

03062  
19. 7

Universidad Nacional Autónoma de México  
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONALES Y DE  
POSGRADO DEL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
CENTRO DE INVESTIGACION SOBRE FIJACION  
DE NITROGENO



LIMITANTES PARA LA APLICACION DE  
LA INVESTIGACION SOBRE FIJACION  
BIOLOGICA DE NITROGENO A LA  
AGRICULTURA.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN INVESTIGACION  
BIOMEDICA BASICA

TESIS CON  
FALLA DE OMBRA

P R E S E N T A

MARIA ESPERANZA MARTINEZ ROMERO

GUERNAVACA, MOR.

1 9 8 3



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Introducción

Con la creación del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN) se estableció la oportunidad de iniciar nuevas áreas de investigación. Los esfuerzos de una parte del Centro se orientaron hacia los aspectos básicos de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) tomando como modelo la simbiosis Phaseolus vulgaris - Rhizobium phaseoli la cual ofrecía ventajas muy atractivas desde el punto de vista básico. Por ser México el centro de diversificación del frijol, contamos con una enorme diversidad de Phaseolus y de Rhizobium phaseoli.

La fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) es considerada como una área de investigación con posibilidades de poder aplicarse al desarrollo de la agricultura (Hardy y Havelka, 1975). En países como Brasil (Dobereiner y Duque, 1980) y Australia (Postgate, 1978) la investigación sobre FBN ha permitido en gran medida prescindir de los fertilizantes químicos nitrogenados.

La estrategia general para aplicar la investigación sobre FBN a la agricultura ha sido la selección y la introducción (inoculación) al campo de cepas de Rhizobium eficientes fijadoras de nitrógeno. Sin embargo, con Rhizobium phaseoli, la inoculación no ha sido exitosa en México, no hay diferencia en el rendimiento de un cultivo inoculado y otro no inoculado. Las posibilidades previstas de llegar a manipular genéticamente a Rhizobium en el CIFN, basadas en el conocimiento generado de la investigación básica, fueron el fundamento para que propusiera evaluar las perspectivas y necesidades de aplicar la investigación sobre FBN a la agricultura en México.

## Objetivo

En el contexto señalado consideré conveniente proponer un proyecto explorativo con el objeto de responder a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son los factores que limitan el rendimiento del cultivo del frijol en México?
- 2) ¿Cuáles son los factores que limitan la respuesta a la inoculación con Rhizobium?

Para resolver estas preguntas propuse llevar a cabo un análisis del cultivo del frijol en una perspectiva muy amplia que incluye los siguientes aspectos:

- Importancia del cultivo del frijol

Perspectiva histórica

Valor nutricional

- Producción

Limitantes agronómicas: irrigación, plagas y enfermedades

Evaluación económica

- Evaluación de la fijación de nitrógeno del frijol
- Problemas de inoculación

Las estrategias para llevar a cabo esta exploración han sido el recabar y discutir la información sobre los aspectos mencionados con investigadores de EMBRAPA (Em-

presa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria, Rio de Janeiro y Brasilia, Brasil), del CIAT (Centro Internacional sobre Agricultura Tropical, Cali, Colombia), de la Universidad de Davis California, de la SARH (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos), del INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas), del CP (Colegio de Posgraduados) de Chapingo, de PRONASE (Productora Nacional de Semillas), del SAM (Sistema Alimentario Mexicano), del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo).

Presento la información obtenida como el fundamento estructural que me permite llegar a establecer conclusiones sobre la aplicación de la investigación sobre FBN al cultivo del frijol y las perspectivas para aplicar la fijación de nitrógeno a la agricultura.

## Importancia del Cultivo del Frijol

### Perspectiva Histórica

Se estima que el frijol (Phaseolus vulgaris) fue "domesticado" en México hace 7000 años según los hallazgos arqueológicos encontrados en la Cueva de Coxtlán en Tehuacán, Pue. (Kaplan, 1965). En la fig. 1 se muestran los sitios en donde se han encontrado restos de semillas de frijol y su antigüedad.

Linneo (1753) supuso que el frijol era originario de la India, posteriormente se pensó que era originario de Asia Occidental o de América del Sur. Actualmente se sitúa el área de origen del frijol en México y Guatemala (Gentry, 1969). A lo largo de una franja que se extiende desde el Sur de México hasta Honduras se han encontrado formas silvestres de P. vulgaris. En la fig. 2 se muestra la distribución de estas variedades silvestres en México (Miranda, 1967; Gentry, 1969).

Ha habido controversias en la definición del género Phaseolus. Actualmente se considera que este género comprende alrededor de 50 especies (Baudet, 1977), todas existen en México. Para el consumo humano se utilizan Phaseolus vulgaris (frijol), Phaseolus coccineus

(ayocote), Phaseolus lunatus (comba), Phaseolus acutifolius (teparí). En la fig. 1, se muestran los hallazgos arqueológicos de éstos y su antigüedad.

Hasta el siglo XVI, el frijol sólo se cultivó en América, actualmente se cultiva en la mayoría de los países del mundo. Hay una gran gama de variedades de Phaseolus vulgaris. El CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) en Colombia, cuenta con 10 000 colectas de semillas y el Banco de Germoplasma del INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas) en México cuenta con 5 000.

En la tabla 1 se muestran algunas variedades de frijol recomendadas por el INIA para utilizarse en México.

#### Valor nutricional

El frijol es la leguminosa que más se consume en México y en otros países como Brasil, Colombia, etc. Es la principal fuente de proteínas para la población de recursos limitados. La semilla de frijol tiene alrededor de un 25% de proteínas (Ortega, 1979) y el grano de maíz menos del 10% (Johnson y Lay, 1974). Al igual que otras leguminosas, el frijol no suple los requerimientos de metionina de la dieta humana (Ta-

bla 2) pero compensa la baja concentración de lisina que tiene el maíz. Juntos maíz y frijol tienden a compensar los requerimientos de aminoácidos esenciales, aunque los niveles de metionina quedan por debajo de lo recomendado para mujeres embarazadas y niños.

Los frijoles, al igual que otras leguminosas tienen factores que limitan su aprovechamiento tales como inhibidores de tripsina y hemaglutininas y antimetabolitos como la estaquiosa. Otras leguminosas además tienen estrógenos (Delwiche, 1978), aminoácidos tóxicos como la mimosina (NAS, 1977) y otros factores que los hacen inaceptables para la alimentación humana.

El consumo de frijol está determinado por las preferencias locales, lo que hace difícil la introducción de variedades mejoradas.

### Producción

En la figura 3 se muestran las curvas de producción y de consumo del frijol en México (SAM, 1980). Se observa que a partir de 1975 la demanda rebasa a la producción. En estos años se cubrió el déficit importando frijol de E.E.U.U. En 1981 se logró equiparar la producción con el consumo, este aumento en la produc-

ción se debió a un aumento de un 20% en el rendimiento por hectárea y a un aumento de un 40% en el área cultivada. Se esperaba que la producción de frijol en 1982 fuera de 1 562 000 toneladas para mantener la autosuficiencia. Según los datos oficiales, se obtuvo una producción de 1 093 079 toneladas en 1982 con un rendimiento de 0.63 ton/ha, no obstante la sequía que afectó vastas áreas del país.

El rendimiento promedio en 1981 fué de 0.68 toneladas de frijol/ha; el promedio de los 5 años anteriores fué de 0.56 ton/ha (SAM, SARH, 1982). El rendimiento en Brasil, el mayor productor de frijol en Latinoamérica, es en promedio 0.5 ton/ha.

En la tabla 3 se muestran los rendimientos que se obtuvieron de varios cultivos entre 1972 y 1974. En el primer renglón se tienen los rendimientos de frijol, en la columna 1 se muestra el rendimiento máximo alcanzado (A) y el país donde se obtuvo (URSS en el caso del frijol); el promedio de los 10 países con los rendimientos más altos en la columna 2; el promedio mundial (B) en la columna 3; la relación entre el rendimiento de la URSS y el rendimiento mundial ( $A/B$ ) en la columna 4; el rendimiento máximo alcanzado (C) en la columna 5 y la relación entre el rendimiento máximo alcanzado y el rendimiento mundial ( $C/B$ ) en la columna 6.

El frijol es, comparado con los otros 7 cultivos de la tabla 3, el que tiene el mayor índice  $A/B$  y  $C/B$ , lo que indica que existe un margen para incrementar el rendimiento por hectárea en México y en otros países con rendimientos bajos. Este margen está acotado por condiciones climáticas no modificables: duración del día, temperaturas (diurna/nocturna), etc.

## Problemas agronómicos

Los problemas que limitan el rendimiento del cultivo del frijol, tanto en México como en Latinoamérica son: 1) la falta o exceso de agua, 2) las plagas y enfermedades (aspectos revisados por Graham, 1978), 3) la tecnología inadecuada (baja densidad de población, variedades no mejoradas, malezas, etc.).

### Irrigación

Alrededor del 85% del área cultivada con frijol en México es bajo condiciones de temporal. En 1980 esta área fué el 85.86%, los rendimientos en ese año fueron 1 302 t/ha en riego y 0.525 t/ha en temporal (SAM, 1980). Los datos reportados por la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) son: porcentaje de áreas bajo temporal, 86.67%; rendimiento en riego, 1.04 t/ha; rendimiento en temporal, 0.51 t/ha para 1980. El rendimiento por hectárea en riego fué aproximadamente el doble que el de temporal.

El frijol se siembra en una gran diversidad de sistemas agrícolas: asociado, intercalado, en relevo con otros cultivos (Turrent, A., 1983). Actualmente el 65% de la superficie sembrada con frijol se siembra junto con maíz (SARH, 1980), el frijol asociado se siembra en temporal y a bajas densidades de plantas por hectárea. Las bajas densidades de siembra explican, en parte, los bajos rendimientos que se obtienen.

De la Dirección General de Economía Agrícola de la

SARH se obtuvieron los datos para elaborar los cuadros I, II, III, IV y V, en los que se muestran rendimientos por estado para diferentes condiciones de cultivo, riego, temporal, fertilizado, no fertilizado (cuadros I-IV) y el promedio está indicado con una barra. Se observa que la disponibilidad de agua marca una clara diferencia en el rendimiento. Los rendimientos en riego tienden a ser más altos que en temporal, en promedio son alrededor de dos veces mayores, esta diferencia no se observa entre las condiciones fertilizadas y sin fertilizar.

También se observa que los valores se encuentran ampliamente distribuidos, para una condición dada se encuentran diferencias hasta de 1.8 toneladas entre dos puntos. Estos valores graficados ya son promedios de valores de los rendimientos reales los cuales están probablemente aún más dispersos. Desafortunadamente, estos últimos datos no los recaban las instituciones de Agricultura en México, con ellos se podrían calcular parámetros de distribución del rendimiento, valiosos para hacer predicciones. Se presentan los datos del rendimiento por municipios del Estado de Morelos, los valores más bajos obtenidos se obtuvieron en temporal, cuadro V (SARH, Morelos).

En la figura 4 se muestran los porcentajes de la superficie total cosechada y el porcentaje de la producción obtenida en diferentes condiciones. De los datos no muestra-

dos de la figura 4a y b se calculó que en el 13% del área cosechada (el área de riego) se obtuvo el 30% de la producción. En las primeras dos gráficas de la figura 4 se observa que existe una asociación entre riego y fertilización. El 74% del área de riego se fertiliza mientras que sólo se fertiliza el 22% del área de temporal. Esta asociación de factores tiende a ser válida también para otras prácticas y condiciones de cultivo (Banrural, 1981) como son deshierbar, usar se milla mejorada, plaguicidas, herbicidas, fungicidas, suelos planos y profundos en riego, etc., que incremen tan el rendimiento, por lo que no es válido adjudicar toda la diferencia de rendimiento entre riego y tempo ral (figura 4c) a la disponibilidad de agua. De nuevo se observa (figura 4d) que la fertilización, sin tomar en cuenta otras condiciones no representa ninguna ven taja.

#### Plagas y enfermedades

Existe un amplio rango de condiciones ecológicas en las que se cultiva el frijol en México, así como una gran diversidad de tipos de frijol, por lo que los problemas epidemiológicos también son muy diversos, pudiendo ser severos en unas áreas y leves en otras. No hay datos para calcular las pérdidas globales por pató genos e insectos. Los rangos de los estimados son amplios e inciertos. Se estima que en México se pierde

un 33-86% del rendimiento esperado por ataques de insectos y alrededor del 30% debido a enfermedades (Miranda, 1971).

Se han descrito alrededor de 200 enfermedades del frijol (Graham, 1978). En México, las enfermedades más comunes en los últimos 25 años han sido causadas por hongos: la roya (Uromyces phaseoli), antracnosis (Colletotrichum lindemuthianum), la pudrición de la raíz (Thielaviopsis basicola) y por bacterias: el tizón común (Xanthomonas phaseoli) y el tizón de halo (Pseudomonas phaseolicola) (Yerkes, 1956; Crispin, 1976).

Se han podido obtener variedades de frijol resistentes o tolerantes a algunas de estas enfermedades, sin embargo, con el tiempo se ha observado que las variedades resistentes también son severamente infectadas, se piensa que esto se debe a la diversidad biológica del patógeno (Crispin, 1976).

Entre 1970 y 1975 algunas áreas del noroeste, del suroeste y del centro de México sufrieron pérdidas de alrededor del 75% a causa del virus del mosaico común (VMC) (Laborde, 1967; Crispin, 1976; Hampton, 1975). Actualmente el INIA cuenta con algunas variedades de

frijol resistentes al VMC (INIA, CIAB, 1981).

El virus del mosaico común es un problema en todos los países de Latinoamérica (Graham, 1978). Su amplia difusión se debe a que puede ser propagado por la misma semilla. Es probable que ningún virus posea un mecanismo de penetración, son transmitidos por vectores como áfidos, pulgones y diversos insectos (Hampton, 1975).

Existen alrededor de 200 especies de insectos que causan daños al frijol de diversas maneras, trozan los tallos, mastican el follaje, se alimentan de los cotiledones, succionan la savia, inyectan tóxicos y transmiten enfermedades. La conchuela (fig. 5) (Epilachna varivestis Muls) es la principal plaga de frijol en México (García y Sosa, 1973), los daños los producen tanto las larvas como los adultos y las pérdidas en la producción son función del grado de infestación (de la Paz, et al, 1975) y de la variedad de frijol (Wolfenbarger y Sleesman, 1961).

Otros insectos dañinos son: chicharrita (Empoasca SPP), el principal problema en América Latina; el picudo del ejote (Apion goldmani); mosquita blanca

(Trialeurodes vaporariorum, Tetraleuroides acaciae);  
doradilla (Diabrotica spp), minador de hoja (Chalepus  
signaticollis, Liriomyza pictella), gorgojos (Acanthos-  
celidea obtectus), (Graham, 1978; Dr. Lagunes, T., CP  
Chapingo, comunicación personal).

