
| a. Curvas de Mejor Ajuste. . . . .  | 21     |
| b. Máxima Producción Técnica. . . . .   | 22     |
| c. Producción Óptima Económica. . . . .   | 22     |
| d. Márgenes Brutos por Hectárea Derivados de la Inoculación, Máxima Producción Técnica y Producción Económica . . . . . | 23     |
| e. Análisis de Sensibilidad. . . . .  | 23     |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .  | 24     |
| A. Agronómicos . . . . .  | 24     |
| B. Económicos . . . . .   | 29     |
| 1. Curvas de Mejor Ajuste. . . . .  | 29     |
| 2. Máxima Producción Técnica. . . . .   | 31     |
| 3. Producción Óptima Económica . . . . .  | 35     |
| 4. Márgenes Brutos por Hectárea Derivados de la Inoculación, Máxima Producción  |        |

|   |    |
|---|----|
| Técnica y Producción Óptima Económica.      | 36 |
| 5. Análisis de Sensibilidad. . . . .        | 42 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . . | 43 |
| A. Conclusiones . . . . .                   | 43 |
| B. Recomendaciones . . . . .                | 45 |
| VI. RESUMEN . . . . .                       | 46 |
| V. LITERATURA CITADA . . . . .              | 48 |
| VIII. ANEXOS . . . . .                      | 53 |

## I. INTRODUCCION

La soya (Glycine max (L.) Merrill) es producida casi exclusivamente para la obtención de sus dos derivados harina y aceite. El aceite de soya es usado principalmente en productos alimenticios y sólo una pequeña proporción en pinturas y otros usos industriales. La harina es utilizada como suplemento proteico para alimento animal y en menor cantidad como alimento humano (Stanley y Hubbard, 1983).

Las características edáficas resultan ser factores de gran importancia en la producción de soya. De los elementos mayores incorporados al suelo, el nitrógeno constituye uno de los nutrimentos que más influencia tiene en la productividad de muchos suelos, especialmente en áreas tropicales y subtropicales. El nitrógeno es, también, de suma importancia para el desarrollo óptimo del cultivo, venga éste de fertilización o de inoculación con bacterias del género Rhizobium (fijación simbiótica) (Dommergues y Diem, 1982). Es importante determinar cuál de estas opciones ofrece la mayor ventaja económica al productor de soya. La decisión del productor dependerá de cuan rentable es cada una de ellas ( Bishop y Toussaint, 1982).

La respuesta del frijol común (Phaseolus vulgaris) a la fertilización nitrogenada, indica que ésta incrementa la

producción de materia seca pero no su distribución en la planta (Edje, Munghogho, Ayondado, 1975). Por otro lado, el frijol común aumentó su rendimiento con algunas aplicaciones medias de nitrógeno en presencia de Rhizobium sp en terrenos en que anteriormente se sembraron leguminosas (Mangual Crespo, Kluson, Schroeder, 1987).

A partir de estos datos en frijol se puede inferir que en el caso de la soya, se pueden esperar respuestas mayores debido a su alta capacidad de fijación y a sus requerimientos de nitrógeno.

Estudios realizados en Palmira, Colombia, muestran que la soya tiene la capacidad de fijar el 56.7 % del total de nitrógeno absorbido (Carmen y Varela, 1984).

En Honduras, se siembran anualmente mínimas extensiones de soya y solo productores comerciales recurren a la inoculación en soya con Rhizobium japonicum.\*

En la EAP no existe información alguna que permita al técnico decidir si la inoculación es más rentable o cuál es la cantidad de nitrógeno por hectárea en forma de fertilizante que le ofrece el mayor beneficio económico.

---

\* PERDOMO, J.A. 1988. EAP. Producción de semillas.  
Comunicación personal.

Los conceptos y procedimientos analíticos empleados en este estudio son fundamentales para determinar la optimización económica en el uso de los fertilizantes en soya.

Los resultados obtenidos tienen validez únicamente para las condiciones particulares de la EAP, pero podrán ser útiles como referencia para agroecosistemas similares.

Para tal efecto, se evaluaron dos variedades comerciales de soya, Siatesa 196 y Darco, las que fueron sometidas a varios tratamientos de fertilización nitrogenada o de inoculación con bacterias del género Rhizobium japonicum.

## A. OBJETIVOS

### 1. General

Determinar si la inoculación con Rhizobium ofrece mayor beneficio económico que el nivel de máximo beneficio de la fertilización nitrogenada en soya en las condiciones de suelo y clima de la Escuela Agrícola Panamericana.

### 2. Específicos

- a. Registrar los costos e ingresos para cada tratamiento y obtener sus respectivos beneficios.
- b. Determinar si hay diferencias en los resultados entre las

dos variedades evaluadas.

- c. Determinar las funciones de producción y beneficio para ambas variedades en respuesta a la fertilización nitrogenada.

#### B. ALCANCES DEL ESTUDIO

La información que brinda el presente trabajo, fue obtenida bajo las condiciones edáficas y climáticas de la Escuela Agrícola Panamericana, en un ciclo de cultivo, con las variedades SIATSA 194 y DARCO, y a precios de mercado local.

Se eligieron estas variedades debido a que ambas son cultivadas comercialmente en Honduras.

El inoculante se preparó con cepas de Rhizobium japonicum específicas para soya.

## II. REVISION DE LITERATURA

La naturaleza de las funciones de producción es muy importante en el desarrollo económico y en la determinación del grado en que los niveles de producción se pueden aumentar a partir de una cantidad dada de recursos (Heady y Dillon, 1972). Estos autores incluyen a la función de producción entre las herramientas más importantes y utilizadas en la determinación y especificación del uso de los recursos y del patrón de rendimientos que maximizan las ganancias.

Bishop y Toussaint (1982), afirman también que la función de producción informa acerca de la cantidad de producto que se pueden esperar cuando se combinan los insumos de cierta manera. Son varios los modelos que describen estas funciones de producción, que una vez determinados dan información muy útil para que los agricultores y otros productores tomen sus decisiones y operen maximizando sus ganancias.

Salinas (1973), en un estudio de fertilización e inoculación sobre el rendimiento en soya (Glycine max (L) Merrill), ajustó la respuesta resultante a una función de producción cuadrática de superficie de respuesta. Este modelo de regresión comúnmente ofrece la curva de mejor

ajuste expresando la ley de rendimientos decrecientes.

Por su parte, Just y Pope (1979), encontraron en estudios de fertilización nitrogenada realizados con cereales, que las funciones de producción derivadas de los modelos Cobb-Douglas y logarítmicos ofrecen curvas de menor ajuste a las derivadas del modelo cuadrático.

A pesar de la gran importancia nutricional y económica de la soya, existe en Honduras poca investigación sobre su cultivo, especialmente sobre la conveniencia económica de usar fertilización nitrogenada o inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno.

En el Cuadro 1. se muestra el contenido nutricional de la soya conjuntamente con otras especies productoras de aceite y proteína que son de importancia.

Cuadro 1. Composición nutricional de especies oleaginosas.

| Nombre                   | Agua | Calorías | Prot | Grasa | Ca   | Fe   | Vit A | Vit B1 | Ribofl. | Niacin. | Vit E |
|--------------------------|------|----------|------|-------|------|------|-------|--------|---------|---------|-------|
|                          | (%)  |          | (g)  | (g)   | (mg) | (mg) | (IU)  | (mg)   | (mg)    | (mg)    | (mg)  |
| <u>Glycine max</u>       | 6.0  | 335      | 38.0 | 18.0  | 208  | 6.5  | 140   | 1.03   | .30     | 2.1     | -     |
| <u>Arachis hypogea</u>   | 5.2  | 398      | 18.2 | 30.7  | 37   | 1.3  | 20    | 0.60   | .09     | 11.4    | -     |
| <u>Helianthus annuus</u> | 5.0  | 284      | 14.5 | 23.0  | 25   | 4.9  | 30    | 0.12   | .10     | 1.4     | -     |
| <u>Vigna spp.</u>        | 11.0 | 342      | 23.4 | 1.8   | 76   | 5.7  | 40    | 0.92   | .18     | 1.9     | 2     |
| <u>Cocos nucifera</u>    | 48.0 | 161      | 1.9  | 15.6  | 4    | 0.8  | -     | 0.03   | .01     | 0.3     | 1     |

Fuente: Agricultural Compendium, 1985.

Las especies pertenecientes a la familia Leguminosae, también tienen importancia debido a que muchas poseen la facultad de fijar biológicamente el nitrógeno atmosférico a través de sus nódulos. Estos se forman en el sistema radical de la planta en asociación simbiótica con bacterias del género Rhizobium (Saumell, 1977).

La principal función de las bacterias es la de fijar el nitrógeno atmosférico haciéndolo asimilable a la planta mediante los nódulos. El nitrógeno asimilado es utilizado por la planta para la síntesis de proteína, llegando ésta a constituir hasta 50% de la semilla (Ministerio de Agricultura de España, 1973).

En Aguascalientes, México, Jaquez et al. (1984), encontraron que la inoculación con Nitragin o algún otro producto específico para soya causó rendimientos significativamente mayores a los obtenidos con fertilización nitrogenada. Sin embargo, en la costa de Oaxaca recomendaron fertilizar con la fórmula 40-40-0 aplicada a la siembra .

Vest et al., citados por Jiménez y Villalobos (1980), presentaron los resultados de varias investigaciones en Costa Rica en donde se estima que la cantidad promedio de nitrógeno fijado por la bacteria Rhizobium japonicum oscila entre 80 y 100 kg/ha. En algunos casos en que se han empleado cepas seleccionadas de la bacteria, este valor ha llegado a sobrepasar los 160 kg/ha.

