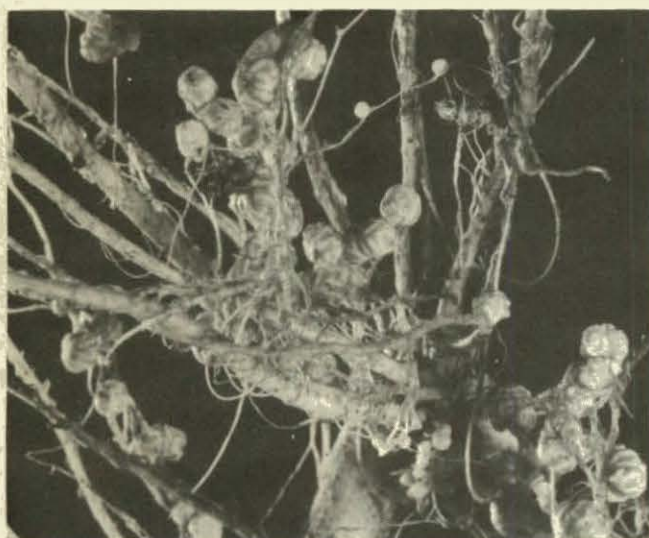




La fijación del nitrógeno en el fríjol

— la planta elabora su propio fertilizante



Nódulos de *Phaseolus vulgaris* localizados en las raíces secundarias de la planta. Los nódulos son el elemento clave en el proceso de fijación del nitrógeno; sin ellos, no hay fijación.

En América Latina, el fríjol común se cultiva muy frecuentemente por los pequeños agricultores en suelos infértiles e intercalado con maíz. En esta área del mundo constituye una de las pocas fuentes de proteína para gran parte de la población de bajos recursos.

La productividad del fríjol se ha estancado en los últimos 20 años. Una de las causas de este estancamiento es el uso limitado de fertilizantes en este cultivo. El costo cada día más alto de los fertilizantes es un factor económico importante. Para solucionar el problema de adquisición de fertilizantes nitrogenados, se presenta una alternativa muy interesante para aumentar la producción y la productividad de los cultivos de fríjol: el mejoramiento de la eficiencia en la fijación de nitrógeno mediante la asociación simbiótica de fríjol y *Rhizobium*. El Programa de Fríjol del CIAT es uno de los pocos que, en las áreas tropicales, está investigando acerca de cómo lograr que esa asociación sea más eficiente.

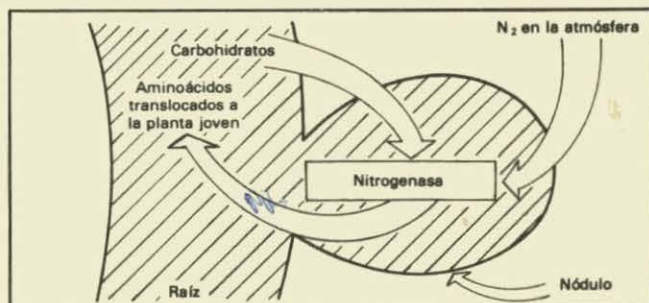
La fijación de nitrógeno es, básicamente, un proceso de "autofertilización" o sea, logra que las plantas elaboren su propio fertilizante. Las raíces de las plantas leguminosas (entre ellas, el fríjol), se "infectan" con ciertas bacterias que

viven en el suelo, produciendo el engrosamiento de ciertas áreas de la raíz. Las bacterias que se alojan en estos abultamientos —llamados nódulos— reciben energía procedente de los carbohidratos que la planta elabora en el proceso de fotosíntesis. Parte de esa energía se utiliza en la transformación del nitrógeno atmosférico en forma de nitrógeno orgánico que la planta puede utilizar.

En plantas de *P. vulgaris* se hizo la primera observación de la relación leguminosa/*Rhizobium*. Posteriormente, se comprobó que la soya y el maní son especies vegetales mucho más eficientes en la fijación de nitrógeno. Sin embargo, los investigadores del CIAT encontraron que, al revestir las semillas de algunas variedades de *P. vulgaris* con una cepa específica de *Rhizobium* aislada en Australia (CIAT 1057), el nivel de fijación de nitrógeno puede llegar hasta 40 kilogramos de nitrógeno por hectárea por ciclo de cultivo.