El control de las plagas del frijol se ha llevado a cabo utilizando insecticidas, algunos, como los piretroides, son muy tóxicos para el hombre, El uso desmedido e inadecuado de insecticidas ha seleccionado insectos resistentes. El control biológico no ha tenido repercusiones importantes, sin embargo parece una alternativa muy atractiva que ha tenido éxito en otros casos como en el Programa MOSCAMED de México para combatir la mosca del Mediterráneo (Gibbs y Eerde, 1981).

Para prevenir las enfermedades y las plagas del frijol se recomienda sembrar a baja densidad plantas de arquitectura erecta; de ciclos cortos y además recurrir al policultivo.

Las enfermedades y plagas afectan todos los cultivos en todos los países del mundo, las pérdidas son más dramáticas en países de clima cálido y húmedo.

En E.E.U.U. se estima una disminución en el rendimiento de un 30% en los cultivos del algodón y de la

soya debido a insectos y enfermedades y una pérdida probable del 10% para alfalfa y frutas. Se calcula que la pérdida mundial en el rendimiento de los cultivos es de un 45% (Adkisson, 1981). En la fig. 6 se muestra el déficit mundial en cereales y las pérdidas debidas a plagas y enfermedades que atacan antes y después de la cosecha.

Combatir las enfermedades y plagas de los cultivos representa un gran reto, ya que todo indica que mientras más comestible es el cultivo y mayor la densidad de plantas en la siembra, también es mayor la susceptibilidad a las plagas (Mattson, 1980).

#### Análisis económico

Las alternativas para aumentar la producción del frijol son: 1) incrementar el rendimiento por hectárea, 2) aumentar el área sembrada.

En la última década el aumento en la producción de frijol en América Latina se debió al incremento en el área cultivada. El área sembrada con frijol depende de las expectativas de ganancia del productor. Los precios altos de garantía son incentivos para el campesino (Sanders y Alvarez, 1978).

Para evaluar los factores que determinan la rentabilidad del cultivo de frijol realicé el siguiente análisis

lisis teórico de sensibilidad utilizando el interés al equilibrio (i)\* (Negrete, 1981) como variable de respuesta. Se asignaron costos de producción por hectárea para, un amplio rango de niveles tecnológicos, se asignaron los rendimientos y se calculó la i de la siguiente ecuación (Tarquín y Blanck, 1978).

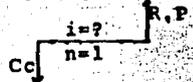
$$Cc = R P \frac{1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

donde Cc = costos de cultivo  
 R = rendimiento en toneladas  
 P = precio de garantía por tonelada  
 n = número de años

Los costos de los insumos fueron proporcionados por PRONASE, FERTIMEX, Insecticidas del Pacífico y el precio de garantía del frijol por CONASUPO. Los costos de operación que incluyen preparación del suelo, siembra, labores de cultivo (deshierbe, escarda) y cosecha se tomaron de estimados de BANRURAL (1981) e INIA (1981), que cubren varias regiones de 25 estados de la República (fig. 7), no se tomó en cuenta el costo de la tierra. En riego se consideró un costo fijo por concepto de agua (Tabla 4).

Los costos totales de producción se obtuvieron sumando

\* i es la tasa de interés anual (en porciento) que aplica-  
 da al beneficio bruto del cultivo lo iguala al costo. Es  
 la "i al equilibrio" es decir, actualiza el valor del pre-  
 cio de garantía por el rendimiento al valor del costo de  
 cultivo de acuerdo al siguiente diagrama



los costos de los insumos y los costos de operación (Tabla 5), los valores así obtenidos quedan comprendidos dentro del rango de costos totales de INIA y BANCORURAL (fig. 8).

Los rangos para los rendimientos se obtuvieron de la tabla 3 y de los cuadros I al IV.

Para hacer el análisis se considera un solo cultivo de frijol al año, se supuso que todos los gastos se realizan al principio del año agrícola y que los beneficios se obtienen al final de ese año. Se calcularon desde  $C_1$  (costo mínimo) hasta  $C_m$  (costo máximo) las  $i$ 's que cumplen con la ecuación 1, utilizando un precio de garantía de \$16,000/ton y los diferentes rendimientos: 0.2, 0.5, 1, 2 y 3 ton/ha (fig. 9a). También se calcularon las  $i$ 's en función de diferentes rendimientos fijando tres diferentes costos totales de cultivo: un costo mínimo ( $C_{min}$ ) de \$2000/ha, un costo medio ( $C_{med}$ ) de \$7,500/ha y un costo máximo ( $C_{max}$ ) de \$14,000/ha. En la tabla 5 se detalla lo que incluyen estos diferentes costos. Se consideró un precio de garantía de \$16,000/ton (—) o de \$21,100/ton (---) (fig. 9b). \$21,100/ton es el precio de garantía anunciado para la cosecha de 1982.

En la parte inferior de la fig. 9a se marcan los rangos sobre los que se pueden variar los costos de operación, de insumos, de fertilizantes y de fertilizante nitrogenado.

Estos resultados muestran que la interacción entre los costos y el rendimiento determinan la rentabilidad del cultivo, también explican que en cultivos de alto riesgo (en temporal) el agricultor decida invertir poco. Ver, por ejemplo, en la fig. 9a la curva con rendimiento de 0.2 tons/ha en la que los costos mayores de \$3,000.00 implican  $i$  negativas. Tal decisión repercute también en las probabilidades para obtener mejores rendimientos, ya que una menor inversión seguramente suprime el uso de fungicidas, insecticidas, herbicidas y otros cuidados del cultivo que aumentarán aún más el riesgo de perder el cultivo. Con este argumento parecería válida la actitud del gobierno de subsidiar estos insumos para promover su utilización.

La " $i$ " al equilibrio en general, es más sensible a los rendimientos que a los costos de cultivo. Aquellos costos para los que las  $i$ 's son más sensibles generalmente se encuentran por debajo de los

gastos reales que se necesitan para obtener buenos rendimientos, por lo que parece válido concluir que el abatir el riesgo de perder el cultivo y asegurar rendimientos adecuados son medidas importantes para incrementar la rentabilidad del cultivo y favorecer la producción del frijol.

#### El frijol como fijador de Nitrógeno

El frijol, al igual que muchas otras leguminosas (Allen y Allen, 1981) puede establecer simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno (Rhizobium) las cuales forman nódulos en sus raíces y le proporcionan a la planta el nitrógeno que necesita. Uno de los indicadores del funcionamiento de la simbiosis es la respuesta en el rendimiento del cultivo a diferentes dosis de nitrógeno. En la fig. 10 se muestra una respuesta modelo del rendimiento en función de diferentes dosis de fertilizantes cuando se encuentran noduladas (fijando N) (—) o no (----) las leguminosas, tales como el frijol o la soya. Las plantas noduladas no necesitan fertilizantes porque las bacterias les proporcionan el nitrógeno que necesitan (fig. 10a). Cuando la fijación de nitrógeno no es eficiente, se tiene una respuesta diferente, una curva ascendente en función del fertilizante (fig. 10b). En otros casos, el rendimiento de las plantas noduladas puede disminuir con dosis bajas de fertilizantes que inhiben la FBN y no com

piensan la cantidad de N que la planta hubiera obtenido por la simbiosis (fig. 10c). Dosis altas de nitrógeno inhiben la nodulación y la fijación y en esta situación las plantas utilizan el fertilizante químico como su principal fuente de N (fig. 11). Los cereales, que no poseen la capacidad de establecer simbiosis y aprovechar el N atmosférico, dependen completamente del amonio o nitrato añadido, los rendimientos son función del fertilizante tal como lo son los de las leguminosas no noduladas. Es muy importante evaluar las necesidades de fertilización de los cultivos de leguminosas para evitar que el fertilizante supla el nitrógeno que naturalmente podría obtener la planta.

Para determinar si el cultivo de frijol está limitado por el nitrógeno (disponible) revisé los trabajos sobre fertilización llevados a cabo en distintos lugares de México y con diferentes variedades de frijol. La mayor parte de estos trabajos no sirven para nuestros propósitos porque omiten los controles con cero kilogramos de nitrógeno (con o sin fósforo) como se observa en la figura 12.

En el caso de las leguminosas a diferencia de lo que ocurre con los cereales, el analizar experimentos

en los que sólo se cubre cierto rango de dosis puede llevar a conclusiones equívocas. Esto se ejemplifica claramente si se omite el cero de la fig. 10c con lo que se obtiene una curva ascendente en respuesta a la fertilización. Al elegir la dosis de nitrógeno a recomendar, seguramente se escogerá alrededor de 60 kg, para obtener un rendimiento semejante al que se hubiera obtenido sin nitrógeno. En la tabla 6 se presenta un resumen de la información recopilada sobre fertilización con la indicación de las figuras de las que se hace referencia.

En la fig. 13 se muestran datos de experimentos de condiciones de temporal, en los que se incluye el control sin fertilizar (Caballero et al., 1976). En 13a y f observamos que con ninguna dosis de fertilizante (30, 60, 90 y 120 kg N/ha) se alcanza el rendimiento obtenido sin añadir nitrógeno. Lo mismo se observa en 13g (Requejo, 1981). Estos datos sugieren que la fijación de nitrógeno está funcionando óptimamente y que el cultivo no está limitado de nitrógeno.

En los otros casos, a diferencia de los anteriores, los rendimientos son muy bajos debido a las condiciones de cultivo: plagas (fig. 13,b,c,e); exceso de humedad en los casos b y c, y en los d y e sequía. Cuando hay sequía, el fertilizante no se disuelve y no es accesible a la planta, y esto en cierta manera es

equivalente a no haber añadido nitrógeno. Una producción de media tonelada es equivalente a aproximadamente 40 kg de N incluido el material vegetativo y el grano (ver tabla 7), en 3 de los 4 casos revisados el rendimiento está por debajo de media tonelada. Estos rendimientos bajos se pueden obtener simplemente con el nitrógeno disponible del suelo y con el nitrógeno de la mineralización de la materia orgánica. Los datos de la fig. 13 son de cultivos en asociación con el maíz, donde los rendimientos de maíz con, en 4 de 5 casos, una función clara de las diferentes dosis de fertilizantes (fig. 14).

En la tabla 8 se presentan otros resultados de experimentos de fertilización de otras áreas del país con diferentes variedades de frijol. En 8a se tienen los datos de rendimiento al añadir 40 kg de N a cultivos en asociación y en temporal (Chávez, comunicación personal). Se observa que no hay respuesta a la fertilización en ningún caso, y en 1 de los 7 casos hay un ligero decremento en el rendimiento con esa cantidad de N. Inexplicablemente la respuesta del rendimiento del maíz este mismo trabajo no es clara, sólo en 3 de 7 casos hay incrementos en el rendimiento. En 8b se muestran los datos de rendimiento de monocultivos de frijol obtenidos en el INIA de Celaya y Guanajuato en temporal, los rendimientos no se incrementan con el N añadido. Otro trabajo (tabla 7c) muestra que con 60 kg de P sin N se obtienen, en Morelos, ren-

dimientos iguales a los que se tienen con 40 kg de N más 40 o 60 kg de P lo que indica que no hay respuesta al fertilizante nitrogenado, extrañamente, en las conclusiones; el autor no considera este resultado y recomienda aplicar nitrógeno (Rivera, 1981).

Seguramente hay casos en los que si hay respuesta del rendimiento de frijol al N. Ver por ejemplo la fig. 15. Como hipótesis podría proponer que esta respuesta se debe a: 1) la utilización de variedades de frijol que han sido seleccionadas en presencia de fertilizante y 2) a la introducción de variedades de frijol a sitios donde tradicionalmente no se cultivaban esas variedades. No todas las plantas tienen igual capacidad para absorber y asimilar fertilizantes. Aún dentro del maíz, que absorbe mejor el nitrógeno que el frijol, hay variedades que utilizan más adecuadamente el fertilizante y se han seleccionado estas variedades porque son más productivas. En frijol, se ha seguido en cierta forma el modelo de maíz y se han seleccionado variedades resistentes o de alto rendimiento en presencia de fertilizante nitrogenado. Esto favorece que se contraseleccionen características de la planta favorables a la simbiosis, pues en

presencia de ciertas dosis de nitrógeno fijado se inhibe la nodulación y por ende la fijación. Sólo aquellas plantas que en sustitución de la simbiosis empleen el fertilizante, sobrecrecerán y producirán más semillas.

Por otra parte, existen trabajos en los que se han intentado estrategias diferentes de fertilización del frijol: fertilización durante el período de floración, que es el momento en que se tiene una mayor actividad de la nitrato reductasa (enzima responsable de la asimilación de nitrato) (Franco, A., et al, 1979), como resultado se han obtenido incrementos en el rendimiento y fertilización foliar (Trinidad Santos, comunicación personal), que permitiría utilizar una menor cantidad de fertilizante.

No es posible realizar un análisis estadístico sobre los datos presentados sobre fertilización ya que los experimentos son muy heterogéneos. Chávez (1975) en su revisión sobre fertilización encuentra que en 6 de 15 trabajos no hay respuesta al N, no especifica si en los trabajos revisados se incluyen los controles adecuados.

Para evaluar el porcentaje de nitrógeno que la planta obtiene mediante fijación de nitrógeno, se han

utilizado diversas metodologías: a) dilución isotópica de  $^{15}\text{NO}_3^-$ , b) integración de la actividad de nitrógeno-asa medida como reducción de acetileno, c) cuantificación diferencial del N de la planta y del nitrógeno utilizado del suelo (incluido el nitrógeno generado por la mineralización de la materia orgánica durante el tiempo que dura el cultivo).

Los estimados de la cantidad de N fijado varían dependiendo del método empleado. Westerman calcula 17 kg N fijados por hectárea de cultivo de frijol a partir de datos de actividad de reducción de acetileno y hasta 90 kg N/ha cuando evalúa la diferencia entre el N de la planta y el utilizado del suelo.

En otro trabajo se estima que el frijol obtiene por fijación de nitrógeno el 20-40% del nitrógeno del cultivo, equivalente a 30-60 kg N/ha, a partir de cálculos de dilución isotópica, utilizando cebada o pasto Sudán como el control no nodulado (Nuñez, E., 1979).

Por otra parte, Graham (1979) reporta que con frijoles nodulados con algunas cepas de R. phaseoli se pueden obtener rendimientos mayores que los que se obtie-

nen al fertilizar con 50 kg de N/ha frijoles no nodulados. Beringer (comunicación personal) también encuentra que con frijoles nodulados se obtienen rendimientos equivalentes a los que se obtienen al añadir 120 kg de N/ha a frijoles no nodulados. A partir de estos trabajos no es posible decir que el frijol fije 50 ó 120 kg de N pues la eficiencia de utilización del fertilizante no es 100% y varía de unas condiciones a otras.

#### Problemas de la Inoculación con Rhizobium

La introducción de bacterias fijadoras de nitrógeno al campo (inoculación) ha resultado benéfica en los casos en que esta bacteria no existía previamente en el suelo. Así, en Brasil se introdujo al campo R. japonicum al mismo tiempo que se introducía el cultivo de la soya y esto permite un ahorro anual de 800 millones de dólares al no emplear fertilizantes químicos (Dobereiner y Duque, 1980). Sólo se necesita añadir el Rhizobium el primer y segundo año de cultivo pues con esto se alcanza una población estable y suficiente de Rhizobium para establecer simbiosis con las plantas en años posteriores (Vargas et al, 1981).