Tal cantidad fijada es capaz de satisfacer plenamente

las necesidades del cultivo. Los rendimientos que se pueden obtener se indican en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rendimientos esperados del cultivo de la soya en Africa y Estados Unidos (Kg/Ha).

|             | Africa | EEUU      |            |
|-------------|--------|-----------|------------|
|             |        | Sin Riego | Bajo Riego |
| Rendimiento | 400    | 1900      | 2000       |

Fuente: Chatfield, citado por FAO, 1982.

La extracción de nutrimentos necesarios para alcanzar un rendimiento de 2,000 Kg/Ha de soya en grano es de 125, 30 y 40 Kg/Ha de nitrógeno, fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasio ( $K_2O$ ) respectivamente (Agricultural Compendium, 1985).

Harper (1974), encontró que una producción máxima de semilla de soya requiere tanto del nitrógeno que la planta absorbe del suelo (principalmente nitratos) como del nitrógeno atmosférico. Encontró también, que la utilización del nitrógeno absorbido alcanza su pico máximo en el estado de floración completa, mientras que el mayor aprovechamiento del nitrógeno fijado ocurre tres semanas después, o sea, durante el llenado de las vainas. Por otro

lado, Dadson y Acquah (1984), encontraron también, en soya, que tratamientos inoculados produjeron aumentos altamente significativos en el porcentaje de proteína en la semilla, rendimiento en grano y peso de la semilla respecto a los tratamientos no inoculados y fertilizados con nitrógeno y fósforo. Estos experimentos fueron realizados en las savanas del sur de Ghana, donde los suelos carecen de Rhizobium para la fijación simbiótica, circunstancias que hacen que la inoculación resulte el tratamiento más económico.

Adicionalmente, Jiménez y Villalobos (1980) hacen ver la importancia económica de la inoculación de la soya con R. japonicum y la necesidad de estudiar la respuesta de esta leguminosa a dosis bajas de nitrógeno en Costa Rica.

También en Costa Rica, Nelson (1971) citado por Salinas (1973) indica que la adición de nitrógeno rara vez produce una respuesta económica en la producción de soya por el hecho de que la bacteria R. japonicum suministra, por medio de la fijación simbiótica, cantidades adecuadas de nitrógeno para obtener rendimientos satisfactorios.

Más tarde, Salinas (1973) muestra que la fijación simbiótica por parte de la bacteria no es suficiente para poder producir los más altos rendimientos posibles, debido a que una interacción de nitrógeno combinado provocó la maximización del rendimiento y la producción de proteína cruda.

En Río Grande del Sur, Brasil, similares experimentos

demonstraron que no hubo diferencia en la aplicación de seis niveles de urea (0 - 128 kg de N/ha) a la floración en tratamientos inoculados al momento de la siembra (Barni, Gonzalves y Gómez, 1978).

Estos resultados contrastan entre sí. Son numerosos los factores que pueden afectar el comportamiento del cultivo ante la acción de la bacteria y el fertilizante. Habrá que considerar condiciones edafoclimatológicas, latitudinales, especificidad de las cepas, etc. (Barni, Gonzalves y Gómez, 1978).

Sin embargo, Jiménez (1978) afirma que la inoculación de la semilla a la siembra es la práctica más recomendable, debido a que sus efectos tienden a aumentar directamente el rendimiento y el contenido de proteína en la semilla, aspectos de mayor importancia económica en la producción del cultivo. Indica también que el menor costo y su facilidad de aplicación son otras ventajas de los inoculantes respecto a los fertilizantes nitrogenados.

Es evidente que la aplicación del fertilizante, especialmente si ésta es fraccionada, implica incurrir en costos de mano de obra o maquinaria. Este no es el caso de la inoculación que va junto a la semilla a la siembra. Sin embargo, investigadores de muchos países (Jaquez et al., 1984 y Barni, Gonzalves, Gómez, 1978) han intentado incrementar los rendimientos de soya a través de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. De Mooy et al.

(1973), citados por FAO (1982), encontraron que en la mayoría de los experimentos realizados con fertilización nitrogenada no hubo respuesta rentable en términos de rendimiento en grano.

La fertilización nitrogenada tiene buena respuesta cuando está asociada a condiciones adversas a la fijación simbiótica. En el trópico, la fertilización nitrogenada se usa, frecuentemente, como un sustituto de la inoculación. Cuando no hay inoculante disponible o las condiciones de suelo limitan la sobrevivencia del Rhizobium o de la planta, pueden esperarse respuestas positivas al usar nitrógeno en forma de fertilizante. Cuando las condiciones de producción son satisfactorias y siendo que el inoculante es la fuente menos cara de nitrógeno, no son razonables las aplicaciones de fertilizante ya que no darán rendimientos superiores a la producción por plantas inoculadas y sin nitrógeno suplementario (FAO, 1982).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### A. Localización del Estudio y Condiciones Climáticas.

La presente investigación se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), situada en el valle de El Zamorano, a 30 km al este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, Honduras; a 14° 00' de latitud norte y 87° 02' de longitud oeste. Su ubicación en la EAP fue en los terrenos de la Vega 1.

La altitud del valle es de 800 metros sobre el nivel del mar; la precipitación anual registrada el año 1988 fue de 1397.7 milímetros, la temperatura media de 22° C y las temperaturas máxima y mínima promedios de 32° C y 16.7° respectivamente. Las condiciones climáticas correspondientes a los meses de septiembre a diciembre que duró el ensayo, fueron 456.6 milímetros de precipitación, 18.9 C y 27.79 C de temperaturas mínima y máxima promedios respectivamente. Al inicio de la germinación, se presentaron lluvias y vientos fuertes ocasionadas por el paso del huracán Gilbert.

Ecológicamente pertenece a la zona de vida, según la clasificación de Holdrige (1978), "bosque tropical seco".

En los Anexos 1 y 2 se presentan las curvas que

muestran el comportamiento de las variables climáticas mencionadas.

### B. Suelo.

El terreno fue elegido en la Vega 1 porque generalmente en ella se realiza la producción de semilla de soya en la EAP. Sus condiciones generales satisfacen en gran parte los requisitos del cultivo. Saumell (1977) considera como más adecuado un suelo franco arenoso, con mediana fertilidad y que permita buen desarrollo de las raíces. Un sistema radical ampliamente distribuido es sumamente necesario, tanto para proveer adecuadamente agua a la planta, como para absorber a través de su superficie los nutrimentos necesarios de la solución de suelo (FAO, 1982).

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del análisis de suelo realizado en el laboratorio de suelos de la EAP.

Se tomaron 40 submuestras al azar, a 20 centímetros de profundidad y distribuidas en todo el lote de aproximadamente 900 metros cuadrados que se destinó para el ensayo. Los análisis se realizaron sobre muestras secadas al aire y tamizadas al tamaño requerido por cada método (Cuadro 4).

Cuadro 3. Análisis de suelos de la Vega 1  
(El Zamorano, 1988).

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Textura          | Franco arenosa |
| pH (KCl)         | 4.8            |
| Nitrógeno total  | 60 Kg/Ha       |
| Fósforo          | 15.2 ppm       |
| Potasio          | (Saturación)   |
| Materia orgánica | 1.2 %          |

Cuadro 4. Determinaciones realizadas y métodos empleados  
en el análisis de suelo de la Vega 1 (El Zamorano  
1988).

| Determinación           | Método                                       |
|-------------------------|--|
| Reacción del suelo (pH) | Potenciómetro (Peech, 1965)                  |
| Materia orgánica        | Walkley-Black (Saiz del Rio<br>y Bornemisza, |
| Nitrógeno total         | Kjeldahl                                     |
| Fósforo disponible      | Colorimétrico (1961)                         |
| Potasio                 | -  |
| Textura                 | Bouyoucos (Bouyoucos, 1951)                  |

### C. Variedades de Soya

Se utilizaron dos variedades de soya denominadas Darco y Siatsa 194. La primera fue desarrollada en Estados Unidos y la segunda en Honduras. Ambas tienen características similares y están completamente adaptadas al medio. Son fotosensibles, la floración ocurre con el estímulo de los días cortos, son erectas, semi arbustivas y el color del grano es amarillo. \*

Antes de la siembra se determinó su poder germinativo en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Agronomía (EAP). Se obtuvo 47% de germinación con Siatsa 194 y 55% con Darco.

### D. Inoculante y Fertilizantes

#### 1. Inoculante

El inoculante fue preparado en el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Departamento de Agronomía de la EAP. Para su preparación se usaron bacterias del género Rhizobium japonicum. Estas bacterias provienen de cepas

---

\* MURDZ, V. 1989. EAP. Laboratorio de semillas. Comunicación personal.

seleccionadas y específicas de Rhizobium capaces de formar nódulos eficientes en las raíces de la planta, es decir, capaces de fijar nitrógeno (FAO, 1985).

El soporte usado para la preparación del inoculante fue turba fina.

Se inoculó a la semilla humedeciéndola con una solución de goma arábiga y agua destilada para que su superficie adquiriera propiedades adhesivas al mezclarla con el inoculante. Una vez realizada la mezcla, se la guardó bajo sombra y refrigeración (4° C) hasta el día de la siembra .