Con el uso de un buen inoculante, bajo las condiciones existentes en Popayán, Departamento del Cauca, Colombia, es posible aumentar los rendimientos de un cultivo de fríjol hasta en un 50 por ciento, a un costo total (producción y aplicación) de US\$2,00 por hectárea. En Chile, utilizando el inoculante CIAT 1057, se obtuvo un aumento en el rendimiento hasta de 300 a 400 kilogramos por hectárea.

En la sede del CIAT, los cultivares trepadores y semitrepadores de fríjol presentan tasas mayores de fijación de nitrógeno que los cultivares arbustivos. El Dr.



En el nódulo, las bacterias absorben el N₂ atmosférico que llena los espacios que quedan entre las partículas del suelo. Por medio de una enzima especial (nitrogenasa), que tienen las bacterias, el N₂ se convierte en amoníaco y éste se combina con los carbohidratos producidos por la fotosíntesis para formar aminoácidos. Estos constituyen las unidades que integran las proteínas vegetales.



La asociación fríjol/maíz es mutuamente beneficiosa para ambos cultivos. El fríjol mejora la aireación del suelo en tanto que el maíz proporciona sombra, lo cual reduce la temperatura del suelo para permitir la fijación de nitrógeno por el fríjol.

Peter Graham, microbiólogo del suelo y a la vez Coordinador del Programa de Sistemas de Producción de Fríjol del CIAT, atribuye las menores tasas de fijación de nitrógeno del fríjol arbustivo al hecho de que el proceso de selección de materiales genéticos para lograr alta producción se hizo bajo condiciones de alta aplicación de fertilizantes. Por tal razón, el suelo pudo haber tenido influencia sobre el mecanismo de selección.

Sin embargo, observó el Dr. Graham, los altos niveles de fijación de nitrógeno en tipos de fríjol trepador y semitrepador, favorecen preferentemente al pequeño agricultor. Por lo general, este empresario marginal no está en capacidad de comprar fertilizantes; siembra el fríjol intercalado con maíz para aprovechar mejor la pequeña extensión de terreno que posee. Afortunadamente, bajo tales condiciones, la competencia por luz y nutrientes para lograr una fijación activa es poca; tal fijación, en fríjol sembrado como cultivo único, alcanza su máximo nivel a los 70 días. En cultivos asociados, la competencia por luz entre las plantas de fríjol y de maíz comienza, aproximadamente, a los 80 días después de la siembra.

Los resultados de las investigaciones llevadas a cabo por el Dr. Peter Graham y el Dr. Jake Halliday sugieren que el proceso de fijación de nitrógeno en fríjol es una característica varietal, la cual está determinada por la cantidad de carbohidratos disponibles para los nódulos

radicales. En estudios de fijación de nitrógeno con los cultivares de fríjol P 590 y P 635, se observaron diferencias marcadas en la tasa de fijación. En tanto que P 590 tiene la capacidad de fijar nitrógeno, la fijación en P 635 es nula, aunque ambas plantas nodulan bien. Aparentemente, la diferencia se debe a la mayor cantidad de carbohidratos solubles que se encuentran en toda la planta de P 590 y a la translocación de mayor cantidad de carbohidratos totales hacia los nódulos radicales. Este descubrimiento indica cuál podría ser el camino a seguir, a través del proceso de mejoramiento genético, para lograr una fijación de nitrógeno más eficiente.

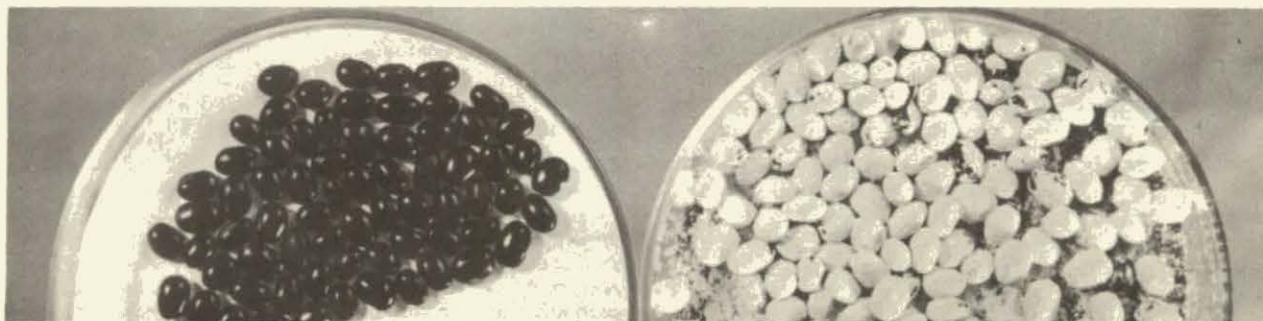
Otro factor que limita la fijación de nitrógeno en fríjol es el período relativamente corto en el que se lleva a cabo la fijación. Cuando la planta es joven y se están formando los nódulos en la raíz y luego, después de la floración, cuando los nódulos se desintegran, la cantidad de carbohidratos que la planta transloca a los nódulos es muy baja. En consecuencia, es muy poco el nitrógeno que se fija en los nódulos.