También ha sido exitosa la inoculación del frijol en Bélgica (Brakel, 1966), en Inglaterra (Rothamsted Report, 1980) y en Sudán (Habish, 1974) donde no existe

R. phaseoli. Los rendimientos obtenidos en los cultivos nodulados son equivalentes a los que se obtienen con 50 kg de N químico en Bélgica, con 120 kg N en Inglaterra y con más de 43 pero menos que 86 kg de N añadido en Sudán.

No ha habido respuesta a la introducción de Rhizobium, medida como un incremento en el rendimiento del cultivo, cuando ya existe esta población de bacterias en el suelo. Esto sucede en China, centro de diversificación de la soya y del Rhizobium japonicum, donde las bacterias introducidas forman sólo el 5% de los nódulos de la soya (Hu, 1981). En México, centro de diversificación del frijol y de su bacteria simbioante, Rhizobium phaseoli, no hay incremento en el rendimiento del cultivo de frijol en respuesta a la inoculación con cepas de R. phaseoli del IBIT (International Biological Inoculant Trial) recomendadas por el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) ni con cepas del Colegio de Posgraduados CP de Chapingo (INIA, SARH, 1982) ni con los inoculantes comerciales Nitragin y Pagador (Chávez, 1975). En Brasil, donde también existe Rhizobium phaseoli, no ha sido exitosa la inoculación del cultivo de frijol (Dobereiner y Ruschell, 1961; Norris et al, 1970; Fontes, 1972; Lopes et al, 1971). En E.E.U.U. se introdujeron bacterias

poco eficientes de R. japonicum y ahora es inútil tratar de introducir mejores bacterias ya que éstas sólo forman entre el 0 - 17% de los nódulos (Ham, 1971; Kapusta, 1973).

Rhizobium es un magnífico colonizador del suelo, una vez introducido, establece una población permanente de bacterias que competirán con otras que posteriormente se desee introducir. Consideramos crítico el evitar colonizar campos vírgenes con bacterias poco eficientes en fijación de nitrógeno. Los inoculantes comerciales tal vez constituyan una fuente peligrosa de bacterias ineficientes fijadoras pues no existe ningún control sobre su calidad (Giddens, 1979). Aquéllos inoculantes para cultivos que naturalmente están nodulados son prácticamente inócuos e inútiles ya que las bacterias del inoculante se diluyen con la población de bacterias del suelo. Estos resultados son ignorados y actualmente se venden y utilizan inoculantes para frijol en México y seguramente también se venden inoculantes para otros cultivos que naturalmente están nodulados en México.

## Discusión

La decisión de trabajar diversos aspectos de la simbiosis Phaseolus vulgaris - Rhizobium phaseoli invitaba a explorar teóricamente las posibilidades de aplicar los logros de la investigación básica para mejorar la fijación de nitrógeno del cultivo de frijol en México.

La selección y la introducción al campo de cepas de Rhizobium con gran capacidad para fijar nitrógeno ha sido la alternativa de elección para mejorar la simbiosis. La inoculación con cepas seleccionadas de R. phaseoli no ha tenido éxito en México. Los avances de la investigación básica en el CIFN permiten prever las posibilidades de construir mediante técnicas de ingeniería genética cepas de Rhizobium ad hoc. Para determinar cuales eran las necesidades y los problemas de la inoculación con Rhizobium phaseoli empecé una búsqueda con objetivos concretos pero con miras amplias para situar el contexto del cultivo del frijol, las dimensiones de los problemas agronómicos que limitan su rendimiento y los factores que determinan el éxito de la inoculación.

La información así recabada en su conjunto y la experiencia generada al conseguirla me han permitido

obtener una concepción más clara del problema, así, como algunas perspectivas reales para la aplicación de la investigación sobre FBN a la agricultura. A continuación discuto algunos aspectos de la información presentada.

#### Limitantes agronómicas

Fué crítico el encontrar que el rendimiento del cultivo de frijol está definido por la disponibilidad de agua y que es abatido por las enfermedades y plagas. Aun que existen esfuerzos considerables para aumentar la irrigación, estos no siempre han sido exitosos y son frecuentes las pérdidas de los vasos de riego por azolve debido a la erosión del suelo. Las obras de pequeña irrigación parecen ser una buena alternativa para aumentar las hectáreas de riego, aunque es posible que una vez establecido el riego, el agricultor opte por sembrar otro cultivo más rentable en vez de frijol.

La revisión de algunas de las enfermedades y de los insectos que afectan al frijol permitió visualizar que es difícil superar el alto riesgo de pérdida de los cultivos. La obtención de variedades resistentes de frijol, mediante los métodos de cruzamiento genético que se utilizan, implica entre 4 y 8 años de trabajo para obtener las líneas resistentes, por lo que no es posible contender con los patógenos cuya capacidad de cambio es mayor. El CIMMYT ha adoptado como estrategia sembrar

juntas varias líneas de trigo, alrededor de 12, muy diferentes genéticamente cuyas características comunes son la producción y la calidad del grano, la duración del ciclo del cultivo y el tamaño de la planta.

#### Evaluación económica

El diagnóstico económico realizado permitió establecer las relaciones de las diferentes variables que determinan la rentabilidad del cultivo desde el punto de vista del agricultor. El costo por fertilizante nitrogenado mueve en un rango muy estrecho los valores de  $i$  (excepto para rendimientos muy bajos, v.g. 0.2 tons/ha) lo que significa que la rentabilidad del cultivo no depende de la utilización o no de fertilizantes nitrogenados, de acuerdo a los costos vigentes en el período otoño-invierno 81-82.

Los análisis económicos, como el realizado, tienden a tener validez durante breves períodos de tiempo debido a la tasa de inflación. Para 1983 se espera un incremento del 400% en el costo de fertilizantes y los agricultores piden un 100% de aumento en el precio de garantía de productos como frijol y maíz. Hasta el momento no es posible realizar un análisis económico de la próxima cosecha pues no se han anunciado los precios que regirán. En la fig.16 se puede obtener la " $i$ " para un rango más amplio de costos de cultivo y precios de garantía que los mostrados en la fig. 9a y b y permitirá calcular rápida-

mente la rentabilidad del cultivo.

Para realizar una evaluación económica global del uso de fertilizantes para el cultivo del frijol en el país, se requiere conocer la cantidad de fertilizantes que se emplean. No existe ningún registro de la cantidad de fertilizantes que se venden para el frijol, los datos de las cantidades de N empleadas por los agricultores se han obtenido mediante encuestas y así se tiene información para 1977 (Ecotecnia Agrícola). La SARH registra la extensión o área que se fertiliza, pero no la cantidad empleada y en general el agricultor aplica intuitivamente el fertilizante y no sigue las recomendaciones del INIA. En 1981 y en 1982, el SAM promovió la utilización de fertilizantes para los cultivos básicos. En la Meseta Central y en el noreste del país se fertilizaron casi todos los cultivos de frijol (temporal y riego). El crédito agrícola se concedió sólo a los agricultores que utilizaban fertilizante y semilla mejorada. Si el gobierno actual no promueve la utilización de fertilizantes podríamos pensar que se fertilizará una área semejante a la de 1980 y si suponemos una cantidad de 40 kg/ha, se podría estimar la cantidad y el costo de fertilizantes que se utilizarán para el cultivo de frijol en 1983. Si se emplean  $19.2 \times 10^3$  tons a un costo de \$30/kg N esto significa un gasto de \$576 000,000.00. Aunque esta inversión - 2

no es elevada valdría la pena establecer si realmente es necesario emplear fertilizantes en el cultivo del frijol. Evaluación de la fijación de nitrógeno

De los factores que pueden determinar el rendimiento del cultivo del frijol el que más merece nuestra atención es el nitrógeno. Para responder a la pregunta si el nitrógeno disponible ( $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ ) es un factor limitante para la producción del cultivo del frijol en las condiciones que se cultiva en México, propuse como primera alternativa, evaluar experimentalmente el funcionamiento de la simbiosis en diferentes condiciones de campo. Sin embargo, los ensayos con los que se cuenta actualmente para evaluar la contribución de la simbiosis en cultivos en el campo tienen tal sesgo que no valía la pena intentarlos. La actividad de nitrogenasa medida como la reducción de acetileno se ha utilizado para calcular el nitrógeno que obtiene la planta por simbiosis considerando un cociente molar de 3:1 de  $\text{C}_2\text{H}_4:\text{N}_2$  reducidos y la actividad por hora se multiplica por número de horas que dura el cultivo. Esto último lleva un gran error ya que la actividad de reducción de acetileno varía a lo largo del día y también a lo largo del ciclo de cultivo (Graham, 1976 y Westermann, 1981). Aún cuando se ha considerado en algunos casos la variación a lo largo del cultivo, no se considera la variación a lo largo del día y con esto se obtienen resultados diferentes a los

obtenidos mediante otras técnicas como la cuenta diferencial entre el nitrógeno de la planta y el nitrógeno disponible del suelo incluyendo el nitrógeno que se genera por la mineralización de la materia orgánica durante el tiempo que dura el cultivo (Westermann, 1981). Este último enfoque es muy criticado por la FAO, que compara los resultados de experimentos por cuenta diferencial y por dilución isotópica. La dilución isotópica es, hasta el momento, la mejor estrategia para determinar la cantidad de nitrógeno obtenida por simbiosis.

Para utilizar la dilución isotópica se requiere tener condiciones en las que el cultivo no este nodulado y por lo tanto su única fuente de nitrógeno sea el nitrógeno del suelo al que se añade  $^{15}\text{NO}_3^-$  al inicio del cultivo. Por otra parte, el cultivo que fija nitrógeno, tiene una fuente adicional: el nitrógeno atmosférico, el cual diluye el  $^{15}\text{NO}_3^-$ . A mayor fijación mayor dilución y esto permite calcular la cantidad de nitrógeno que obtuvo la planta por simbiosis durante su ciclo de cultivo.

En México, centro de diversificación del frijol, donde existe una alta población de Rhizobium phaseoli en el suelo, no es posible tener condiciones en las que el frijol no este nodulado. Para resolver este pro-

blema Nuñez, E. et al utilizó como planta no nodulada la cebada, sin embargo, esto no es lo más adecuado, pues, siendo plantas diferentes, es probable que el sistema radicular de ambas sea diferente y por lo tanto alcancen capas de suelo con relaciones  $^{15}_N/^{14}_N$  diferentes. Lo ideal sería tener isolíneas de frijol que no sean capaces de formar nódulos. Debido a la diversidad tan grande de variedades de frijol que se siembran en México, esta metodología no daría una respuesta global del funcionamiento de la simbiosis en los cultivos en México.

Un camino que podría indicar de manera más general si el nitrógeno es un factor limitante en el cultivo del frijol en México, es la respuesta a la fertilización. Por esto, me avoqué a recabar resultados de experimentos dosis-respuesta, teniendo como modelo las curvas generales que se muestran en la fig. 10.

La primera explicación de la falta de respuesta del rendimiento de las leguminosas a la fertilización nitrogenada es que la planta ya obtiene el nitrógeno que necesita por la FBN. Sin embargo, ninguna leguminosa es capaz de obtener el 100% de N que necesita mediante la FBN, los porcentajes que obtiene la soya por simbiosis son entre 25 y 50% y la alfalfa 8-56%,

sólo mediante la selección de variedades de alfalfa mejores fijadores se ha logrado obtener el 65% del N por fijación (Heichel et al, 1981). Queda por determinar si es posible que una planta obtenga el 100% del N que necesita mediante la modificación genética de su Rhizobium correspondiente.

Podemos pensar que cuando los niveles de nitrógeno del suelo estén por debajo de lo que necesita la planta para completar lo que no obtiene por simbiosis, entonces sí se tendrá respuesta a la fertilización.

Si se considera como variable de respuesta en los experimentos de fertilización el rendimiento del grano, se está tomando en cuenta sólo parte de la producción. Pudiera ocurrir que no hubiera incremento en el grano pero sí en el material vegetativo de la planta en función del fertilizante añadido. Esto sucedió con el maíz cuando se iniciaron los trabajos de lo que posteriormente se llamó la Revolución Verde. Al añadir fertilizantes, la planta de maíz crecía demasiado alto, formando mucho follaje que posteriormente no se traducía en rendimiento de grano. Hubo que seleccionar plantas que utilizaran adecuadamente el fertilizante teniendo una gran capacidad para translocarlo a la mazorca.

Para poder establecer si el cultivo de frijol está limitado por el nitrógeno disponible, habría que obtener datos no sólo de rendimiento del grano, sino también de la producción total de biomasa y del N total del cultivo. Desafortunadamente, sólo en pocos trabajos se evalúan la producción total de biomasa y el N total.

Ya que la recomendación general del INIA es la de fertilizar el frijol con dosis de alrededor de 40 kg de N por ha, pensé que sería muy clara la respuesta a la fertilización y ha sido sorprendente el encontrar que en muchos casos no hay respuesta al fertilizante añadido. Si los datos obtenidos provienen de trabajos del INIA, ¿Cuál es la razón de esta contradicción? Existen tres razones por las que se pueden explicar las diferencias de interpretación.

1. Muchos trabajos omiten un control sin fertilizante nitrogenado pero con fósforo (P). Esta omisión lleva a interpretaciones erróneas, ya que al probar con juntamente N y P no se puede distinguir si el aumento se debió al P y no al N.

Actualmente en algunos sitios en Colombia, por recomendación del CIAT, sólo se fertiliza con fósforo, al cual si hay respuesta.

2. En algunas ocasiones se sobrestiman las diferencias en el rendimiento, hay trabajos en los que se grafican 200 kg en una escala incompleta de 20 kg/cm lo que amplifica enormemente la respuesta (Fig. 17 y b). Cuando regrafiqué estas curvas se obtuvieron las figuras 12 a y c.

3. Cuando el INIA evalúa la respuesta a la fertilización de cultivos en asociación establece la dosis de fertilizante óptima económicamente para todo el sistema. Como el rendimiento del maíz aumenta en respuesta a la fertilización y esto mejora la productividad y rentabilidad del sistema, se recomienda fertilizar aunque el rendimiento del frijol no mejore con el fertilizante.

Para establecer que tan general es la falta de respuesta a la fertilización hace falta recabar más información. No obstante, los datos obtenidos y presentados son valiosos para llamar la atención de los agrónomos para que estos establezcan experimentos de fertilización con controles adecuados y que consideren las ventajas de seleccionar las variedades de frijol en ausencia de fertilizantes.

Por otra parte, es importante reconocer<sup>o</sup> que se desconocen los efectos comparativos del "stress" ambiental

sobre el rendimiento del cultivo de frijol creciendo en diferentes fuentes preferenciales de nitrógeno:  $N_2$  atmosférico o fertilizante nitrogenado. Las plantas de trébol fijando nitrógeno son más sensibles a las deficiencias de agua que plantas creciendo en nitrato de amonio también en limitación de agua (De Jong, 1982), si éste fuera el caso en frijol, habría que evaluar las ventajas de una planta que dependiera 100% del  $N_2$  atmosférico.