## 2. Fertilizantes.

La fuente de nitrógeno utilizada fue urea (46% N). El contenido de nitrógeno en el suelo, revelado por los análisis de suelo fue muy bajo. En el caso del fósforo, el contenido de  $P_2O_5$  en el suelo era satisfactorio, haciéndose innecesaria cualquier aplicación adicional. Por otro lado, los suelos de la EAP están saturados de potasio, por lo que no se consideró su aplicación \*.

---

\* RODRIGUEZ, M. 1988. EAP. Laboratorio de suelos.  
Comunicación Personal.

### E. Diseño Experimental

Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con arreglo factorial de 5 x 2. El primer factor lo constituyeron la inoculación y cuatro niveles de fertilización nitrogenada ( 0 / 50 / 100 / 150 kg/ha ).

Las variedades de soya fueron el segundo factor. Se conformaron cuatro repeticiones, cada una con diez tratamientos.

El área del experimento fue de aproximadamente 900 metros cuadrados. Cada tratamiento fue ubicado en una parcela de 4 surcos de 5 metros de largo. La parcela útil resultante fue de 4.8 m<sup>2</sup>, dejando de borde los dos surcos laterales y los primeros y últimos 50 cm de la parcela original. En el Anexo 3 se muestran los tratamientos en las parcelas experimentales.

### F. Manejo del Experimento

#### 1. Preparación de Terreno.

El terreno se preparó mecánicamente, se hicieron dos pases de rastra para incorporar el rastrojo. Se aró con arado de discos a 30 cm de profundidad y tres días antes de la siembra se surcó a una distancia de 60 cm entre surcos.

## 2. Siembra

La siembra se realizó el 12 de septiembre de 1988. Debido a la baja germinación de la semilla se sembró a chorro corrido en el centro del camellón.

Los tratamientos con semilla inoculada fueron sembrados al final, para evitar su contaminación a través de manos, herramientas, etc.

Seis días después de la siembra y durante 2 semanas, se tomaron precauciones contra el ataque de pájaros a las plántulas empleando un trabajador a tiempo completo.

Para poder alcanzar una población de 150,000 plantas por hectárea, se raleó 20 días después de la siembra, edad a la que las plantas están suficientemente vigorosas para soportar esta práctica. Se dejó una distancia de aproximadamente 5 cm entre plantas.

## 3. Fertilización.

El fertilizante se aplicó en forma fraccionada. Un tercio de la dosis de cada nivel fue aplicado a la siembra, en el mismo surco de la semilla. Luego de aplicarlo se lo incorporó cubriendo parcialmente el surco para evitar contacto con la semilla. Los dos tercios restantes se aplicaron en la floración, ya que en este estado la utilización del nitrógeno absorbido alcanza su punto máximo (Harper, 1974).

El programa de fertilización se muestra en el Códadro 5.

Cuadro 5. Programa de fertilización (El Zamorano, 1988).

| Nivel | Aplicación a la Siembra |         | Aplicación a la Floración |         |
|-------|-------------------------|---------|---------------------------|---------|
|       | N/ha                    | Urea/ha | N/ha                      | Urea/ha |
| 0     | -                       | -       | -                         | -       |
| 50    | 16.7                    | 36.3    | 33.3                      | 72.4    |
| 100   | 33.3                    | 72.4    | 66.6                      | 144.8   |
| 150   | 50                      | 108.7   | 100                       | 217.4   |

#### 4. Combate Fitosanitario.

No se presentaron problemas con enfermedades, pero el ataque del vector del virus del mosaico dorado (Bemisia tabaci), fue significativo al inicio del ensayo. Se decidió hacer un programa de aplicaciones preventivas alternando los insecticidas MTD 600 y Lannate, a razón de 70 ml. y 15 gr. por bomba de 15 litros, respectivamente.

#### 5. Combate de Malezas.

Las malezas se combatieron manualmente, cuando su población alcanzó niveles de alta competitión. La primera limpia se realizó a los 23 días después de la siembra. La siguiente limpia se efectuó días antes de la segunda aplicación de fertilizante. Posteriormente el desarrollo del cultivo no permitió el crecimiento de las malas hierbas.

## 6. Recolección de Datos.

### a. Agronómicos

Como datos agronómicos se registraron el rendimiento por parcela y el número de plantas por parcela.

La cosecha del ensayo se realizó el 3 de enero de 1989. Se recolectaron las plantas de la parcela útil.

Luego de la cosecha las plantas se aporrearon para separar las semillas de las vainas. Se pesaron las muestras correspondientes a cada tratamiento y se midieron sus contenidos de humedad. Con los datos de número de plantas por parcela se hizo una corrección por población para calcular el rendimiento por hectárea de cada tratamiento.

### b. Económicos

Se registraron los costos de producción derivados del cultivo, haciendo una clasificación de costos fijos o comunes y costos variables o diferenciales. Los costos fijos o comunes son aquellos que no varían frente a cambios en la producción y en los niveles de fertilización o inoculación y que son comunes a todos los tratamientos. Los costos variables que se consideraron fueron aquellos que variaban con cambios en la producción y en los niveles de fertilización o inoculación.

El costo de los insumos usados durante el ciclo de cultivo fue proporcionado por el Departamento de Agronomía y equivale al precio de dichos insumos puestos en la EAP

previamente a la siembra del ensayo.

Se tomó nota del precio de venta al momento de la cosecha.

#### 7. Análisis Estadístico.

Por medio del paquete estadístico MSTAT, se determinó la variación entre los tratamientos y variedades. Se utilizó un análisis factorial de varianza (ADEVA).

Los tratamientos que resultaron estadísticamente iguales fueron separados mediante la prueba estadística Duncan. Esta prueba de separación de medias se realizó al mismo nivel de significación con el que se determinaron las diferencias entre las mismas mediante el ADEVA.

#### 8. Análisis Económico

##### a. Curvas de Mejor Ajuste.

Una vez obtenidos los datos experimentales, se procedió a obtener la curva de mejor ajuste que exprese la función de producción resultante. Con el paquete estadístico MSTAT, se ajustaron las funciones de producción para ambas variedades tomando al rendimiento por hectárea como variable dependiente y a los niveles de nitrógeno como variable independiente. Se probaron los modelos de regresión cuadrático, de raíz cuadrada y Cobb-Douglas para determinar cual ofrecía la curva de mejor ajuste.

b. Máxima Producción Técnica.

Con la función ajustada de cada variedad se obtuvo el nivel óptimo técnico, es decir, la cantidad de nitrógeno aplicado por hectárea con la que se alcanza la máxima producción. Matemáticamente corresponde al punto máximo de la función y se halla cumpliendo la siguiente condición :

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 0$$

O sea, igualando a cero la derivada parcial con respecto al nitrógeno.

c. Producción Óptima Económica.

El nivel óptimo económico, es decir, la determinación de la cantidad de nitrógeno por hectárea a aplicar para que la ganancia obtenida sea máxima, se obtiene matemáticamente cumpliendo la condición :

$$P_V \frac{\delta Y}{\delta N} = P_N$$

O sea, cuando el producto de la derivada parcial con respecto al nitrógeno y el precio de la soya (Valor del Producto Marginal) es igual al precio del nitrógeno (Costo Marginal del factor).

d. Márgenes Brutos por Hectárea Derivados de la Inoculación,  
Máxima Producción Técnica y Producción Óptima Económica.

Los ingresos por hectárea de cada variedad se calcularon de acuerdo a la producción resultante de la inoculación y de la aplicación de las cantidades de nitrógeno correspondientes a Máxima Producción Técnica y Producción Óptima Económica.

Los márgenes brutos por hectárea de cada variedad correspondientes a Inoculación, Máxima Producción Técnica y Producción Óptima Económica, se obtuvieron restando de los ingresos los costos fijos y variables.

e. Análisis de Sensibilidad.

El comportamiento de las cantidades óptimas económicas de nitrógeno por hectárea para ambas variedades, fue determinado efectuando cambios porcentuales en los precios de la soya y del nitrógeno. Las variaciones resultantes se compararon con las cantidades de este insumo que originaron las producciones máximas técnicas correspondientes a cada variedad.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### A. Agronómicos

Los resultados obtenidos de las variables evaluadas se muestran en el Anexo 4.

Los datos correspondientes al rendimiento por hectárea de todas las observaciones fueron analizadas estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ADEVA) en el paquete estadístico MSTAT. Los resultados del ADEVA se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. ADEVA para todos los tratamientos evaluados en el ensayo (El Zamorano, 1989).

| F. V. | g.l. | S. C.      | C. M.       | F    |      |
|-------|------|------------|-------------|------|------|
| Rep.  | 3    | 2114908.06 | 704969.355  | 1.98 | n.s. |
| A     | 1    | 39219.47   | 39219.472   | 0.11 | n.s. |
| B     | 4    | 4036736.90 | 1009184.226 | 2.84 | *    |
| AB    | 4    | 1154633.98 | 288658.496  | 0.81 | n.s. |
| Error | 27   | 9589706.04 | 355174.298  |      |      |

C. V. 12.86 %

\* Diferencia significativa al 5%

Este análisis muestra que hubo diferencia entre los tratamientos (factor A, cuatro niveles de nitrógeno e inoculación) con un nivel de significación  $\alpha$  de 5 %. No se encontró diferencia significativa entre las repeticiones ni entre las variedades Siatsa 194 y Darco (factor B), así como tampoco en la interacción entre ambos factores (AB).

El tratamiento inoculado resultó en promedio estadísticamente distinto a la fertilización con 0, 50 y 150 kg de nitrógeno por hectárea. Sin embargo, resultó igual a la fertilización con 100 kg de nitrógeno por hectárea. La diferencia se determinó con la prueba estadística de separación de medias Duncan, con 5 % de significación (Cuadro 7).