Se ha procurado tener más conocimiento sobre la conducción de carbohidratos hacia los nódulos de la raíz. También, es necesario hacer una estimación del posible aumento en el nivel de fijación que se puede alcanzar si se prolonga el período de fijación. Con tales objetivos, los investigadores del CIAT que trabajan en el Programa de Fríjol han utilizado, como herramientas de investigación, la suplementación de la fijación con CO₂ y la ampliación del fotoperíodo en la planta de fríjol.

También se ha encontrado que, después de la floración, se reduce la intensidad de la fotosíntesis y la producción de carbohidratos en las hojas inferiores de la planta, lo cual afecta la fijación de nitrógeno. Los fitomejoradores del Programa de Fríjol del CIAT esperan lograr un aumento en la fijación de nitrógeno mediante la selección de variedades que tengan una estructura de la cobertura foliar que permita prolongar la vida de las hojas inferiores. Esto suministraría más carbohidratos a los nódulos. La hibridación de dichas variedades con otros cultivares de altos rendimientos produciría materiales con un mayor potencial de fijación.

Mencionaremos algunos factores que pueden limitar o disminuir la nodulación:

- Ciertas características del medio ambiente, como lo es la temperatura, limitan la fijación de nitrógeno y el rendimiento de las plantas. En América Central,



A la izquierda, granos normales de fríjol. A la derecha, los mismos granos después de ser inoculados con *Rhizobium* y peletizados con cal para protección del *Rhizobium* al sembrar la semilla en suelos ácidos.

Brasil, Colombia y Venezuela, existen muchas regiones en las cuales las temperaturas del suelo son demasiado altas para lograr una buena fijación de nitrógeno y un alto rendimiento de las plantas. Sin embargo, el cultivo del frijol intercalado con maíz reduce las temperaturas del suelo y evita las pérdidas de humedad.

- Los altos niveles de nitrógeno en el suelo pueden retrasar o disminuir la nodulación puesto que la disponibilidad excesiva de nitrógeno impide el desarrollo de los nódulos radicales. Sin embargo, una fertilización moderada con nitrógeno, a razón de 5 a 15 kilogramos por hectárea, puede estimular el desarrollo de los nódulos.
- La alta acidez del suelo inhibe el crecimiento de las plantas de frijol y en consecuencia, la fijación de nitrógeno. El encalado de los suelos reduce la acidez pero también puede fijar el fósforo produciendo combinaciones insolubles que la planta no puede asimilar. El fósforo es esencial para el crecimiento del frijol y para la fijación del nitrógeno. Aunque la planta de frijol no se adapta bien a los suelos ácidos, existen algunos cultivares con grano de color negro los cuales, al ser inoculados con *Rhizobium*, toleran la acidez.

Se ha admitido el hecho de que la planta de frijol no logra fijar nitrógeno cuando se cultiva en determinadas condiciones ambientales. Esta función no la cumple la planta en toda la gama de posibles condiciones ecológicas. Sin embargo, el Programa de Frijol del CIAT logró demostrar que no es exacta la aseveración que frecuentemente se hace de que "la planta de frijol es una buena fijadora de nitrógeno". Al tratar de conocer mejor el fenómeno de translocación y de utilización de los carbohidratos en la planta, los investigadores del CIAT han avanzado mucho en la mejor comprensión de los factores genéticos y ambientales que intervienen en la translocación de carbohidratos. Con base en ese mejor conocimiento, es ahora posible alcanzar beneficios máximos por medio de una eficiente fijación de nitrógeno por la planta de frijol.