#### Problemas de la inoculación

No es posible predecir si se necesitarán bacterias más eficientes fijadoras de N cuando los problemas agronómicos que limitan el rendimiento del cultivo de frijol se hayan superado. Sin embargo, debido a que la opción más probable para mejorar la simbiosis es la construcción de bacterias eficientes fijadoras de nitrógeno, valía la pena identificar los factores que determinan el éxito de la introducción de cepas de Rhizobium al campo. El principal factor que limita la inoculación con Rhizobium es la existencia de esta población en el

suelo, las bacterias nativas compiten con las bacterias del inoculante y son las del suelo las que forman el mayor porcentaje de los nódulos.

Un trabajo que debe preceder cualquier proyecto para aplicar la investigación sobre fijación de nitrógeno a la agricultura es evaluar la nodulación y fijación de nitrógeno de varias leguminosas de interés en distintos suelos de México. Esto permitirá generar un inventario de los diferentes Rhizobia existentes en México y también permitirá plantear las estrategias para establecer, preservar o mejorar la fijación de nitrógeno de estas leguminosas de acuerdo al caso en el que se encuentren:

1) No noduladas porque no exista el Rhizobium correspondiente en el suelo, en cuyo caso es crítico colonizar el campo con cepas eficientes fijadoras de nitrógeno pero con una capacidad de competencia limitada o bien con posibilidades de sobrevivir sólo un cierto período para no imposibilitar la posterior introducción de otras cepas de Rhizobium al suelo.

2) Noduladas pero sin fijar nitrógeno, debido a la existencia de bacterias con posibilidades de nodular pero incapaces de establecer una simbiosis efectiva, como inoculante se deben emplear cepas capaces de competir con las bacterias del suelo.

3) Noduladas fijando nitrógeno, en este caso, es

necesario plantear estrategias para determinar si la fi  
jación de nitrógeno es adecuada para cubrir los requeri  
mientos de la planta. Si la fijación de nitrógeno es in  
suficiente, se necesitarán introducir cepas cuya princi  
pal característica sea su capacidad de competir con las  
cepas nativas.

He empezado a trabajar en la evaluación de la no-  
dulación y fijación de las leguminosas tropicales, forra  
jeras y arbóreas, que se muestran en la tabla 9, utili  
zando suelos de diferentes regiones de México: Chiapas,  
Oaxaca, Veracruz y Morelos.

De la lista de leguminosas no noduladas naturalmen  
te en suelos de México (tabla 9), la que tiene mayor im  
portancia agrícola es la soya. Se siembran en total  
alrededor de 400,000 hectáreas, 300,000 en Sonora y Si  
naloa y 100,000 en el trópico. Desde hace 15 años se han  
utilizado inoculantes comerciales (Nitragin y Pagador)  
con Rhizobium japonicum, el cual es nativo de China, cen  
tro de diversificación de la soya. En Sonora y Sinaloa  
y en el sur de Tamaulipas ya no hay respuesta a la ino  
culación debido a las bacterias introducidas previamen  
te.

Existe interés de abrir nuevas áreas (sobre todo  
en el trópico) para el cultivo de la soya ya que hay  
un déficit de producción que se cubre importando de

E.E.U.U. 742 800 ton (1980), Es crítico que en estas nuevas áreas libres de R. japonicum se introduzcan bacterias con una gran capacidad para fijar nitrógeno y con poca capacidad de sobrevivencia o poca capacidad de competencia para no imposibilitar la posterior introducción de otras R. japonicum mejores. Desconocemos las posibilidades de interacciones bacterianas en el suelo, es posible que aún introduciendo una cepa poco competitiva o de poca sobrevivencia (las bases biológicas de la competencia y sobrevivencia se desconocen), ésta sea capaz de transferir su información para nodular y fijar soya a otros Rhizobia nativos bien adaptados a esas condiciones de suelo. Este intercambio de información equivaldría a haber introducido una cepa muy competitiva.

Desconocemos la calidad de los inoculantes, que se venden. En México no existe ningún control oficial de la calidad de éstos. Existen inoculantes comerciales para frijol, cacahuete, chícharo, garbanzo, soya y Leucaena (una leguminosa arbórea de rápido crecimiento). Para las otras leguminosas no se producen inoculantes comerciales en México, pero se pueden conseguir de CSIRO Australia. Los intereses agronómicos en otras leguminosas son incipientes y no existen programas para promover la utilización de una gran diversidad de leguminosas en el país.

## Conclusiones

1. Algunos de los factores que limitan la producción del cultivo de frijol son: falta o exceso de agua, plagas y enfermedades y tecnología inadecuada. Mientras tales factores abatan el rendimiento, es probable que la respuesta a la inoculación con cepas eficientes fijadoras de nitrógeno sea muy limitada.

2. En general, el factor biológico que determina la falta de respuesta a la inoculación es la existencia previa de una población de bacterias nativas capaces de nodular a la planta compitiendo con la inoculante.

3. La respuesta del rendimiento del frijol al fertilizante nitrogenado es muy variable. Existen datos de que el nitrógeno no es un factor limitante en el cultivo del frijol en algunas áreas de México, por lo que parecería que existen cepas de R. phaseoli nativas con buena capacidad para fijar nitrógeno.

4. Según el análisis realizado, el utilizar o no fertilizantes nitrogenados afecta en un rango muy estrecho la rentabilidad del cultivo de frijol desde el punto de vista del agricultor.

5. Es importante establecer las necesidades de fertilización del frijol para evitar el utilizar innecesariamente los fertilizantes. En cultivos asociados maíz

frijol (que involucran el 65% del área cultivada con frijol) seguramente será necesaria la fertilización.

6. Habría que evaluar las ventajas de seleccionar características de la planta favorables a la simbiosis, evitando que se seleccionen las variedades de frijol resistentes a patógenos o las variedades de alto rendimiento en presencia de fertilizantes nitrogenados.

7. Un inventario de los Rhizobia existentes en México permitiría establecer las necesidades de inoculación de diferentes leguminosas. Existen leguminosas para las cuales no hay el Rhizobium correspondiente en el suelo. Es crítico evitar colonizar campos vírgenes con bacterias con poca capacidad para fijar nitrógeno.

## Proposiciones

1. Esclarecer la respuesta del rendimiento del cultivo de frijol en función del fertilizante nitrogenado asesorando experimentos sobre fertilización realizados por instituciones de investigación en agricultura. Difundir los conceptos adquiridos y los datos sobre fertilización recabados.

2. Definir un programa para la evaluación de la calidad de los inoculantes comerciales que se venden en México.

3. Estudiar las interacciones bacterianas como competencia, complementación funcional y genética, lo que permitirá adquirir un concepto de la actuación de Rhizobium en el campo.

4. Buscar nuevos caminos para aplicar la investigación sobre FBN a la agricultura.

5. Continuar en la búsqueda de problemas de la agricultura que puedan ser resueltos con las herramientas y enfoques de la biología molecular.

**Tabla 1**

**Algunas variedades de frijol en México**

**Canarios:**

Canario 78  
Canario 101  
Canario 107  
Canario 72  
Culiacán 200  
Canario Guanajuato 43

**Azufrados**

Amarillo 153  
Amarillo 154  
Azufrado 33  
Azufrado Bolita  
Azufrado Regional  
Cahita 100

**Azufrado Peruano:**

A. Pimono 78  
Peruano

**Bayos:**

Agramejo  
Bayo 158  
Bayo 164  
Bayo 400  
Bayo Berrendo  
Bayo Rata  
Bayomex  
Canocel  
Ciateño  
Bayo Durango  
Cayo Calera  
Bayo Baranda  
Bayo Criollo Llano  
Bayo Río Grande

**Pintos:**

Agrarista  
Cacahuate 72  
Cacahuate Bolita  
Cacahuate Largo  
Delicias 71  
Flor de Mayo  
Ojo de Cabra  
Pinto 133  
Pinto 162  
Pinamerpa  
Pinto Americano  
Pinto Español  
Pinto Fresnillo  
Pinto Nacional  
Toche 400  
Siechi  
Ojabra 400  
Flor de Abril

**Negros:**

Actopan  
Antigua  
Jamapa  
Negro Huasteco  
Negro Mecentral  
Negro 66  
Negro 150  
Sataya 425  
Villa Guerrero  
Negro Nayarit  
Negro Querétaro 78  
Negro Puebla  
Tarahumara  
Azabache

**Otras variedades:**

**Aguascalientes 466**  
**Apetitos**  
**Arriaga**  
**Barqueño**  
**Baranda**  
**Bombanero**  
**Bayo Blanco**  
**Bayo Rosa**  
**Bravo**  
**Blanco 157**  
**Crillo del Llano**  
**Durango 222, 225, 664**  
**Garbancillo**  
**Grullo Regional**  
**Mantequilla**  
**Matamoros 64**  
**Morelos 6-A-1**  
**Mulato**  
**Querétaro 183-1**  
**Rosita**  
**Sesentano**

**Otras variedades:**

**Veracruzano**  
**Guero Alubia**  
**Garbancillo Zarco**

**Tabla 2****Composición de aminoácidos, % de la proteína total**

|                 | Lis | Met | Tre | Trp | Ile | Leu  | Tir | Fen | Val |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| <b>Soya</b>     | 6.9 | 1.5 | 4.3 | 1.5 | 5.9 | 8.4  | 3.5 | 5.4 | 5.7 |
| <b>Chícharo</b> | 7.3 | 1.2 | 3.9 | 1.1 | 5.6 | 8.3  | 4.0 | 5.0 | 5.6 |
| <b>Frijol</b>   | 7.4 | 1.0 | 4.3 | 0.9 | 5.7 | 8.6  | 3.9 | 5.5 | 6.1 |
| <b>Mafz</b>     | 2.9 | 1.9 | 4.0 | 0.6 | 4.6 | 13.0 | 6.1 | 4.5 | 5.1 |
| <b>Arroz</b>    | 4.0 | 1.8 | 3.9 | 1.1 | 4.7 | 8.6  | 4.6 | 5.0 | 7.0 |
| <b>Huevo</b>    | 6.4 | 3.1 | 5.0 | 1.7 | 6.6 | 8.8  | 4.3 | 5.8 | 7.4 |

Tabla 3

Rendimiento de algunos cultivos en diversos países  
(kg de grano/ha)

|          | 1   | 2  | 3                                | 4    | 5                                | 6     |
|----------|---|--|----------------------------------|------|----------------------------------|-------|
| Cultivos | Máximo rendimiento (A) y país donde se obtuvo | Rendimiento promedio de los 10 países con los más altos rendimientos | Rendimiento promedio mundial (B) | A/B  | Rendimiento máximo reportado (C) | C/B   |
| Frijol   | 2771 URSS                                     | 2097   | 498                              | 5.56 | 5500 <sup>1</sup>                | 11.04 |
| Trigo    | 5733 Holanda                                  | 4893   | 1703                             | 3.37 | 12000 <sup>2</sup>               | 7.04  |
| Arroz    | 6867 Australia                                | 5601   | 2402                             | 2.86 | 12000 <sup>3</sup>               | 4.99  |
| Cebada   | 4593 Bélgica                                  | 4142   | 1925                             | 2.32 | 11400 <sup>4</sup>               | 5.92  |
| Maíz     | 7333 N. Zelanda                               | 6192   | 2792                             | 2.63 | 14000                            | 5.01  |
| Avena    | 5017 Holanda                                  | 3973   | 1694                             | 2.96 | 10600 <sup>4</sup>               | 6.25  |
| Sorgo    | 4651 Tailandia                                | 3919   | 1237                             | 3.76 |                                  |       |
| Soya     | 3117 Italia                                   | 2080   | 1408                             | 2.21 | 7000                             | 4.97  |

de Fao Soils Bulletin 37,  
Improved Use of Plant Nutrients.

1 INIA, México.

3 IRRI (International Rice Research Institute), Filipinas.

2 CIMMYT, México.

4 Boyer, 1982.

**Tabla 4****Costos de producción****Costos de insumos**

|                                       |         |      |
|---------------------------------------|---------|------|
| Semilla mejorada 90 kg (75% subsidio) |         | 360  |
| Fertilizantes N.P. (30% subsidio)     | N.P.    |      |
|                                       | 30,30   | 377  |
|                                       | 60,60   | 753  |
|                                       | 230,180 | 2370 |
| <b>Insecticidas</b>                   |         |      |
| Paratión                              |         | 139  |
| Malatión                              |         | 216  |
| Sevin                                 |         | 1820 |
| Promedio                              |         | 700  |
| <b>Fungicidas</b>                     |         |      |
| Control de malezas                    |         | 1400 |
| Agua (sólo en condiciones de riego)   |         | 1500 |
| <b>Costo de operación</b>             |         |      |
| Máximo                                |         | 6000 |
| Mínimo                                |         | 2000 |
| Medio                                 |         | 4000 |

**Tabla 5**

**Costos totales de cultivo para diferentes condiciones**

|   |              |
|---|--------------|
| <b>C<sub>min</sub> = Costo mínimo : sólo costos de operación</b>  | <b>2000</b>  |
| <b>C<sub>medio</sub> = Costo medio : Fertilización 30,30 N.P.<br/>insecticida promedio,<br/>costo de operación medio,<br/>condiciones de temporal</b> | <b>7500</b>  |
| <b>C<sub>m</sub> = Costo máximo : Fertilización 230,180 N.P.<br/>Insecticida Sevin,<br/>Costo alto de operación,<br/>en riego</b>                     | <b>14000</b> |

T a b l a 6

Trabajos sobre Fertilización del Frijol.

| Fuente   | Número de Trabajos | Lugar      | Año  | Respuesta a la fertilización nitrogenada | Figura o tabla       |
|--|--------------------|------------|------|--|----------------------|
| Campo Agrícola Experimental del Valle de México, CIAMEC, INIA.         | 3                  | Puebla     | 1977 | ? <sup>1</sup>                           | Fig. 12a,b,c,d.      |
|  | 1                  | Puebla     | 1981 | No hay                                   | Fig. 13f.            |
| Plan Puebla  | 5                  | Puebla     | 1976 | No hay                                   | Fig. 13a,b,c,d,e.    |
| Coordinación del Programa del Frijol.                                  | 1                  | Altos de   | 1980 | No hay                                   | Tabla 8a             |
|  | 1                  | Jalisco    | 1981 | No hay                                   |                      |
| I N I A  | 1                  | Morelos    | 1978 | Si hay                                   | Fig. 15              |
| U A E M  | 1                  | Cuernavaca | 1981 | No hay                                   | Tabla 8c             |
| Campo Agrícola Experimental del Bajío                                  | 1                  | Celaya     | 1980 | No hay                                   | Tabla 8b             |
| Campo Agrícola Experimental del Norte de Guanajuato                    | 1                  | Guanajuato | 1980 | No hay                                   | Tabla 8b             |
| Colegio de Posgraduados, Chapingo <sup>3</sup>                         | 1                  | Puebla     | 1981 | ? <sup>1, 2</sup>                        | Datos no presentados |
| Programa Nal. de Desarrollo Agrícola en Areas de Temporal <sup>3</sup> | 1                  | Oaxaca     | 1981 | No hay                                   | Datos no presentados |