Este mismo análisis efectuado sobre la variedad Siatsa 194, indicó que no hubo diferencia significativa entre ninguno los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 7. Duncan para todos los tratamientos evaluados en el ensayo (El Zamorano, 1989).

| Tratamiento |             | Media   |    |
|-------------|-------------|---------|----|
|             | Inoculación | 5137.70 | A  |
| 100         | kgs.-N/ha   | 4868.23 | AB |
| 0           | kgs.-N/ha   | 4464.45 | B  |
| 150         | kgs.-n/ha   | 4373.41 | B  |
| 50          | kgs.-N/ha   | 4318.77 | B  |

$\alpha = 5 \%$

Cuadro 8. ADEVA de los tratamientos de la Variedad Siatsa  
194 (El Zamorano, 1989).

| F. V. | g.l.    | S. C.       | C. M.      | F    |      |
|-------|---------|-------------|------------|------|------|
| Rep.  | 3       | 1920842.12  | 640280.708 | 1.22 | n.s. |
| Trat. | 4       | 1858035.14  | 464508.786 | 0.89 | n.s. |
| Error | 12      | 6293095.19  | 524424.599 |      |      |
| Total | 19      | 10071972.46 |            |      |      |
| <hr/> |         |             |            |      |      |
| C. V. | 15.74 % |             |            |      |      |

En el Cuadro 9. se presenta el análisis de varianza para la variedad Darco. Se encontró diferencia entre los tratamientos con 5 % de nivel de significacion.

Cuadro 9. ADEVA de los tratamientos de la Variedad Darco (El Zamorano, 1989).

| F. V. | g.l.   | S. C.      | C. M.      | F    |      |
|-------|--------|------------|------------|------|------|
| Rep.  | 3      | 1127801.60 | 375933.868 | 1.91 | n.s. |
| Trat. | 4      | 3333335.74 | 833333.936 | 4.23 | *    |
| Error | 12     | 2362875.18 | 196906.265 |      |      |
| Total | 19     | 6824012.53 |            |      |      |
| <hr/> |        |            |            |      |      |
| C. V. | 9.51 % |            |            |      |      |

Las medias de los tratamientos fueron también separadas

por medio de la prueba Duncan (Cuadro 10.). El tratamiento inoculado y la fertilización con 100 kg de nitrógeno por hectárea resultaron, en promedio, estadísticamente iguales entre sí y diferentes del resto de los tratamientos.

Cuadro 10. Duncan para las medias de los tratamientos de la Variedad Darco (El Zamorano, 1989).

| Tratamiento |             | Media   |   |
|-------------|-------------|---------|---|
|             | Inoculación | 5124.50 | A |
| 100         | kgs.-N/ha   | 5195.52 | A |
| 50          | kgs.-N/ha   | 4412.64 | B |
| 0           | kgs.-n/ha   | 4373.41 | B |
| 150         | kgs.-N/ha   | 4275.34 | B |

$\alpha = 5 \%$

Barni, Gonzalves y Gómez (1978), no encontraron diferencias en la aplicación de seis niveles de urea, resultados que contrastan con los obtenidos en el análisis realizado con la variedad Darco. Sin embargo, están de acuerdo con los obtenidos de la variedad Siatsa 194.

La aplicación de inoculante a la variedad Darco, ofreció el mayor rendimiento de grano por hectárea. Esto confirma la importancia de la inoculación anteriormente

citada por Dadson y Acquah (1984), siendo solo comparable a ella la aplicación de 100 kg de N/ha. Tanto en la fertilización nitrogenada como en la inoculación, se encontró respuestas significativas solo con la variedad Darco. Las aplicaciones de fertilizante e inoculante en la variedad Siatsa 194, no tuvieron estadísticamente ningún efecto en el rendimiento. La diferencia en el comportamiento de ambas variedades debido a la aplicación de dichos insumos, puede deberse a la mayor sensibilidad de la variedad Darco al fertilizante o a la mayor especificidad en su relación con las cepas de Rhizobium japonicum.

Por otro lado los coeficientes de variación (C.V.) resultantes indican que el experimento fue satisfactoriamente llevado ya que son similares o inferiores a los obtenidos en otros ensayos de fertilización e inoculación en soya (Salinas 1973, Jimenez 1978 y Barni, Gonzalves y Gómez, 1978).

## B. Económicos

### 1. Curvas de Mejor Ajuste.

La curva de mejor ajuste para la respuesta en rendimiento (kg de grano por hectárea) resultante de la aplicación de los cuatro niveles de urea para la variedad Siatsa 194 fue dada por una función cuadrática. El

coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 28 %. Los parámetros para el efecto lineal y cuadrático resultaron significativos al 9 %. La ecuación que describe este modelo es :

$$Y = 4185.5 + 16.3 N - 0.105 N^2$$

donde:

Y = Rendimiento en kilos de grano  
por hectárea. Variable dependiente.

N = Kilos de nitrógeno aplicado por  
hectárea. Variable independiente.

En el caso de la variedad Darco, se obtuvo también una función cuadrática con 34 % de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y parámetros para el efecto lineal y cuadrático significativos al 2 %. La ecuación correspondiente a este modelo es :

$$Y = 4231.7 + 20.12 N - 0.128 N^2$$

donde:

Y = Rendimiento en kilos de grano  
por hectárea. Variable dependiente.

N = Kilos de nitrógeno aplicado por  
hectárea. Variable independiente.

Las Figuras 1 y 2 describen ambas funciones de producción expresadas por cada una de sus ecuaciones.

Estas funciones de producción muestran el cumplimiento de la ley de rendimientos decrecientes y concuerdan con la amplia evidencia experimental citada por Bishop y Toussaint (1982) trabajando con pasto Sudán y nitrógeno en Carolina del Norte. Earl y Doll (1962), citados por Doll y Orazem (1978), confirmaron también el cumplimiento de esta ley estudiando la respuesta de maíz a fertilización nitrogenada en Missouri. Los resultados obtenidos por Salinas (1973) también expresan la ley de rendimientos decrecientes en la fertilización e inoculación de soya en Turrialba, Costa Rica. Los coeficientes correspondientes a las variables nitrógeno al cuadrado ( $N^2$ ) son negativos. Esto implica que una vez alcanzada la máxima producción de grano (máxima producción técnica) mediante la aplicación de cierta cantidad de fertilizante, ocurre una disminución de la misma a aumentos adicionales de dicho insumo.

## 2. Máxima Producción Técnica.

La cantidad de nitrógeno aplicada por hectárea que resulta en la máxima producción de la variedad Siatsa 194 es:

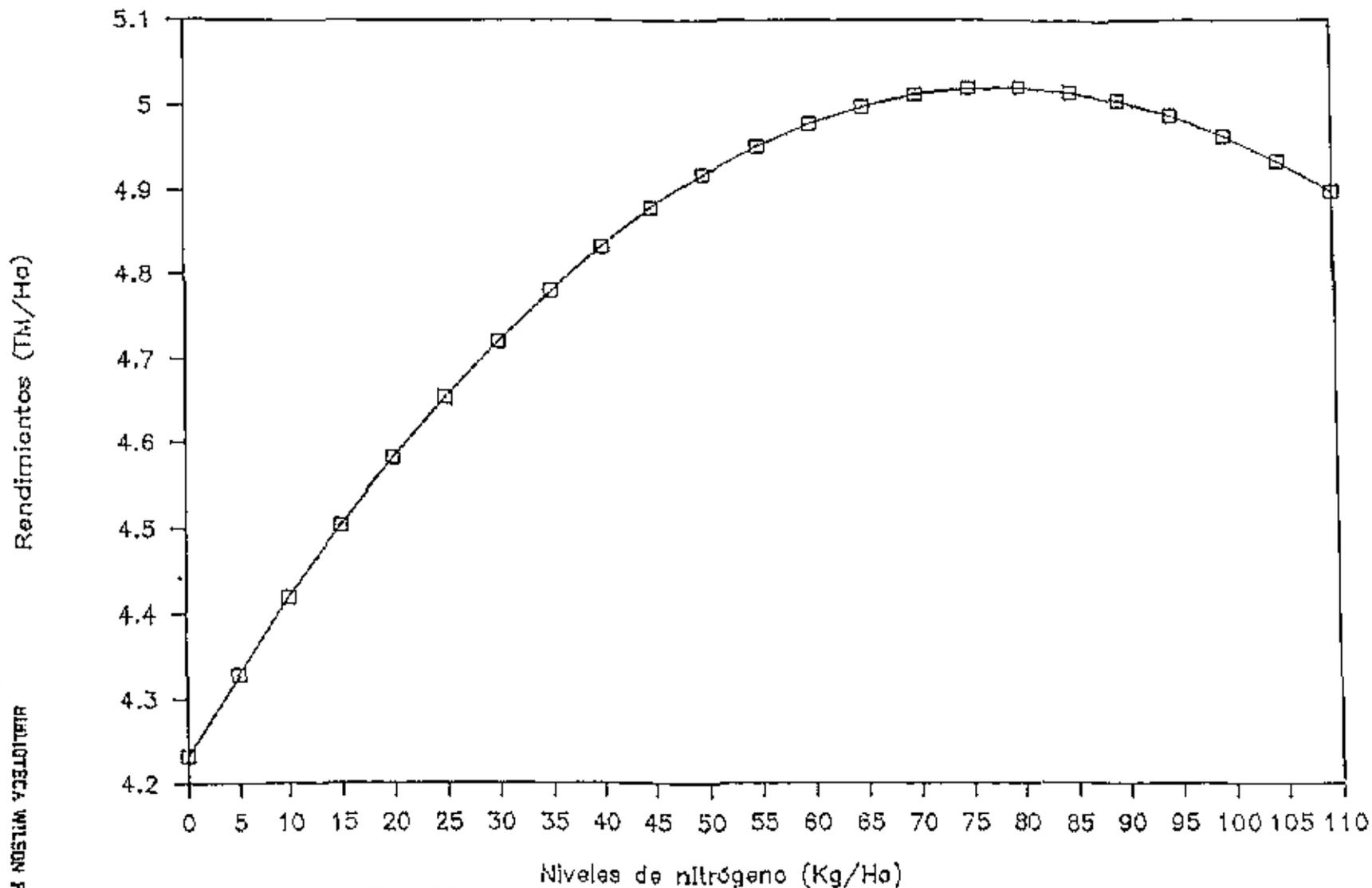


Figura 1. Función de producción de la variedad Darco en respuesta a la fertilización nitrogenada (El Zamorano, 1989)