El efecto combinado de un *Rhizobium* eficiente—como lo es CIAT 1057— con la utilización de linajes productivos de frijol que tengan una alta capacidad de fijación de nitrógeno sembrados en suelos que pudieran tener baja fertilidad, representará un gran beneficio para el pequeño agricultor al no ser necesario aplicar fertilizantes nitrogenados, ya que las plantas de frijol tendrán la capacidad de elaborar su propio fertilizante. En este caso, la nueva tecnología favorecerá más a este tipo de agricultor.

Cooperación internacional a través de las pruebas internacionales de arroz

En el trópico de América Latina, el arroz es un alimento básico. Sin embargo, los programas nacionales de mejoramiento genético de arroz, no cuentan con los recursos financieros, el personal técnico debidamente adiestrado ni la disponibilidad de tiempo que son necesarios para lograr un aumento rápido en la producción de arroz, la cual pueda satisfacer la demanda de una población en rápido crecimiento.

El programa de Pruebas Internacionales de Arroz para América Latina, patrocinado por el International Rice Research Institute (IRRI) y el CIAT, con la coordinación de esta última institución, coopera con los programas nacionales en el campo técnico y a la vez, les ahorra tiempo y disponibilidades económicas. El objetivo fundamental del programa es el de estabilizar el rendimiento de los cultivos irrigados de arroz a un nivel aproximado de cinco toneladas por hectárea y aumentar el rendimiento de los cultivos de secano. Para lograr este objetivo, es necesario identificar los factores que limitan los rendimientos y luego, evaluar y distribuir variedades promisorias seleccionadas a nivel mundial, con el propósito de someterlas a pruebas uniformes internacionales.

El primer Vivero Internacional de Rendimiento (VIRAL) incluyó 24 variedades procedentes de varios países latinoamericanos para su evaluación, bajo las condiciones muy diversas existentes en esos países. La información obtenida en este vivero servirá para identificar aquellas variedades de alto rendimiento y buena adaptación a una amplia gama de condiciones. Además, permitirá a los programas nacionales seleccionar variedades de alto

rendimiento, para ser inmediatamente utilizadas en escala comercial. Además, servirán como fuente de genes para incorporar características deseables a las variedades locales, en los programas nacionales de mejoramiento genético. Este vivero también sirve a los programas nacionales para ayudarles a evaluar sus propios materiales "elites" (líneas avanzadas), en escala internacional.

La capacidad de alto rendimiento no es el único factor ligado a la producción que se ha estudiado en el Programa de Pruebas Internacionales de Arroz. Simultáneamente, se están proyectando o conduciendo otros viveros para evaluar variedades disponibles y líneas en avanzada etapa de selección con el propósito de encontrar fuentes de resistencia o de tolerancia a los principales factores limitantes de la producción de arroz en América Latina.

El añublo del arroz, una enfermedad fungosa causada por *Pyricularia oryzae*, ocasiona más daño en las plantaciones de arroz de América Latina que cualquier otra enfermedad. Si bien inicialmente se obtuvieron variedades que presentaron alguna resistencia, luego el patógeno produjo otras razas nuevas que atacaron las variedades consideradas como resistentes. El Vivero Internacional de *Pyricularia* fue despachado a diversos países, a mediados de 1977, para evaluar las variedades en disponibilidad y también las líneas avanzadas, frente a una amplia gama de razas del hongo. El vivero permitirá seleccionar variedades con resistencia, se amplía o especifica. Este año, el vivero está formado por líneas mejoradas de Asia y materiales procedentes de programas nacionales de América Latina. En 1978, se incluirán variedades ICA-CIAT.

El añublo de la vaina, causada por el hongo *Thanatephorus cucumeris* es el problema principal en los arrozales de América Central. Una infección severa puede reducir el tamaño de la panícula mermando la producción de grano; puede ocasionar la esterilidad o pérdida de grano. Aunque no se conocen variedades resistentes, se ha planeado estructurar un Vivero Internacional del Añublo de la Vaina (VIAVAL), para encontrar progenitores que aporten resistencia y variedades más tolerantes.

El programa de Pruebas Internacionales de Arroz no sólo evalúa resistencia o tolerancia a enfermedades específicas sino que también forma viveros para evaluar el comportamiento de variedades y de líneas mejoradas bajo condiciones de escasez de agua. En el Vivero Internacional de Observaciones (VIOAL) se están evaluando variedades provenientes de Asia, muchas de las cuales produjo el IRRI, para conocer su comportamiento bajo riego o en seco (cultivo sujeto a las lluvias).