1. Omiten el control con cero de nitrógeno.

2. Recomiendan fertilizar.

3. Trabajos presentados en el XV Congreso Nal. de la Ciencia del Suelo, Méx., Nov., 1982.

**Tabla 7**

| <b>Rendimiento de frijol</b><br>ton/ha | <b>Equivalente en</b><br>kg de N |
|--|----------------------------------|
| .5                                     | 40                               |
| 1                                      | 80                               |
| 2                                      | 160                              |
| 2.5                                    | 200                              |

**Para el cálculo se asumió una eficiencia  
de translocación de 50% de la proteína  
de la hoja de grano.**

**Tabla 8**

**a) Rendimientos de cultivo en asociación en campos de agricultores**

| Variedad de Frijol | Dosis Fertilizante N,P. |   | Frijol (ton/ha) | Maíz (ton/ha) |
|--------------------|-------------------------|---|-----------------|---------------|
| Garbancillo        | 0                       | 0 | 1.049           | 1.337         |
|                    | 40                      | 0 | 1.035           | 1.638         |
| Zarco              | 0                       | 0 | 0.399           | 2.634         |
|                    | 40                      | 0 | 0.403           | 2.432         |
|                    | 0                       | 0 | 0.667           | 0.994         |
|                    | 40                      | 0 | 0.639           | 1.138         |
|                    | 0                       | 0 | 1.776           | 1.781         |
|                    | 40                      | 0 | 1.498           | 1.738         |
|                    | 0                       | 0 | 0.302           | 3.523         |
|                    | 40                      | 0 | 0.326           | 4.907         |
| Ojo de Cabra       | 0                       | 0 | 1.220           | 0.169         |
|                    | 40                      | 0 | 1.175           | 0.386         |
| Morado de Agua     | 0                       | 0 | 0.625           | 1.541         |
|                    | 40                      | 0 | 0.653           | 1.576         |

**b) Rendimiento de frijol en monocultivo (INIA)**

| Dosis Fertilizante N,P. |    | Frijol (ton/ha) |            |
|-------------------------|----|-----------------|------------|
|                         |    | Celaya          | Guanajuato |
| 0                       | 0  | 0.969           | 1.125      |
| 0                       | 40 | 1.013           | 1.046      |
| 40                      | 40 | 1.017           | 0.958      |

**c) Rendimiento de frijol en monocultivo en Cuernavaca, Mor.**

| Variedad de Frijol | Dosis Fertilizante N, P. |    | ton/ha |
|--------------------|--------------------------|----|--------|
| Negro 150          | 0                        | 0  | 0.463  |
|                    | 0                        | 60 | 0.925* |
|                    | 40                       | 0  | 0.682  |
|                    | 40                       | 20 | 0.899  |
|                    | 40                       | 40 | 1.024* |
|                    | 40                       | 60 | 1.040* |

\*Las diferencias no son estadísticamente significativas.

Tabla 9

Resultados de la evaluación de la nodulación y fijación de nitrógeno de diversas leguminosas en algunos suelos de México<sup>5</sup>.

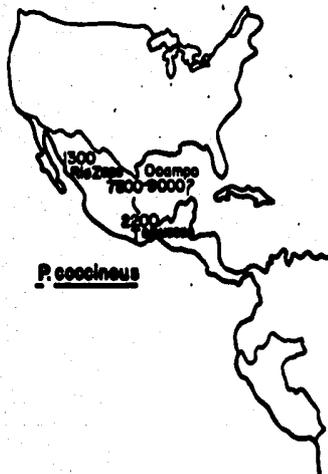
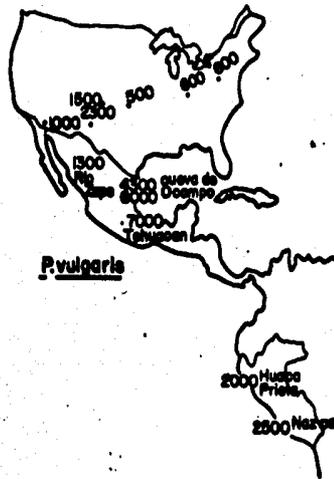
No noduladas

Acacia albida (originaria de Zambia)  
Glycine max (soya)  
Stylosanthes capitata

Noduladas fijando N<sub>2</sub><sup>1</sup>

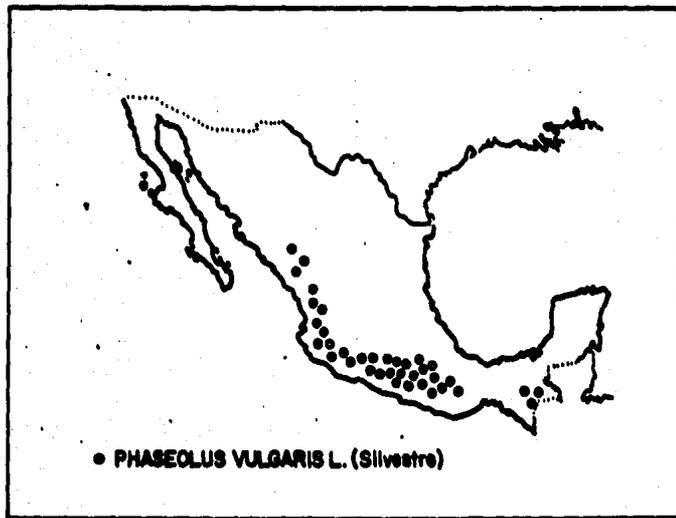
Acacia angustissima  
Arachis hypogea (cacahuate)  
Cajanus cajan<sup>2</sup>  
Canavalia sp.  
Canavalia encifornis  
Cassia sp.  
Centrosema pubescens  
Clitoria sp.<sup>3</sup>  
Desmodium heterophyllum  
Desmodium salisifolium  
Desmodium sp.  
Desmanthus virgatus  
Leucaena leucocephala  
Macroptilium atropurpureum  
Pachyrhizus erosus (jicama)  
Vicia sativa  
Vigna decipiens<sup>4</sup>  
Vigna unguiculata<sup>4</sup>  
Vigna vexillata<sup>4</sup>

1. El suelo de una región de Veracruz era muy rico en nitrógeno y en este suelo sólo Desmodium salisifolium, Macroptilium atropurpureum y Pachyrhizus erosus estaban nodulados.
2. Nodulado sin fijar en suelo de Cuernavaca, en los otros suelos si fijaba
3. Escasamente nodulada.
4. No nodularon en suelo de Tepoztlán, en los otros suelos sólo habian uno o dos nódulos por planta.
5. Se hicieron pruebas en suelos de diferentes regiones de Morelos, Veracruz, Chiapas y Oaxaca.



Hallazgos arqueológicos de Phaseolus  
y su antigüedad tomado de Kaplan 1965

Fig: 1



Distribución, en México, de las variedades silvestres de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común).

Datos de Miranda (1967) y Gentry (1969).

Fig: 2

CONSUMO Y PRODUCCION  
DEL FRIJOL EN MEXICO  
(MILES DE TONELADAS)

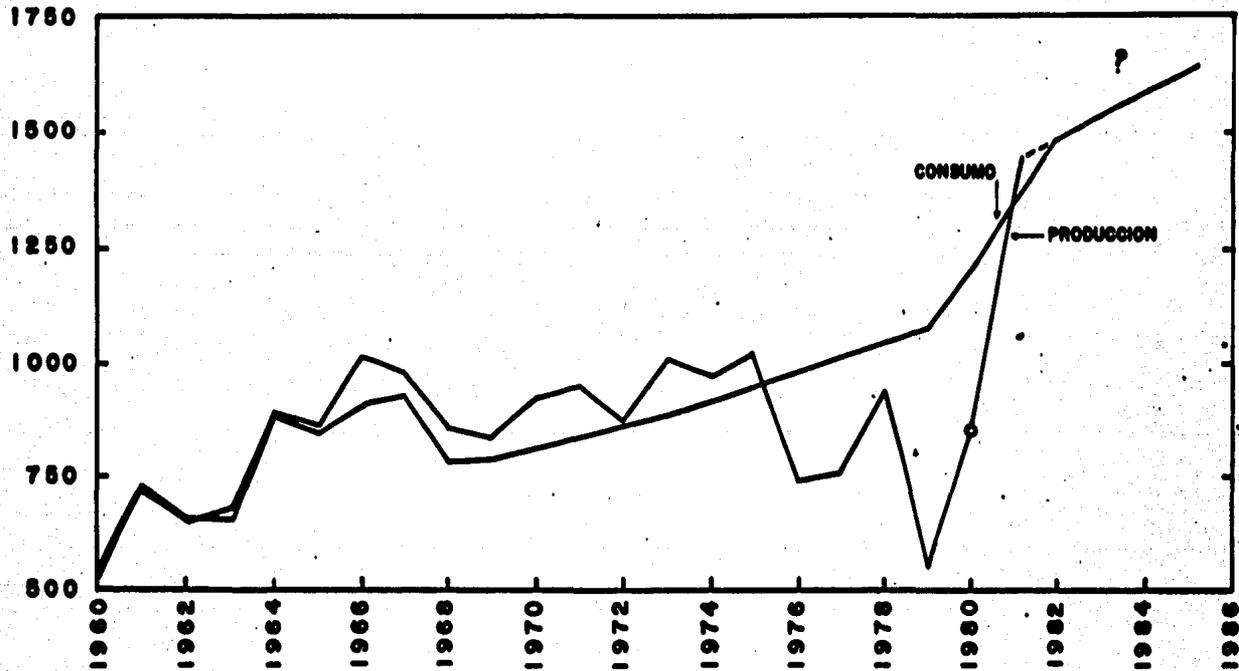


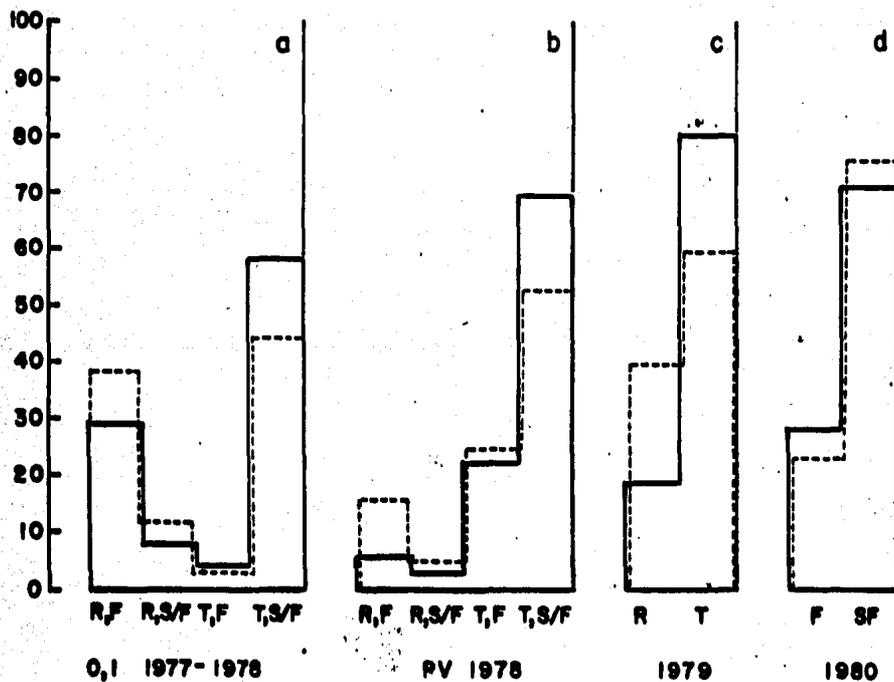
Fig. 3

PORCENTAJES DE LA SUPERFICIE Y DE LA PRODUCCION OBTENIDA DE FRIJOL EN DIFERENTES CONDICIONES (RIEGO, TEMPORAL, FERTILIZACION, SIN FERTILIZACION) EN MEXICO.

Fig:4

———— Porcentaje de la superficie total cosechada

----- Porcentaje de la producción en diferentes condiciones



R = Riego

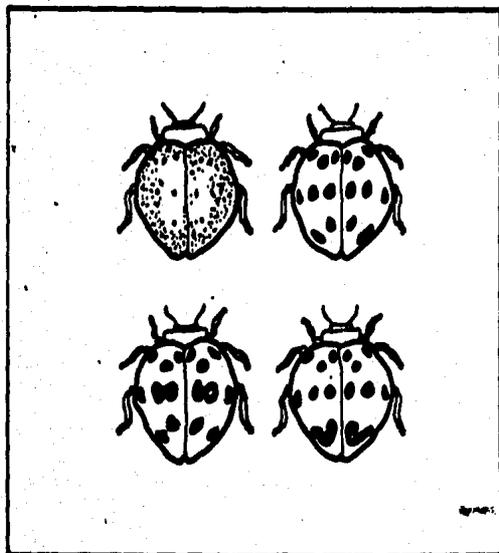
F = Fertilizado

OI = Otoño Invierno

T = Temporal

SF = Sin Fertilizar

RM = Primavera Verano



Insectos adultos de conchuela (*Epilachna varivestis* Muls)

Fig.-5

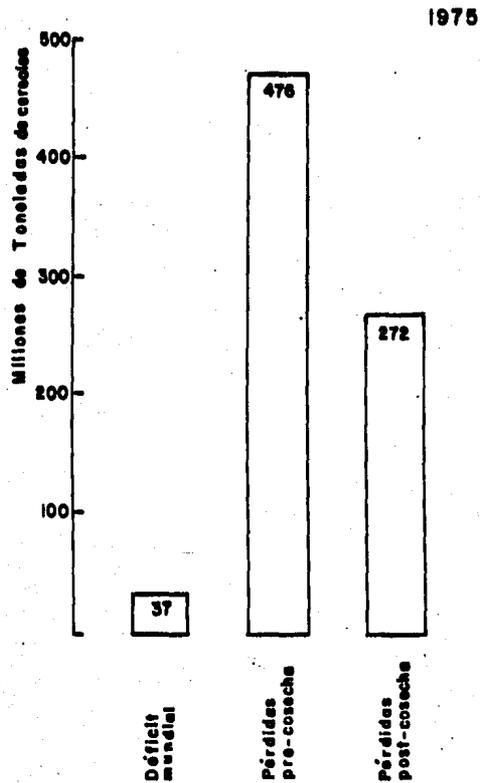
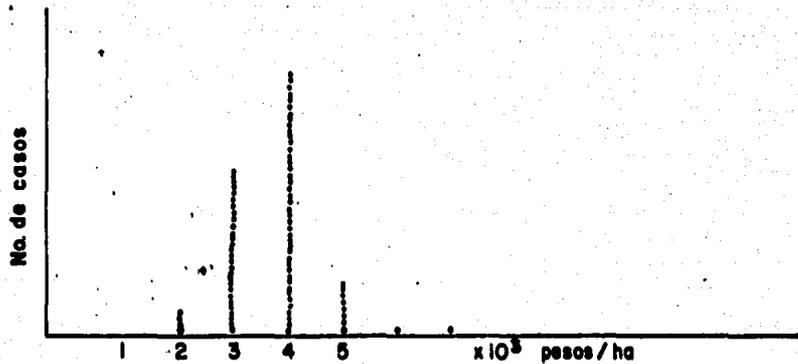


Fig. 6 Histograma de las toneladas de cereales que se pierden pre-cosecha, post-cosecha y el déficit mundial en 1975.

de News Views de Crops Soils Magazine 34:27-28 (1982)

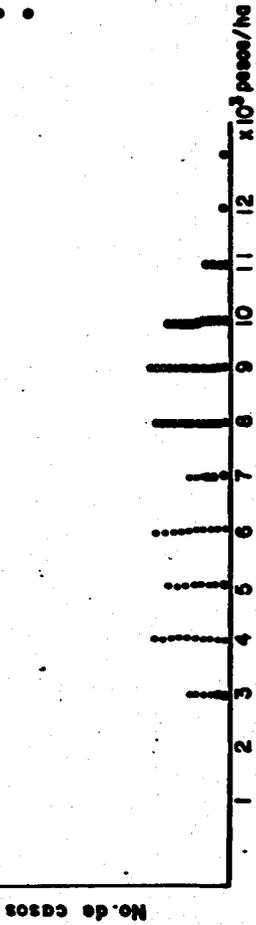
Fig-7



Histograma costos de operación para el ciclo PV 1981  
para distintas regiones de 25 Estados de la República.