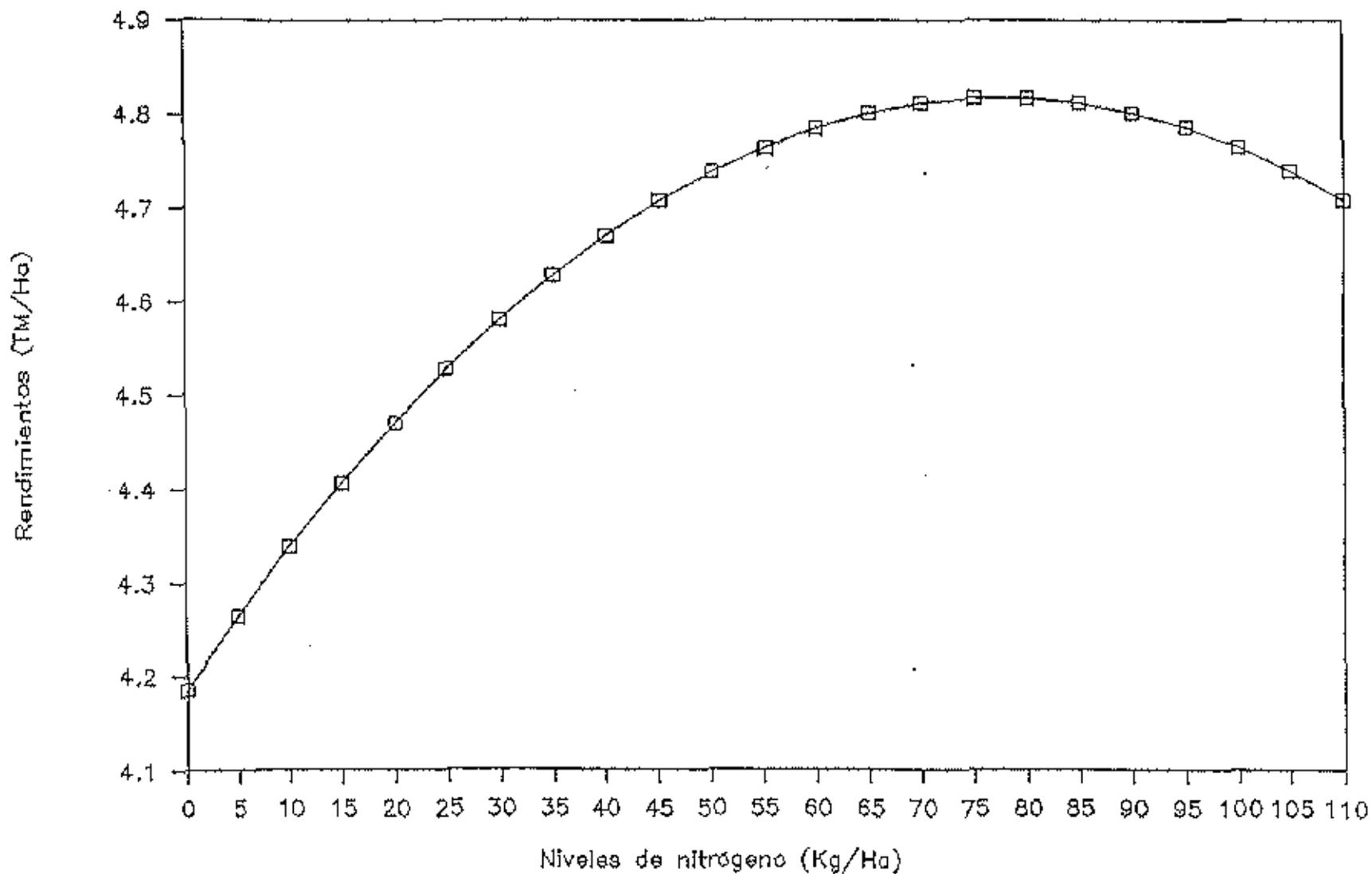


Figura 2. Función de producción de la variedad Sintsa 194 en respuesta a la fertilización nitrogenada (El Zamorano, 1989)

$$Y = 4185.5 + 16.3 N - 0.105 N^2$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 16.3 - 0.21 N$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 0$$

$$0 = 16.3 - 0.21 N$$

$$N = \underline{77.62 \text{ kgs. N /ha}}$$

La máxima producción técnica para la variedad Darco resultó en:

$$Y = 4231.68 + 20.12 N - 0.128 N^2$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 20.12 - 0.256 N$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 0$$

$$0 = 20.12 - 0.256 N$$

$$N = \underline{78.6 \text{ kgs. N /ha}}$$

$$5.7 + 9.28 - 0.082 \times 2$$

## 3. Producción Óptima Económica

El nivel óptimo económico, es decir la cantidad de nitrógeno que se debe aplicar al cultivo para obtener la máxima ganancia es:

Para la variedad Siatsa 194,

$$Y = 4185.5 + 16.3 N - 0.105 N^2$$

$$VY = P_v Y$$

$$VY = (35)(4185.5 + 16.3 N - 0.105 N^2)$$

$$VY = 150678 + 570.5 N - 3.7 N^2$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 570.5 - 7.4 N$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = P_N$$

$$570.5 - 7.4 N = 12.88$$

$$N = \underline{75.35 \text{ kgs. N /ha}}$$

Para la variedad Darco,

$$Y = 4231.68 + 20.12 N - 0.128 N^2$$

$$VY = P_v Y$$

$$VY = (35)(4231.68 + 20.12 N - 0.128 N^2)$$

$$VY = 148108.8 + 704.2 N - 4.48 N^2$$

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = 704.2 - 8.96 N$$

$$\frac{\$ Y}{\$ N} = F_N$$

$$704.2 - 8.96 N = 12.88$$

$$N = \underline{77.15 \text{ kgs. N /ha}}$$

donde:

VY = Valor de la producción.

P<sub>Y</sub> = Precio de la soya, L. 12.88 por 45.45 kg.

P<sub>N</sub> = Precio del nitrógeno, L. 35 por 45.45 kg.

Las dosis óptimas para las dos variedades son prácticamente iguales. Esto se explica debido a que el precio de la soya es bastante mayor al del nitrógeno. En este caso trabajar en el nivel óptimo técnico resulta casi tan conveniente como hacerlo en el nivel óptimo económico.

#### 4. Márgenes Brutos por Hectárea Derivados de la Inoculación, Máxima Producción Técnica y Producción Óptima Económica.

Los costos fijos no cambian frente a variaciones en la producción ni con los niveles de fertilización o inoculación, resultando iguales para todos los casos. El Cuadro 11 detalla los rubros que lo componen.

Los márgenes brutos de cada variedad para los niveles máximo técnico, óptimo económico y para la inoculación se indican en los Cuadros 12 al 17.

Los márgenes brutos correspondientes, a la producción

Cuadro 11. Costos fijos por hectárea de la producción comercial de soya (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO                          | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L)     |
|-----------------------------------|----------|---------|--------|---------------|
| <b>MAQUINARIA</b>                 |          |         |        |               |
| Arado*                            | 0.80     | Hor/Maq | 19.27  | 15.42         |
| Rastreado*                        | 0.70     | Hor/Maq | 19.27  | 13.49         |
| Surcado*                          | 0.65     | Hor/Maq | 19.27  | 12.53         |
| Siembra†                          | 2.90     | Hor/Maq | 19.27  | 55.88         |
| Aspersión**                       | 0.50     | Hor/Maq | 19.27  | 9.64          |
| Cosecha**                         | 1.40     | Hor/Maq | 39.19  | 54.87         |
| SEMILLA                           | 80.00    | Kg      | 0.99   | 79.20         |
| <b>HERBICIDAS</b>                 |          |         |        |               |
| Prowl                             | 2.50     | Lt/Ha   | 28.60  | 71.50         |
| <b>INSECTICIDAS</b>               |          |         |        |               |
| Lorsban***                        | 2.00     | Lt/Ha   | 25.00  | 50.00         |
| <b>MANO DE OBRA</b>               |          |         |        |               |
| Pajarero                          | 14.00    | Día/Hom | 6.64   | 92.96         |
| Aplic. agroquim.                  | 2.00     | Día/Hom | 6.64   | 13.28         |
| Siembra                           | 2.00     | Día/Hom | 6.64   | 13.28         |
| Cosecha                           | 2.00     | Día/Hom | 6.64   | 13.28         |
| Asist. Tec.                       | 8.00     | Hor/Hom | 4.17   | 33.36         |
| <b>INTERESES</b>                  |          |         |        |               |
| 15% sobre costos fijos en 4 meses |          |         |        | 79.30         |
| <b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>         |          |         |        | <b>607.98</b> |

\* Tractor J. Deere 2030.