Además, se están evaluando algunas líneas y variedades por su comportamiento bajo condiciones de inundación. En Colombia, Guyana, Ecuador, República Dominicana y Venezuela, durante la época lluviosa, es necesario disponer de variedades que se adapten a un mayor nivel de agua, mediante una mayor longitud del tallo. El Vivero Internacional de Observación de Variedades Flotantes de Arroz (VIRAL-F) seleccionaría variedades adecuadas para condiciones de altos niveles de agua, con el fin de encontrar resistencia a las inundaciones.

La salinidad y la alcalinidad son condiciones adversas del suelo que limitan la producción en distintas áreas arroceras del mundo. Los problemas de salinidad, en general, se observan en las regiones áridas irrigadas durante períodos de poca lluvia, cuando el flujo de agua de los ríos no es suficiente para contrarrestar la evaporación y se forma una capa de sales evaporadas en la superficie del suelo. Las puntas de las hojas pueden tornarse blanquecinas y luego morir; si el arroz está cercano a su madurez, pueden aparecer panículas vacías de color blanco. Estas

condiciones pueden aparecer en algunos países de América del Sur. El Vivero Internacional de Observación de la Salinidad (VIOSAL) permitirá encontrar variedades que toleren estas condiciones edáficas. Así, los programas nacionales podrán seleccionar variedades para su uso comercial y también, progenitores para utilizar en los programas de mejoramiento genético.

En aquellas áreas en las cuales es posible la producción continua de arroz, las variedades con ciclos vegetativos más cortos permitirán a los agricultores obtener un mayor número de cosechas al año. Los Viveros Internacionales de Rendimiento para Variedades de Maduración Precoz y Temprana, identificarán las variedades que maduran en 100 a 120 y 120 a 140 días.

A través del Programa de Pruebas Internacionales de Arroz para América Latina, los programas nacionales de mejoramiento genético que no disponen de recursos económicos suficientes, podrán aumentar su participación y beneficio recibido, en la evaluación masiva del germoplasma a través de una amplia red cooperativa. El flujo continuo de variedades mejoradas de arroz para el agricultor podrá ser una realidad dentro de poco tiempo.

NOTI-  CIAT

Noti-CIAT es publicado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Contiene información acerca de las actividades desarrolladas por los programas de la institución y noticias de interés para el desarrollo de la agricultura y la ganadería de las zonas bajas tropicales. Se distribuye gratuitamente. Solicite esta publicación a:

Ofina de Distribución de Publicaciones
Biblioteca y Servicios de Información
CIAT
Apartado Aéreo 67-13
Cali, Colombia, S.A.



Miembros del Comité Técnico Asesor (TAC) y Directores de los Centros Internacionales que participaron en la reunión conjunta anual realizada en mayo en el CIAT. De izquierda a derecha: primera fila — J. Diouf, WARDA; H.C. Pereira, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London; A.A. Khaled, FAO Regional Office for Near East; A.B. Joshi, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi; L.D. Swindle, ICRISAT; J.C. Madamba, College of Agriculture, Philippines; H.J. Oslage, Institute of Animal Nutrition and Agricultural Research Center, Germany; H. Darling, ICARDA; C. Dehaan, ILCA; K.O. Rachle, CIAT; A. Blumenschein, EMBRAPA, Brasil; R.W. Cummings, TAC Secretariat.

Segunda fila — J.L. Nickel, CIAT; H. Ishikura, Japan Marine Science and Technology Center; D. Hopper, IDRC; A. Grobman, CIAT; B.N. Okigbo, IITA; G. Camus, Office de la Recherche Scientifique et Technique D'Outre-Mer; T.A. Taylor, University of Ibadan, Nigeria; J.T. Williams, IBPGR; K. Finlay, CIMMYT; V.W. Ruttan, Agricultural Development Council; J.C. Moomaw, AVRDC; A. Hayman, UNDP; J. Henson, ILRAD, Tercera fila — R. Demuth, IBPGR; B. Webster, Secretaria, TAC; P.J. Mahler, Executive Secretary, TAC; J.G. ten Houten, Studierichting Milieuhygiene, Holland; H. Idris, Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources; W. Gamble, IITA; J. Coulter, World Bank; and D. Page, CIP.