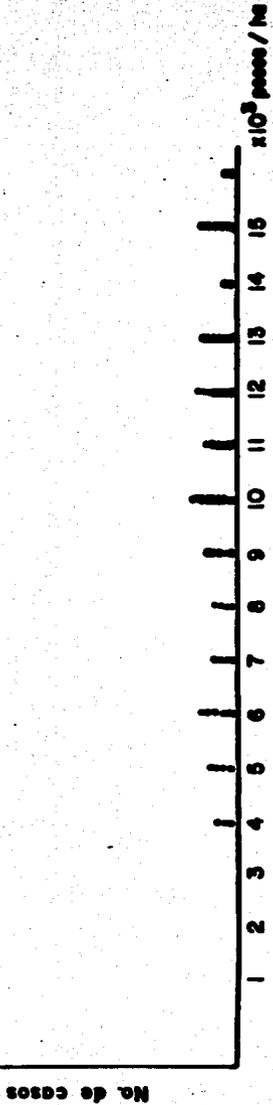
Fig. 8

• Riego  
• Temporal

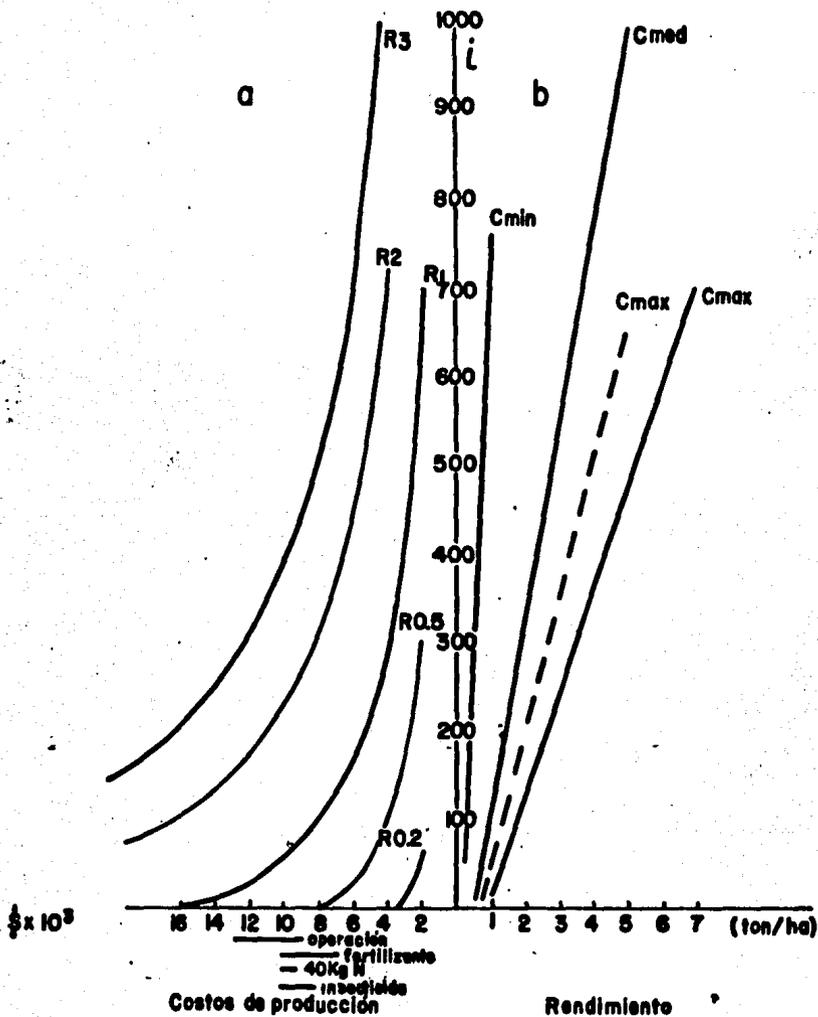


Histograma costos totales de producción de frijol en el ciclo primavera-verano 1981 en la República Mexicana.

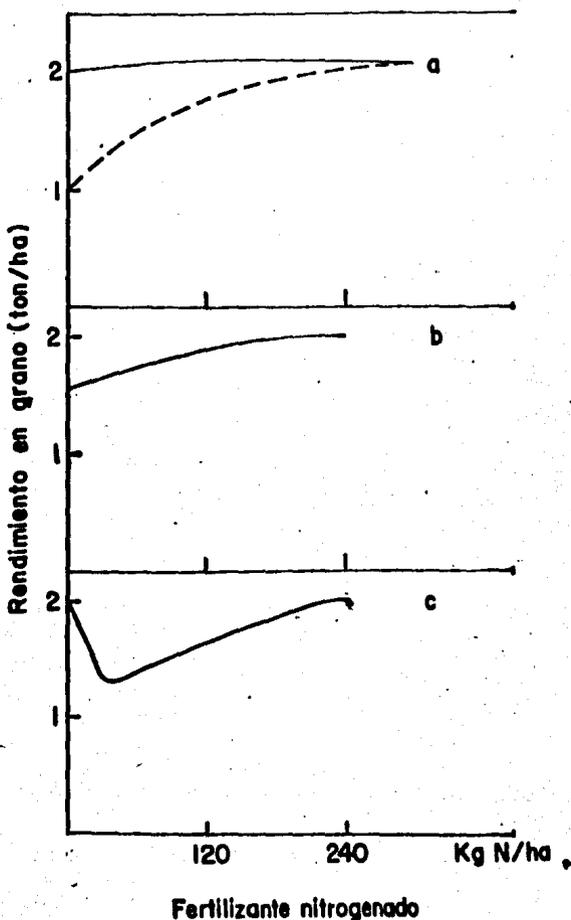
• Riego  
• Temporal



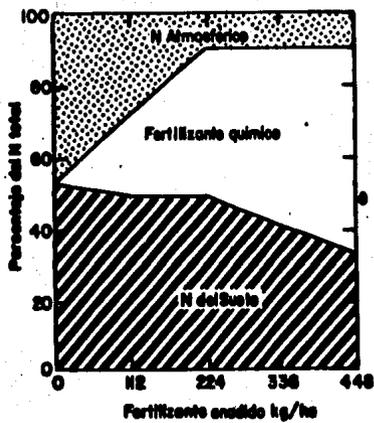
Histograma costos totales de producción de frijol en el ciclo otoño-invierno 1981-1982 en la República Mexicana.



**Fig-9** "i" al equilibrio (ver texto) en función de diferentes rendimientos y diferentes costos de producción. Las barras debajo de los costos indican los rangos en que los costos particulares pueden afectar la rentabilidad. R=Rendimiento.



**Fig. 10** Curvas modelo de respuesta del rendimiento de leguminosas noduladas (—) o no noduladas (--) en función de la dosis de fertilizante nitrogenado. a) fijación de nitrógeno eficiente, b) fijación de nitrógeno ineficiente, c) inhibición de la simbiosis por el fertilizante (ver texto). La ordenada al origen de las plantas no noduladas indica el rendimiento obtenido con el nitrógeno endógeno del suelo.



**Fig-II**

**Contribución del N Atmosférico, del suelo, ó de fertilizantes químicos en el cultivo de la soya.**

**En las gráficas de dosis respuesta  
se utiliza la convención establecida de indicar  
después de la "N", la cantidad de fósforo y la  
cantidad de potasio empleadas.**

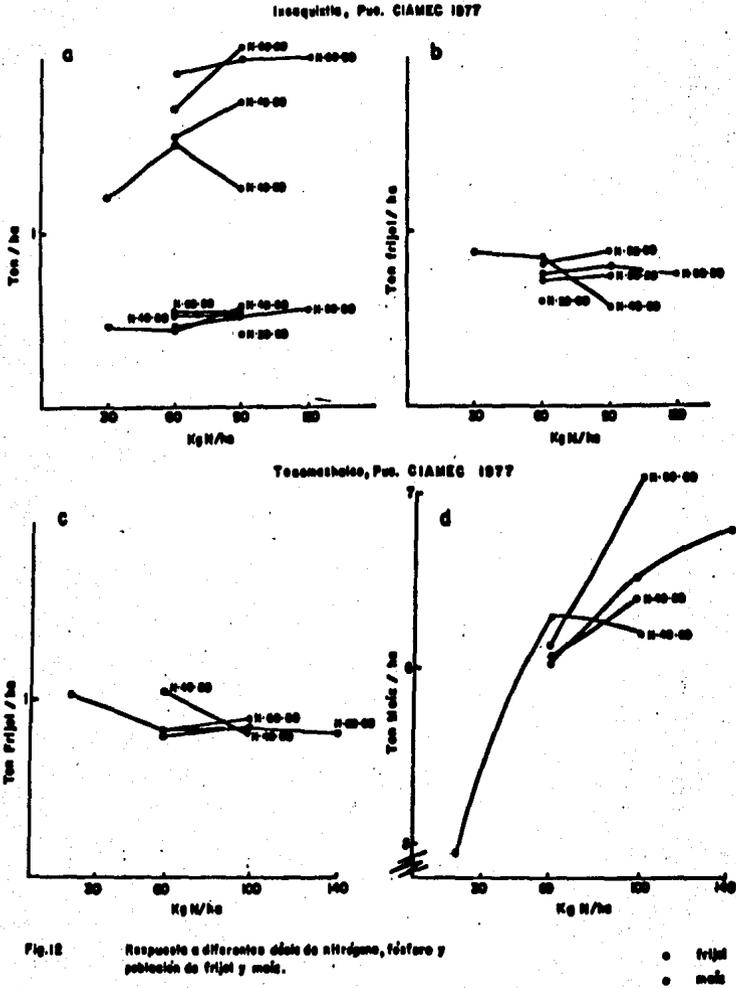
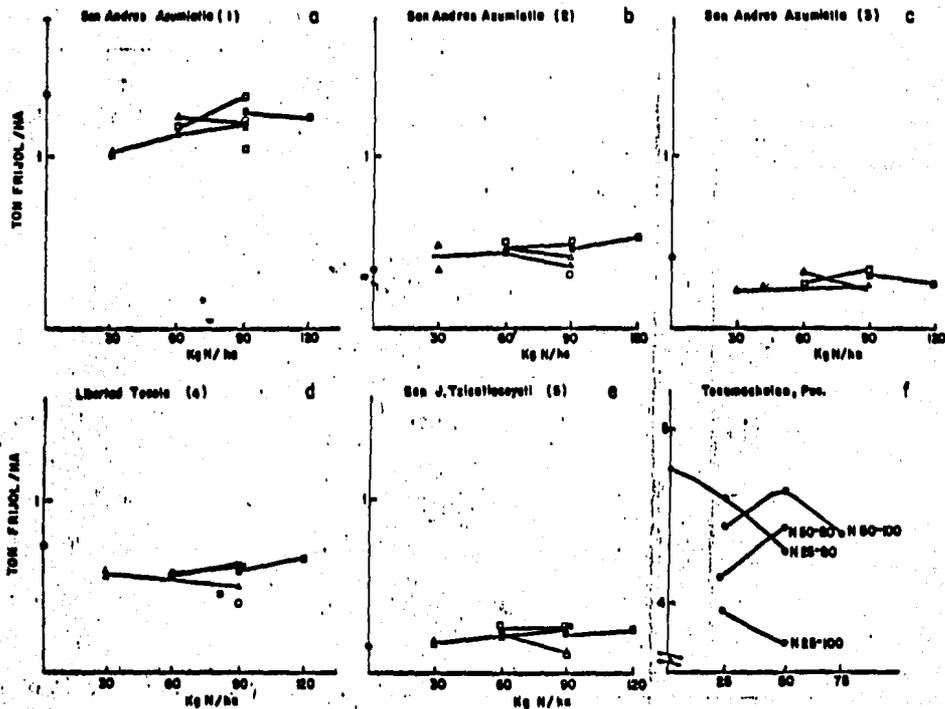


Fig.13



Respuesta en el rendimiento del frijol a diferentes dosis de fertilizante nitrogenado,

Sta. Elena, Tlaxcala 1961

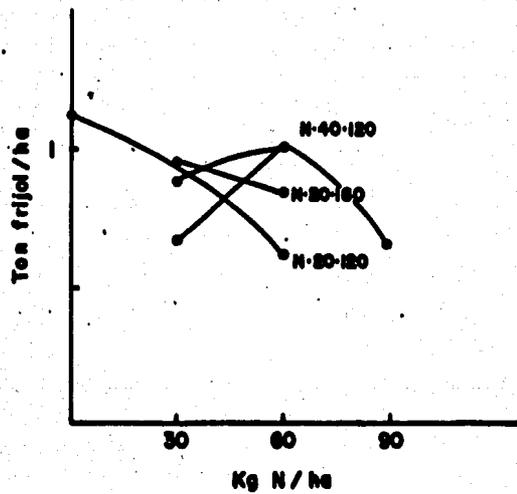


Fig-13 (continuación)