\*\* Combinada J. Deere 4400.

\*\*\* Dos aplicaciones.

Cuadro 12. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194, al nivel de máxima producción técnica. (Ha) (El Zamorano, 1989)

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 4818.10  | Kg      | 0.77   | 3709.94   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Nitrógeno              | 77.62    | Kg      | 0.28   | 21.73     |
| Transporte             | 1.77     | Hor/Maq | 28.00  | 49.56     |
| Procesamiento          | 4818.10  | Kg      | 0.28   | 1349.07   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1420.36   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1681.65   |

Cuadro 13. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194, al nivel de óptimo económico. (Ha) (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 4817.23  | Kg      | 0.77   | 3709.27   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Nitrógeno              | 75.35    | Kg      | 0.28   | 21.10     |
| Transporte             | 1.77     | Hor/Maq | 28.00  | 49.56     |
| Procesamiento          | 4817.33  | Kg      | 0.28   | 1348.85   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1419.51   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1681.83   |

Cuadro 14. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Siatsa 194, producida mediante inoculación. (Ha) (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 5150.90  | Kg      | 0.77   | 3966.19   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Inoculante             | 0.60     | Lb      | 2.56   | 1.54      |
| Transporte             | 1.88     | Hor/Maq | 28.00  | 52.64     |
| Procesamiento          | 5150.90  | Kg      | 0.28   | 1442.25   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1496.43   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1861.84   |

Cuadro 15. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Darco, al nivel de máxima producción técnica. (Ha) (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 5022.33  | Kg      | 0.77   | 3867.19   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Nitrógeno              | 78.60    | Kg      | 0.28   | 22.01     |
| Transporte             | 1.84     | Hor/Maq | 28.00  | 51.52     |
| Procesamiento          | 5022.33  | Kg      | 0.28   | 1406.25   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1479.78   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1779.48   |

Cuadro 16. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Darco, al nivel de óptimo económico. (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 5022.06  | Kg      | 0.77   | 3866.99   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Nitrógeno              | 77.15    | Kg      | 0.28   | 21.60     |
| Transporte             | 1.84     | Hor/Maq | 28.00  | 51.52     |
| Procesamiento          | 5022.06  | Kg      | 0.28   | 1406.18   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1479.30   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1779.76   |

Cuadro 17. Margen bruto, ingresos, costos fijos y variables de la variedad Darco, producida mediante inoculación. (Ha) (El Zamorano, 1989).

| CONCEPTO               | Cantidad | Unidad  | Precio | VALOR (L) |
|------------------------|----------|---------|--------|-----------|
| INGRESOS               | 5195.52  | Kg      | 0.77   | 4000.55   |
| COSTOS FIJOS           |          |         |        | 607.93    |
| COSTOS VARIABLES       |          |         |        |           |
| Inoculante             | 0.60     | Lb      | 2.56   | 1.54      |
| Transporte             | 1.90     | Hor/Maq | 28.00  | 53.20     |
| Procesamiento          | 5195.52  | Kg      | 0.28   | 1454.75   |
| TOTAL COSTOS VARIABLES |          |         |        | 1509.48   |
| MARGEN BRUTO           |          |         |        | 1883.14   |

óptima económica son ligeramente superiores a los derivados de la máxima producción técnica de ambas variedades. Esto se debe a la escasa diferencia entre sus dosis óptimas correspondientes con las cuales se obtienen volúmenes de producción ligeramente mayores para el nivel de óptima producción técnica. Los costos variables resultantes presentaron un comportamiento similar, siendo levemente menores cuando se trabaja con las dosis óptimas económicas.

Sin embargo, los márgenes brutos obtenidos mediante la aplicación de inoculante, son considerablemente mayores a los resultantes de la fertilización nitrogenada trabajando en el nivel óptimo económico (11% con la variedad Siatsa 194 y 6% con la Darco).

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Jaquez et al. (1984) en Aguas Calientes, México; donde se encontró que la inoculación con productos específicos en soya, causó rendimientos significativamente mayores a los obtenidos con fertilización nitrogenada. Dadson y Acquash (1984), encontraron también que la inoculación resultó el tratamiento más económico en la producción de soya en la savana sur de Ghana. Por otro lado, Jiménez (1978), en un estudio realizado en Costa Rica, hace ver la conveniencia de la inoculación respecto a la fertilización nitrogenada en soya en términos de menor costo y facilidad de aplicación.

### 5. Análisis de Sensibilidad.

El análisis de sensibilidad (Cuadros 18 y 19) indica que a disminuciones en el precio de la soya y a encarecimientos del nitrógeno, las dosis óptimas económicas disminuyen. Por otra parte, estas dosis aumentan a medida que el precio de la soya sube y el del insumo baja, acercándose a las dosis de máxima producción técnica.

Sin embargo, las primeras nunca exceden a las segundas ya que cantidades superiores a las dosis óptimas técnicas ofrecen producciones marginales negativas (Bishop y Toussaint, 1982).

Cuadro 18. Cantidades óptimas económicas de nitrógeno a cambios en los precios del producto y el insumo para la variedad Siatsa 194 (Kg de N/Ha) (El Zamorano, 1987)

|                      |      | Precio de la Soya (L) |       |       |       |       |       |
|----------------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      |      | -20%                  | -10%  | 35.00 | +10%  | +20%  |       |
|                      |      | 28.00                 | 31.50 | 35.00 | 38.50 | 42.00 |       |
| Precio Nitrógeno (L) | +60% | 20.61                 | 74.11 | 74.50 | 74.82 | 75.07 | 75.28 |
|                      | +30% | 16.74                 | 74.77 | 75.09 | 75.34 | 75.55 | 75.72 |
|                      | +15% | 14.81                 | 75.10 | 75.38 | 75.60 | 75.79 | 75.94 |
|                      |      | 12.88                 | 75.43 | 75.67 | 75.87 | 76.03 | 76.16 |
|                      | -15% | 10.95                 | 75.76 | 75.96 | 76.13 | 76.26 | 76.38 |
|                      | -30% | 9.02                  | 76.09 | 76.26 | 76.39 | 76.50 | 76.60 |
|                      | -60% | 5.15                  | 76.74 | 76.84 | 76.92 | 76.98 | 77.03 |

Punto de Máxima Producción Técnica = 77.62 Kg de N/Ha.

Cuadro 19. Cantidades óptimas económicas de nitrógeno a cambios en los precios del producto y el insumo para la variedad Barco (Kg de N/Ha). (El Zamorano, 1989)

|                      |      | Precio de la Soya (L) |       |       |       |       |       |
|----------------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      |      | -20%                  | -10%  | 35.00 | +10%  | +20%  |       |
|                      |      | 28.00                 | 31.50 | 35.00 | 38.50 | 42.00 |       |
| Precio Nitrógeno (L) | +60% | 20.61                 | 75.72 | 76.04 | 76.29 | 76.50 | 76.68 |
|                      | +30% | 16.74                 | 76.26 | 76.52 | 76.73 | 76.89 | 77.04 |
|                      | +15% | 14.81                 | 76.53 | 76.76 | 76.94 | 77.09 | 77.22 |
|                      |      | 12.88                 | 76.80 | 77.00 | 77.16 | 77.29 | 77.40 |
|                      | -15% | 10.95                 | 77.07 | 77.24 | 77.37 | 77.48 | 77.58 |
|                      | -30% | 9.02                  | 77.34 | 77.48 | 77.59 | 77.68 | 77.76 |
|                      | -60% | 5.15                  | 77.88 | 77.95 | 78.02 | 78.07 | 78.11 |

Punto de Máxima Producción Técnica = 78.6 Kg de N/Ha.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

1. No existen diferencias en términos de rendimiento entre las variedades Siatsa 194 y Darco.
2. La variedad Siatsa 194 no responde a aplicaciones de fertilizante nitrogenado ni a inoculación.
3. La relación insumo - producto presenta la ley de rendimientos decrecientes y las tres etapas de producción a través de una función cuadrática. La maximización del margen bruto se halla en la etapa II de la función de producción. No es beneficioso operar en la etapa III con ninguna combinación de recursos, por el contrario, es agronómica y económicamente irracional.
4. La producción comercial del cultivo, puede soportar variaciones considerables en los precios del producto y del insumo.
5. A pesar de que ambos tratamientos generan rendimientos estadísticamente iguales, la inoculación con bacterias fijadoras del género Rhizobium japonicum ofrece mayor margen bruto que el nivel óptimo económico de fertilización nitrogenada.

### B. Recomendaciones

Debido al mayor margen bruto obtenido y a su menor costo y facilidad de aplicación, se recomienda utilizar inoculantes específicos para la producción de soya. La fertilización nitrogenada se justifica solo cuando no haya disponibilidad de inoculantes específicos, debiéndose aplicar únicamente las dosis óptimas económicas que garanticen la maximización de beneficios.

Los resultados y conclusiones del presente estudio deberán ser apoyados por estudios futuros a realizarse en la región, para poder ofrecer recomendaciones más confiables que midan las variaciones climáticas, edáficas, etc.