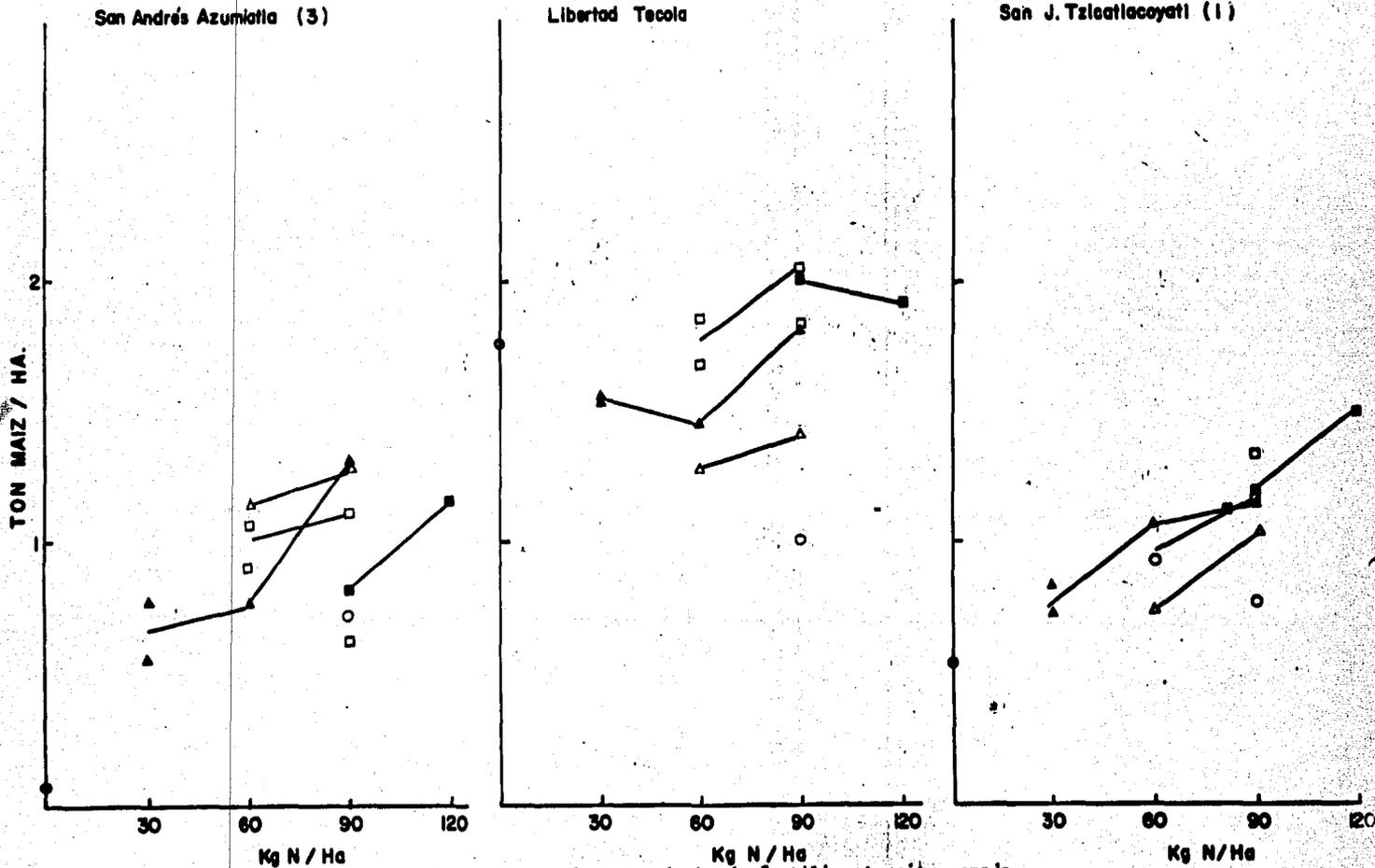
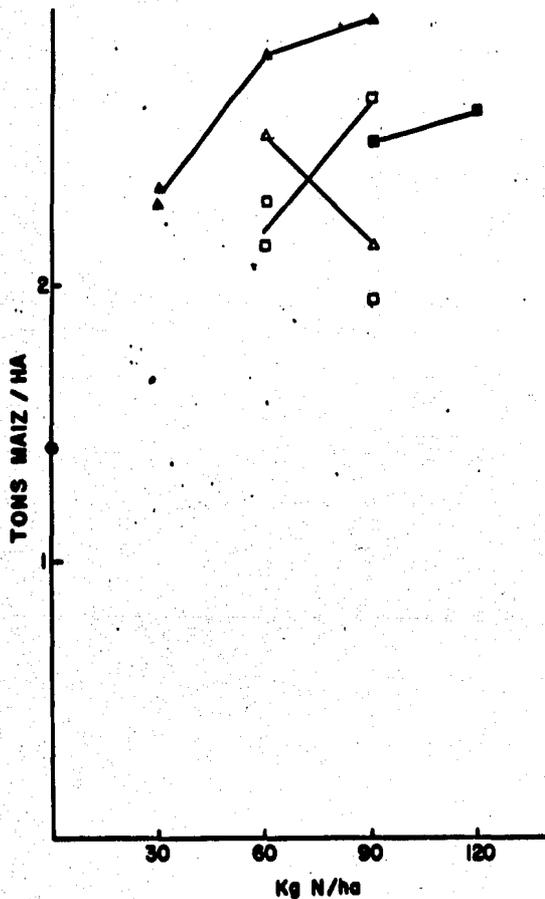


Fig- 14 Respuesta en el rendimiento del maíz a diferentes dosis de fertilizante nitrogenado.

San Andrés Azumiatic (1)



San Andrés Azumiatic (2)

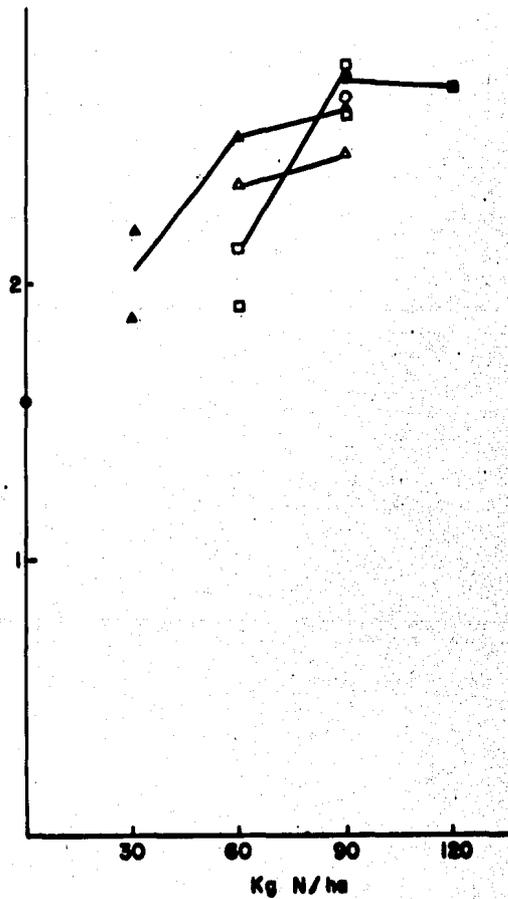
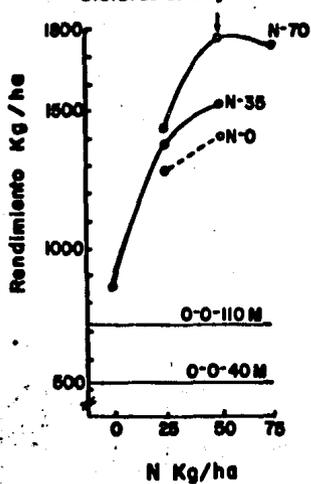
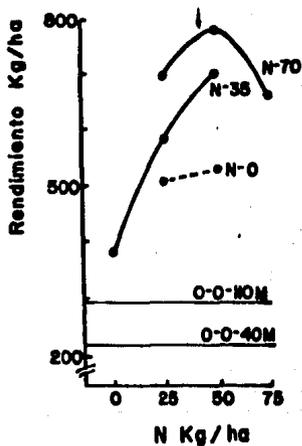


Fig-14 continuación

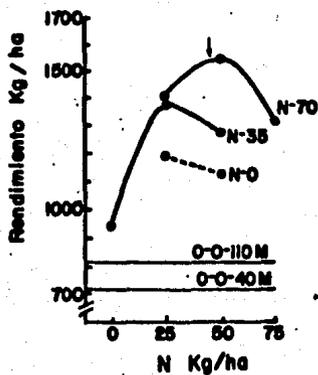
Sta.Cruz de Mayo G Morelos 1978



Chirihullas Gral Trias 1978



El Pino G Morelos 1978



Chamizal Satevo 1978

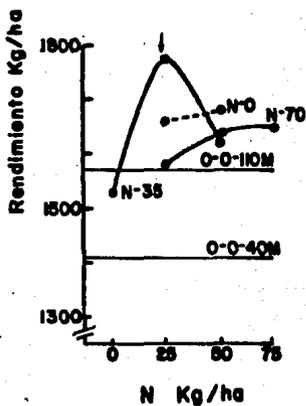


Fig.15 Efecto del Nitrógeno y Fosforo en el rendimiento de frijol.

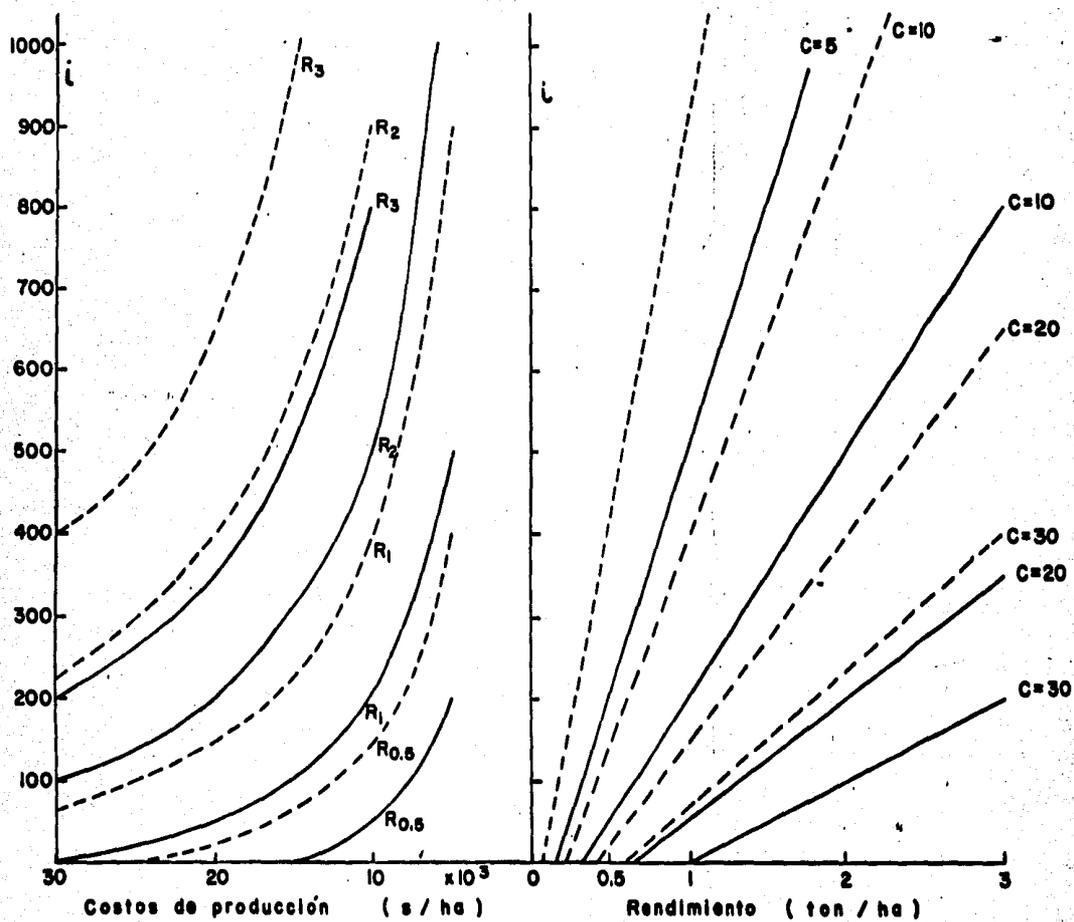
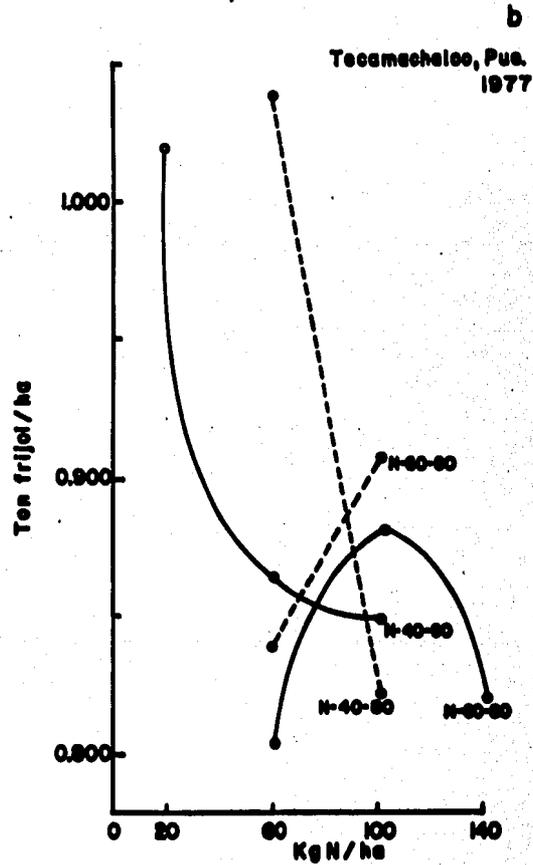
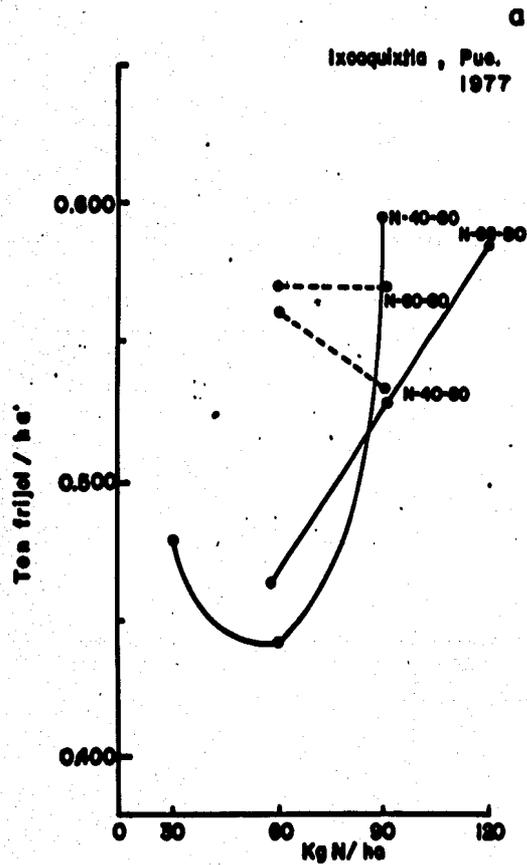