## VI. RESUMEN

El cultivo de la soya es de gran importancia en la producción de concentrados para alimento animal y de aceites para consumo humano, debido al alto porcentaje de proteína y grasa en sus semillas. Se ha determinado que el nitrógeno es el principal responsable de estas cualidades proteicas, así como del crecimiento y desarrollo fisiológicos en general; provenga éste de fertilizantes o por medio de fijación simbiótica.

La finalidad del presente estudio fue determinar si la inoculación con bacterias fijadoras del género Rhizobium japonicum ofrece mayor beneficio económico que el nivel de máximo beneficio de la fertilización nitrogenada de las variedades Siatsa 194 y Darco en las condiciones de suelo y clima de la Escuela Agrícola Panamericana.

Para tal efecto, se aplicaron un inoculante específico para soya y cuatro niveles de nitrógeno 0 / 50 / 100 / 150 Kg/Ha en forma de urea.

Las dosis óptimas económicas obtenidas fueron 75.35 Kg de N/Ha con la variedad Siatsa y 77.13 Kg de N/Ha con la Darco.

El estudio indicó que a pesar de que los rendimientos

derivados de la inoculación y las dosis óptimas económicas resultaron estadísticamente iguales, los márgenes brutos correspondientes fueron superiores con la inoculación.

## VII. LITERATURA CITADA

AGRICULTURAL COMPENDIUM. 1985. The Netherlands Ministry of Agriculture and Fisheries. The Hague, Netherlands, Elsevier. 721 p.

BARNI, A.; GONZALVES, C.; GOMEZ, E. 1978. Respuesta de la soya (Glycine max (L.) Merrill) a fertilización nitrogenada en la floración. Agronomía Sulriogradense 14(2):251-260.

BISHOP, E.; TOUSSAINT, B. 1982. Introducción al análisis de economía agrícola. México D.F., México, Limusa. 262p.

BOUYOUKOS, C. 1951. Recalibration of hydrometer methods for making mechanical analysis of soil. Agronomy Journal 43(9):434-438.

CARMEN, M., VARELA, R. 1983. Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno por el cultivo de la soya (Glycine max (L.) Merrill) en un suelo del Valle. Tesis Ing Agr. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. 72 p.

- DADSON, R.B.; ACQUAAH, G. 1984. Rhizobium japonicum, nitrogen and phosphorus effects on nodulation, symbiotic fixation and yield of soybean (Glycine max (L.) Merrill) in the southern savanna of Ghana. Field Crops Research 9(2):91-100.
- DOLL, J.P.; ORAZEM, F. 1978. Production economics. New York, EE.UU., Wiley. 470 p.
- DOMMERGUES, R.; DIEM, G. 1982. Microbiology of tropical soils and plant productivity. Boston, EE.UU.. Junk Publishers. 73 p.
- EDJE, O.T.; MUNGHOGHO, L.; AYONDADO, U. 1975. Responses of dry beans to varying nitrogen levels. Agronomy Journal 67(3):251-255.
- ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1973. La Soja. Madrid, España. 42 p.
- FAO. 1982. Soybean production in the tropics. Roma, Italia. 209 p.
- FAO. 1985. La fijación simbiótica de nitrógeno en la explotación de los suelos. Roma, Italia. 187 p.

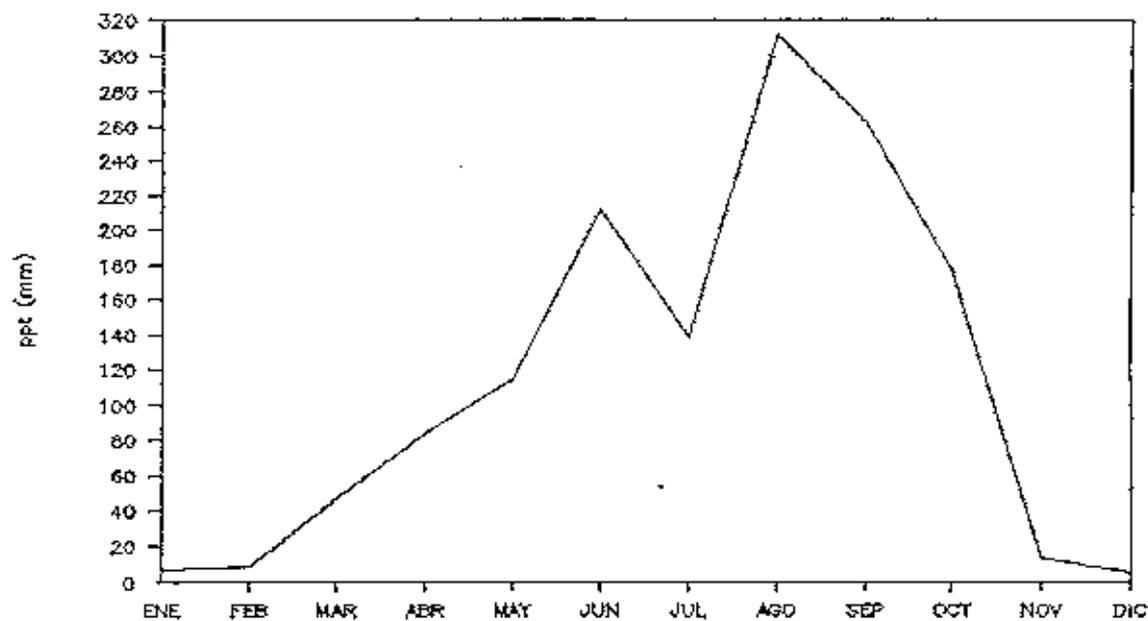
- GIBSON, M.; DREYFUS, L.; DOMMERGES R. 1982. Nitrogen fixation by legumes in the tropics. Boston, EE.UU. Junk Publishers. 75 p.
- HARPER, J.E. 1974. Soil and simbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. Crop Science 2(14):255-260.
- HEADY, E.O., DILLON, J.L. 1972. Agricultural production functions. Ames, Iowa. The Iowa State University Press. 667 p.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- JAUQUEZ, E., et al. 1984. Efecto de tres inoculantes y sus interacciones con niveles de nitrógeno y fósforo sobre el rendimiento y contenido de proteína en soya (Glycine max (L.) Merrill). Agrociencia 55(55):59-71.
- JIMENEZ, T. 1978. Efecto de la inoculación y fertilización nitrogenada y fosfórica sobre la producción de soya (Glycine max (L.) Merrill). Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 61 p.

- JIMENEZ, T.; VILLALOBOS, E. 1980. Respuesta del frijol soya a la inoculación con Rhizobium japonicum y a la fertilización con nitrógeno y fósforo en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 4(1):1-8.
- JUST, R.; POPE, R. 1979. Production functions estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics* 2(61):276-284 pp.
- MANGUAL C.; G. KLUSON, R.; SCHROEDER, E. 1987. Nitrogen levels and Rhizobium sp. inoculation and yields of native white bean (Phaseolus vulgaris). *The Journal of Agriculture of University of Puerto Rico* 71(1):1-6.
- PEECH, M. 1965. Hidrogen-ion activity. Black, C. A., et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. 913-926 pp.
- SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnósticos de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. 107 p.
- SALINAS, G. 1973. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción de soya (Glycine max (L.) Merrill). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 70 p.

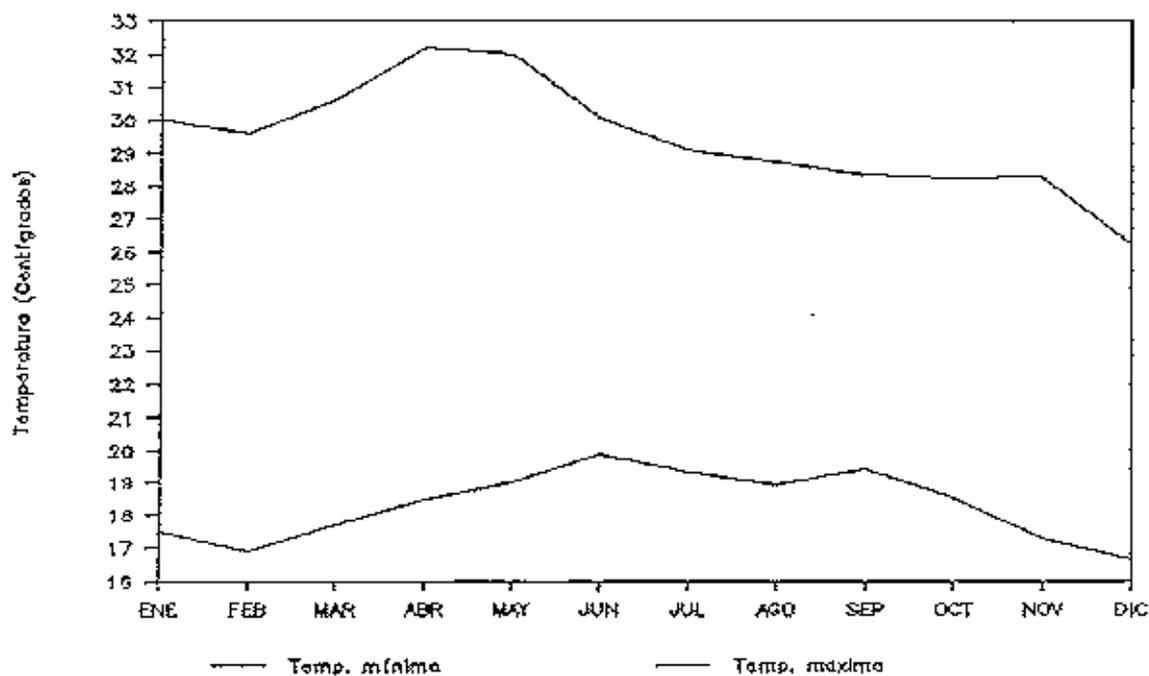
SAUMELL, H. 1977. Soja, información técnica para su mejor conocimiento y cultivo. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. 143 p.

STANLEY, M.; HUBARD, E. 1983. Soybean utilization in Georgia: Sources, production and disposition. Georgia Agricultural Experiment Station, University of Georgia. 19 p.

VIII. ANEXOS

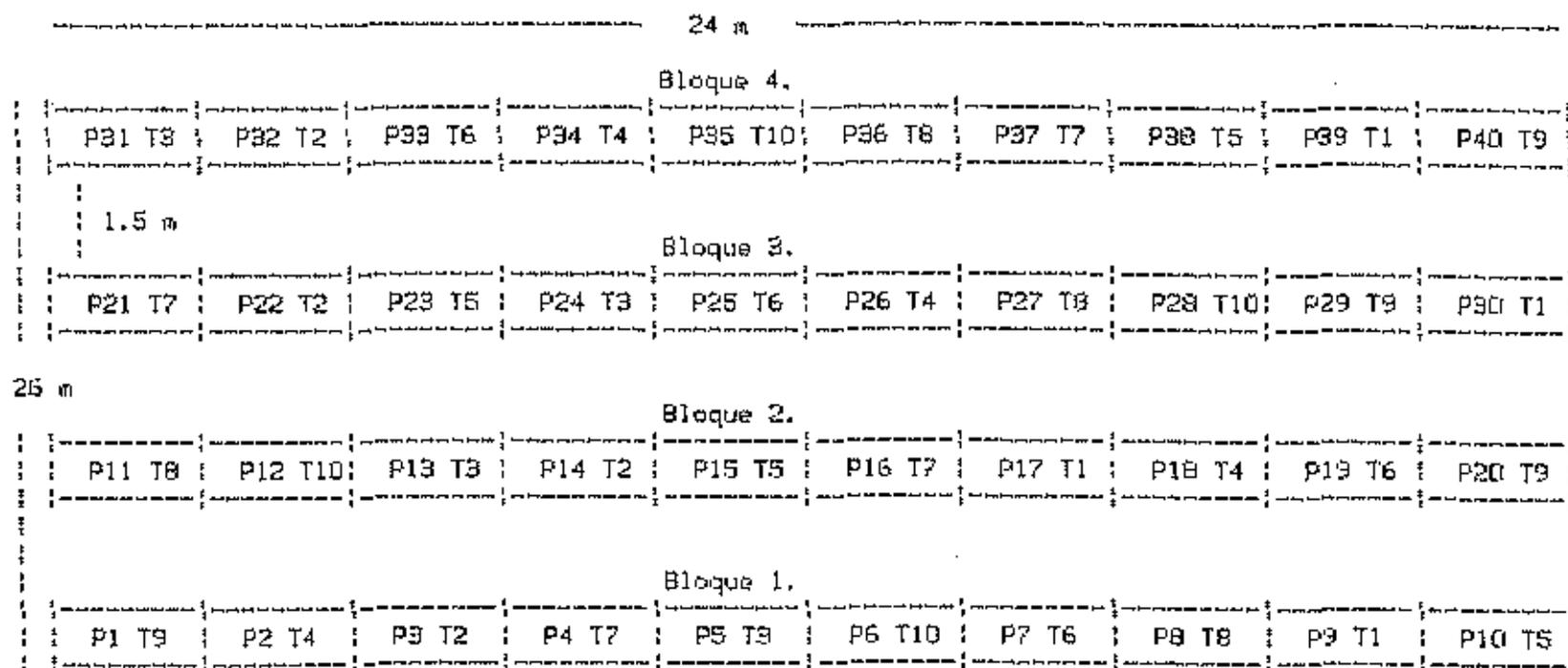


Anexo 1. Precipitación mensual promedio en 1988 registrada en la estación climatológica de El Zamorano (El Zamorano, 1988)



Anexo 2. Temperaturas mínima y máxima en 1988 registradas en la estación climatológica de El Zamorano (El Zamorano, 1988)

Apéndice 3. Distribución de los tratamientos en el área experimental.  
(El Zamorano, 1988).



P = Número de Parcela

T = Número de Tratamiento

Anexo 4. Rendimientos (Kg) obtenidos en el experimento  
(El Zamorano, 1989).

| PARC. Nua. | REP. | UNID. ESP. | DOSIS | PLANT. | RENDIM./ PARCELA | % DE HUMEDAD | REND. A 14% Húe. | REND./HA Kgs. |
|------------|------|------------|-------|--------|------------------|--------------|------------------|---------------|
| 1          | 1    | T1         | 0     | 60     | 1848.90          | 11.30        | 2290.67          | 5726.68       |
| 2          | 1    | T2         | 50    | 77     | 1310.00          | 11.01        | 1665.76          | 3244.98       |
| 3          | 1    | T3         | 100   | 60     | 1044.00          | 11.08        | 1319.13          | 3297.83       |
| 4          | 1    | T4         | 150   | 77     | 1501.10          | 11.08        | 1896.70          | 3694.86       |
| 5          | 1    | T5         | 1     | 67     | 2054.90          | 11.30        | 2545.27          | 5698.38       |
| 6          | 1    | T6         | 0     | 83     | 1578.80          | 11.08        | 1994.87          | 3605.19       |
| 7          | 1    | T7         | 50    | 75     | 1506.50          | 10.94        | 1927.62          | 3855.25       |
| 8          | 1    | T8         | 100   | 62     | 1833.00          | 11.70        | 2193.33          | 5506.45       |
| 9          | 1    | T9         | 150   | 70     | 1384.30          | 10.94        | 1771.50          | 3796.07       |
| 10         | 1    | T10        | 1     | 62     | 1663.40          | 11.37        | 2046.16          | 4955.23       |
| 11         | 2    | T1         | 0     | 69     | 1650.00          | 10.94        | 2111.52          | 4590.26       |
| 12         | 2    | T2         | 50    | 68     | 1756.10          | 11.37        | 2162.30          | 4769.79       |
| 13         | 2    | T3         | 100   | 65     | 1772.20          | 11.23        | 2209.33          | 5098.46       |
| 14         | 2    | T4         | 150   | 71     | 2022.60          | 11.99        | 2361.67          | 4989.44       |
| 15         | 2    | T5         | 1     | 57     | 1631.50          | 11.99        | 1905.00          | 5013.17       |
| 16         | 2    | T6         | 0     | 70     | 1921.90          | 12.21        | 2203.65          | 4722.11       |
| 17         | 2    | T7         | 50    | 71     | 1871.00          | 11.30        | 2318.05          | 4897.30       |
| 18         | 2    | T8         | 100   | 70     | 1665.50          | 11.37        | 2050.75          | 4394.46       |
| 19         | 2    | T9         | 150   | 74     | 1721.40          | 11.30        | 2132.71          | 4209.29       |
| 20         | 2    | T10        | 1     | 68     | 1743.50          | 11.15        | 2189.65          | 4830.11       |
| 21         | 3    | T1         | 0     | 78     | 1591.00          | 12.11        | 1839.31          | 3537.13       |
| 22         | 3    | T2         | 50    | 75     | 1960.40          | 13.09        | 2096.68          | 4193.37       |
| 23         | 3    | T3         | 100   | 58     | 1789.20          | 13.53        | 1851.35          | 4787.98       |
| 24         | 3    | T4         | 150   | 62     | 1997.40          | 13.00        | 2151.05          | 3934.84       |
| 25         | 3    | T5         | 1     | 59     | 1790.00          | 13.24        | 1892.75          | 4812.07       |
| 26         | 3    | T6         | 0     | 71     | 1881.50          | 11.70        | 2251.37          | 4756.41       |
| 27         | 3    | T7         | 50    | 77     | 1834.80          | 11.50        | 2233.67          | 4351.30       |
| 28         | 3    | T8         | 100   | 76     | 2198.40          | 11.50        | 2676.31          | 5282.20       |
| 29         | 3    | T9         | 150   | 66     | 1785.90          | 12.05        | 2074.90          | 4715.69       |
| 30         | 3    | T10        | 1     | 70     | 1860.50          | 11.30        | 2305.04          | 4939.38       |
| 31         | 4    | T1         | 0     | 70     | 1716.00          | 11.15        | 2154.62          | 4617.04       |
| 32         | 4    | T2         | 50    | 65     | 1816.60          | 12.51        | 2032.97          | 4691.46       |
| 33         | 4    | T3         | 100   | 55     | 1790.60          | 13.73        | 1825.81          | 4979.49       |
| 34         | 4    | T4         | 150   | 58     | 1744.10          | 11.99        | 2036.48          | 5266.76       |
| 35         | 4    | T5         | 1     | 60     | 1679.30          | 11.57        | 2032.00          | 5079.99       |
| 36         | 4    | T6         | 0     | 68     | 1789.20          | 13.28        | 1886.20          | 4160.75       |
| 37         | 4    | T7         | 50    | 57     | 1479.70          | 11.99        | 1727.76          | 4546.73       |
| 38         | 4    | T8         | 100   | 64     | 2400.00          | 13.58        | 2474.23          | 5798.97       |
| 39         | 4    | T9         | 150   | 41     | 977.50           | 11.43        | 1197.29          | 4380.32       |
| 40         | 4    | T10        | 1     | 61     | 1962.10          | 11.70        | 2347.81          | 5773.31       |