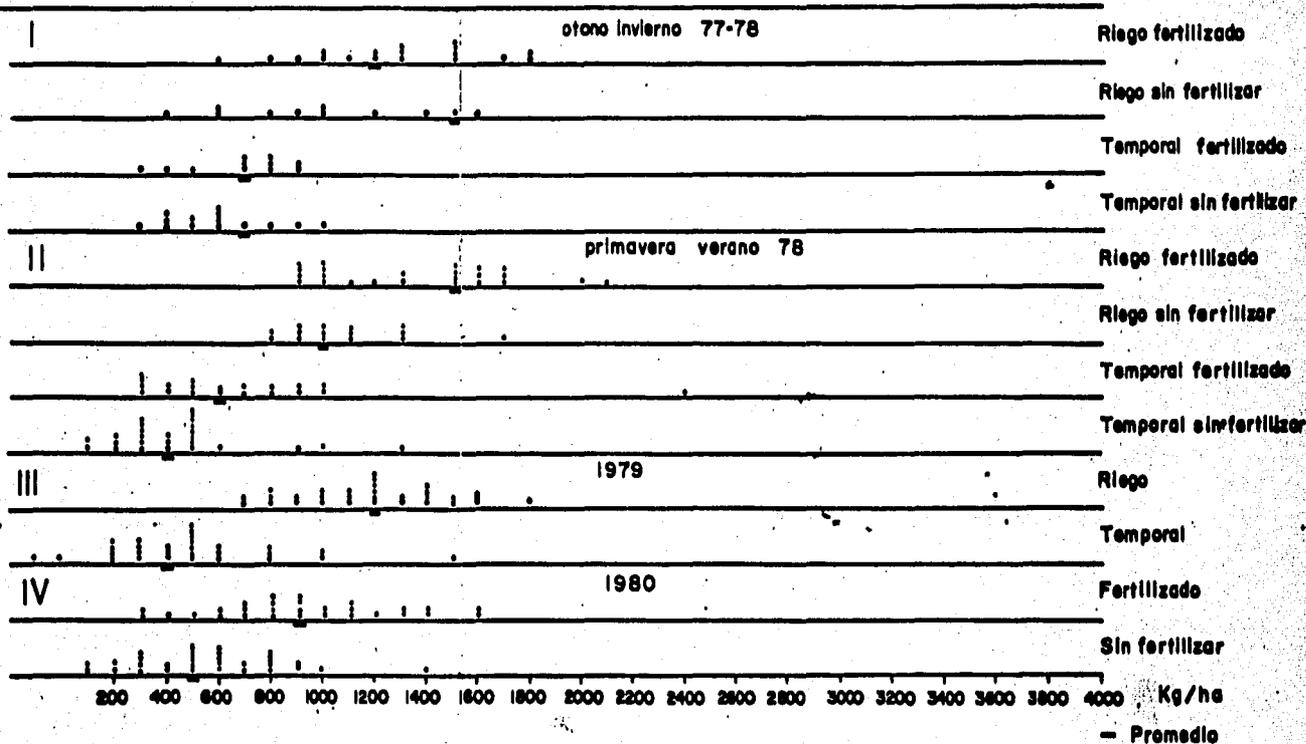
Fig. 16 Valores de *i* en función de diferentes costos de producción y diferentes rendimientos.

— Precio de garantía = \$ 30 000 / ton  
 --- Precio de garantía = \$ 50 000 / ton  
 C = Costos  
 R = Rendimiento



**Fig. 17.** Respuesta del frijol en asociación a diferentes dosis de nitrógeno.

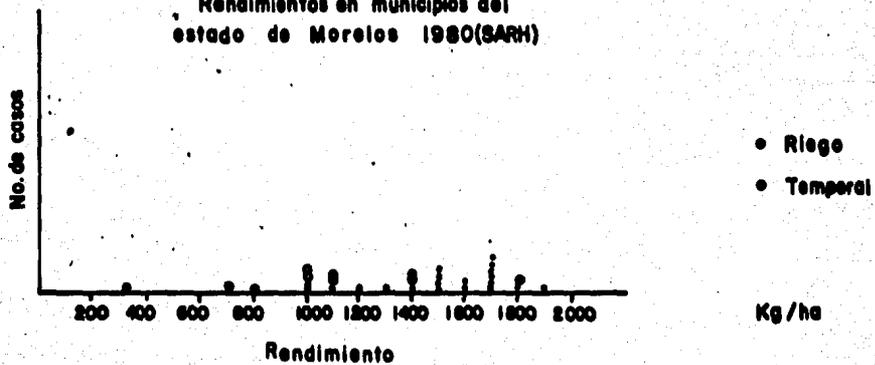
Cuadros de Rendimientos de frijol en diferentes estados



Cada punto representa el rendimiento registrado en un estado de la República Mexicana.

**Cuadro V**

**Rendimientos en municipios del  
estado de Morelos 1980(SARH)**



## Bibliografía

- Adkisson, P.L.  
The Approaching Crisis in Sustaining High-Yielding Agricultural Systems.  
Plant Disease 65: 940-942 (1981)
- Allen, O. N., Allen, E.K.  
The Leguminosae. A Source Book of Characteristics, Uses and Nodulation.  
The University of Wisconsin Press (1981)
- BANRURAL  
Costos de producción de frijol (1981)
- Baudet, J. C.  
Origine et Classification des Espèces Cultivées du Genre Phaseolus.  
Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 110: 65-76 (1977)
- Boyer, J.S.  
Plant Productivity and Environment  
Science, 218: 443-448 (1982)
- Brakel, J.  
La fixation symbiotique de l'azote chez le haricot (Phaseolus vulgaris, L).  
Bull. des Recherches Agronomiques de Gembloux 1: 525-533 (1966)
- Caballero R., Mendoza, R., Turrent, A.  
Informe Anual del Programa de Investigación del Plan Puebla.  
Ciclo Agrícola 1976. SARH, CP. Chapingo
- Crispín, A., Campos, J.  
Bean Diseases of Importance in México en 1975.  
Plant Disease Reporter 60: 534-535 (1976)
- Chávez, S. A.  
Efecto de la Fertilización con N, P, Mo, Co, Fe y del Manejo de dos Cepas de Inoculante (Rhizobium phaseoli), sobre la nodulación, acumulación de N y Rendimiento de Frijol (Phaseolus vulgaris, L.)  
Tesis de Maestría, C.P. Chapingo (1975).
- De Jong, T. M., Phillips, D. A.  
Water Stress Effects on Nitrogen Assimilation and Growth of Trifolium Subterraneum L.  
Using Dinitrogen or Ammonium Nitrate  
Plant Physiol. 69: 416-420 (1982)

de la Paz, S., Reyna, R. y Martínez, A.  
El Rendimiento del Frijol, en Función del Grado  
de Daño de la Conchuela Epilachna varivestis Muls.  
Agrociencia 22: 25-38 (1975)

Delwiche, C. C.  
Legumes, Past, Present and Future.  
Bioscience 28: 565-570 (1978)

Dobereiner, J., Faria Duque, F.  
Contribuicao do Pesquisa em Fixacao Biológica de  
Nitrogenio para o Desenvolvimento do Brasil.  
R. Econ. Rural 18: 447-460 (1980)

Dobereiner, J. y Ruschell, A. P.  
Fixacao Simbiótica de Nitrogenio atmosférico en feijao  
(Phaseolus vulgaris, L)  
Comunicado Técnico 10, I.E.E.E.A.  
Ministerio de Agricultura. Brasil (1961)

FAO  
Improved Use of Plant Nutrients.  
FAO Soils Bulletin 37. Food and Agricultural  
Organization of the United Nations, ROME (1978)

Fontes, L. A. N.  
Nota sobre efeitos de aplicacao de adubo nitrogenado  
e fosfatado, calcario e inoculante na cultura do feijao.  
Ceres 19: 211-216 (1972)

Franco, A. A., Pereira, J. C., Neyra, C. A.  
Seasonae Patterns of Nitrate Reductase and  
Nitrogenase Activities in Phaseolus vulgaris L.  
Plant Physiol 63, 421-424 (1979)

García Montalvo, C., Sosa Moss, C.  
Evaluación de la Resistencia de Frijol hacia  
la Conchuela Epilachna varivestis Muls (Coleóptera:  
Coccinellidae).  
Agrociencia 13: 3-13 (1973)

Gentry, H. S.  
Origin of the Common Bean, Phaseolus vulgaris.  
Econ. Botany 23: 55-69 (1969)

Gibbs, R., Eerde, E.  
Biological Control of the Medfly.  
R & D México. 1: 16-18 (1981)

Giddens, J.  
Reliability of Comercial Soybean Inoculants in  
Georgia.  
Georgia Agricultural Research 20 (d): 11-12 (1979)

Graham, P.H., Halliday, J.  
Inoculation and Nitrogen Fixation in the Genus -  
Phaseolus. en Exploiting the Legume-Rhizobium Symbio  
sis in Tropical Agriculture.  
Univ. of Hawaii. College Tropical  
Agric. Misc. Publ 145. (1976)

Graham, P.H.  
Some Problems and Potentials of Field Beans  
(Phaseolus vulgaris L) in Latin America.  
Field Crops Research 1: 295-317 (1978)

Graham, P.H.  
Separata del Programa de Frijol del Informe del  
CIAT. 1979.

Habish, H.A., Ishag, H.M.  
Nodulation of Legumes in the Sudan, III. Response of  
Haricot Bean to Inoculation.  
Exp. Agric. 10: 45-50 (1974)

Ham, G.E., Cardwell, V.B., Johnson, H.W.  
Evaluation of Rhizobium japonicum Inoculants in  
Soils Containing Naturalized Populations of  
Rhizobia.  
Agron. Journal 63: 301-303 (1971)

Hampton, R.O.  
The Nature of Bean Yield Reduction by Bean Yellow  
and Bean Common Mosaic Viruses.  
Phytopathology 65: 1342-1346 (1975)

Hardy, R.W.F., Havelka, U.D.  
Nitrogen Fixation Research: A Key to World Food?  
Science 188: 633-643 (1975)

Heichel, G.H., Barnes, D.K; Vance, C.P.  
Alfalfa dinitrogen fixation in the field measured  
by N-15 incorporation  
Crop Physiol. Abstracts 7: 102 (1981)

Hu, T.S.  
Abstract of the 8<sup>th</sup> North American Rhizobium  
Conference. Canadá (1981). p. 18

INIA  
Logros y aportaciones de la Investigación Agrícola  
en el Estado de Jalisco. Logros y aportaciones de  
la Investigación Agrícola en el Estado de Guanajuato  
(CIAB). Logros y aportaciones de la Investigación -  
Agrícola en el Estado de Chiapas. (1981)

INIA, SARH

Informe Anual de Investigación del Grupo Interdisciplinario de Frijol. Campo Agrícola Experimental Los Altos de Jalisco.  
Mayo 1982.

Johnson, V.A. & Lay, C. L.  
Genetic Improvement of Plant Protein.  
J. Agr. Food Chem. 22: 558-566 (1974)

Kaplan, L.  
Archeology and Domestication in American Phaseolus (Beans).  
Econ. Botany 19: 358-368 (1965)

Kapusta, F., Rouwenhorst, D.L.  
Influence of Inoculum Size on Rhizobium japonicum Serogroup Distribution Frequency in Soybean Nodules.  
Agron. Journal 65: 916-919 (1973)

Laborde, J.A.  
Estudio Preliminar de los Virus del Frijol Ejotero en el Valle de Culiacán.  
Agricultura Técnica 2,7: 306-307 (1967)

Lopes, E.S., Deuber, R., Forster, R., Gargantini, H.  
Influencia dos herbicidas EPTC e TRIFLURALIN e da Inoculação das Sementes con Rhizobium phaseoli na Nodulação e Produção do Feijoeiro (Phaseolus vulgaris)  
Bragantia 30: 109-116 (1971)

Mattson, W. Jr.  
Herbivory in Relation to Plant Nitrogen Content.  
Ann. Rev. Ecol. Syst. 11: 119-161 (1980)

Miranda C., S.  
Origen de Phaseolus vulgaris L.  
Agrociencia 1: 99-109 (1967)

Miranda, C., S.  
Efecto de las malezas, plagas y fertilizantes en la producción de frijol.  
Agric. Téc. en México 3: 61-66 (1971)

NAS

Leucaena. Promising Forage and Tree Crop for the Tropics.  
Report National Academy of Sciences.  
Washington D. C. (1977)

Negrete, J.  
Análisis de Sensibilidad en la Producción  
Biológica.  
Ed. Inst. de Inv. Biomédicas, UNAM (1981)

Norris, D.O., Lopes, E.S., Weber, D.F.  
Incorporação de Materia orgânica ("mulching") e  
Aplicação de pèletes de calcário ("pelleting")  
para testar estirpes de Rhizobium en experimentos  
de campo sob condicoes tropicais.  
Pesq. Agropec. 5: 129-146 (1970)

Nuñez, E.R., Ferrera, C.R., Martínez, J.H.,  
Cuautle, F.E.  
Final Report. Isotopic Techniques in Studies of  
Biological Nitrogen Fixation.  
Experiment Conducted in Chapingo, México, 1979.

Ortega, M.A.  
Bioquímica. Contribuciones al Conocimiento del  
Frijol (Phaseolus) en México.  
Ed. E. Mark Engleman C. P. (1979)

Postgate, J.  
Nitrogen Fixation.  
Studies in Biology N° 92 (1978)

Requejo, L.R.  
Informe Anual de Actividades 1981. Programa Sistemas  
Agrícolas de Producción.  
Distrito de Temporal 1, Tlaxcala. INIA, 1981.

Rivera, S.E.H.  
Tesis para obtener el título de Biólogo.  
UAEM, Cuernavaca, Mor., 1981

Rothamsted Report  
p. 206-207, Part I (1980)

SAM  
Primer Planteamiento de Metas de Consumo y  
Estrategia de Producción de Alimentos Básicos  
para 1980-1982.  
Sistema Alimentario Mexicano.  
Oficina de Asesores del C. Presidente (1980)

SAM, SARH  
Resumen del Programa Nacional Agropecuario  
y Forestal (1982)

SAM, SARH  
Programa Agropecuario y Forestal.  
Producción Agrícola, Ganadera y Forestal de 1982

Sanders, J. H., Alvarez, C.  
Evolución de la Producción de frijol en América  
Latina durante la última década.  
CIAT Publicación 06SB-1 (1978)

SARH  
Asociación de cultivos maíz-frijol en el Valle  
de México. Programa de Leguminosas Comestibles.  
CIAMEC, 1980

Tarquin, A. J., Blanck, L. T.  
Ingeniería Económica  
Mc. Graw Hill, México (1978)

Turrent, F. A.  
Los Sistemas Agrícolas de México.  
(Manuscrito). 1983

Vargas, M. A. T., Peres, J. V. R., Suhet, A. R.  
(Reinoculation of Soybean as a Function of  
Rhizobium japonicum serogroups prevailing in  
Cerrados Soils)  
Pesq. Agropec. Bras. (1981)

Westermann, D. T., Kleinkopf, G. E., Porter, L. K.,  
Leggett, G. E.  
Nitrogen Sources for Bean Seed Production.  
Agron. Journal 73: 660-664 (1981)

Wolfenbarger, D., Slesman, J. P.  
Resistance of the Mexican Bean Beetle in  
Several Bean Genera and Species.  
J. of Ec. Entomology 54: 1018-1022 (1961)

Yerkes, W. D., Crispin, A.  
Bean Diseases of Importance in México in 1955  
Plant Disease Reporter 40: 222-223 (1956)

## Indice

Introducción

Objetivos

Bloque informativo

Importancia del Cultivo del Frijol

Producción

El frijol como Fijador de Nitrógeno

Problemas de la Inoculación con R. phaseoli

Discusión

Conclusiones

Proposiciones

Tablas

Figuras y Cuadros

Bibliografía