

Manejo agronómico

Suelos

El frijol requiere de suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franco limosa, aunque también tolera texturas franco arcillosas. Crece bien en suelos con pH entre 5,5 y 6,5, de topografía plana y ondulada, con buen drenaje.

Las condiciones físicas y químicas de los suelos donde se cultiva el frijol en Colombia son muy variables. Ello muestra que el frijol tiene la habilidad de adaptarse a una gran cantidad de condiciones de suelo y topografía (Ríos, 2002). Por lo general, se siembra en zonas de montaña y también en los valles interandinos.

En las tierras planas de los departamentos de Norte de Santander, Cundinamarca y Valle del Cauca, con suelos moderadamente profundos, bien drenados y de fertilidad alta, que pertenecen a la clase agroecológica Ma. En las zonas de los departamentos de Cauca, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca, Santander y Cundinamarca, en planicies aluviales, pie de monte y altiplanicies con suelos ligeramente ondulados, moderadamente profundos, bien drenados y de fertilidad moderada a baja, que corresponden a la clase agroecológica Me. En las zonas de los departamentos de Antioquia, Tolima, Cauca, Santander, Quindío y Cundinamarca, con suelos de fertilidad baja a media, susceptibles a la erosión y con pendientes de 25 a 50% que corresponden a la clase Mf o con pendientes superiores al 50% correspondientes a la clase Mg.

También en los altiplanos y valles de Nariño y Antioquia de relieve plano y ondulado con pendientes menores del 7%, suelos moderadamente profundos, de baja fertilidad pertenecientes a la clase Fg; o los que tienen pendientes inferiores al 25% de la clase Fh.

Semillas y variedades

La semilla representa el óvulo fecundado y maduro y, en granos como el frijol, la forma de reproducción y multiplicación de la especie. Para asegurar el proceso de reproducción es necesario contar con una semilla de buena calidad, considerada como aquella que al momento de la siembra está en condiciones de germinar y producir una planta normal y vigorosa (Arias y colaboradores, 2001).

La calidad de la semilla se puede resumir en tres componentes: el componente genético, que define sus características y las de la planta en cuanto a adaptación, resistencia o susceptibilidad al ataque de agentes patógenos, y el tipo de grano (tamaño, color, forma);

el componente sanitario, que se refiere a la presencia o ausencia de patógenos internos o externos, que no sólo deterioran su apariencia sino que pueden transmitirse de un cultivo a otro a través de la semilla, y el componente fisiológico, que está relacionado con el tamaño, la cantidad y la calidad de los elementos que posee en su interior para nutrir la planta, y darle madurez, viabilidad y vigor (Arias y colaboradores, 2001).

Procedimiento para la producción de semilla, categoría seleccionada, por los productores

Fuente de semilla: para la producción de semilla conviene utilizar una fuente de semilla certificada o seleccionada para este fin con las condiciones de calidad requeridas.

Ubicación del cultivo: el cultivo debe estar, en la medida de lo posible, aislado de los demás cultivos de frijol, y que el terreno que se vaya a utilizar no haya sido sembrado con frijol por lo menos en un semestre, con el fin de interrumpir el ciclo de vida de los patógenos e insectos plagas y evitar la mezcla o contaminación de la semilla con otras variedades de frijol.

Densidad de siembra: se deben utilizar densidades de siembra bajas para facilitar el manejo del cultivo y disminuir la incidencia de enfermedades.

Manejo de enfermedades: en el cultivo se debe hacer un manejo especial de las enfermedades para evitar que se puedan transmitir a través de la semilla, tales como la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), y el virus del mosaico común del frijol (BCMV).

Eliminación de plantas extrañas o enfermas: es necesario eliminar, en forma oportuna, plantas que muestren características diferentes a las de la variedad sembrada, así como aquellas que presenten síntomas de enfermedades, en especial de las causadas por virus.

Cosecha y selección de la semilla: la semilla de frijol alcanza su máximo grado de calidad en el momento de la madurez fisiológica, pero en esta etapa tiene un grado de humedad alto, generalmente superior al 30%, y no es conveniente realizar la cosecha en este estado, ya que se pueden presentar dificultades para su secado y acondicionamiento. Es conveniente realizar la cosecha cuando el frijol tiene contenidos de humedad cercanos al 20%.

Métodos de cosecha: se recomienda seleccionar las mejores vainas y preferiblemente aquellas que maduran primero en la planta. Para frijol de hábito voluble, la maduración se presenta en forma desigual, y la cosecha debe hacerse en forma manual y en varias etapas a medida que las vainas se vayan secando en la planta. En cultivos con poca homogeneidad en el campo, es recomendable, además, marcar en etapas previas a la cosecha las mejores plantas para seleccionar sus semillas.

Selección de vainas después de la cosecha: después de la cosecha, es conveniente seleccionar las mejores vainas por tamaño, forma, número de granos y sanidad.

Selección por calidad de los granos: después del desgrane, vale la pena realizar una nueva selección de granos por apariencia física, tamaño y sanidad.

Secado: como ya se mencionó, el fríjol se cosecha con grados de humedad aproximados al 20%, pero bajo estas condiciones la semilla se deteriora muy fácilmente, máxime si se requiere su almacenamiento. Es necesario, entonces, someterla a un proceso de secado para bajar su contenido de humedad por lo menos hasta un 13%. Se recomienda secar la semilla en vaina antes del desgrane para evitar su deterioro por la acción del calor y utilizando métodos adecuados, como es el caso de las marquesinas o coberturas plásticas.

Desgrane: en el caso de fríjol para semilla, es preferible realizar el desgrane en forma manual para evitar daños físicos y deterioro de los granos.

Almacenamiento: si se requiere almacenar, la semilla debe tener bajos contenidos de humedad, debe guardarse en sitios adecuados, aireados, con baja temperatura y limpios, preferiblemente en empaques que permitan el intercambio de humedad entre la semilla y el medio (empaques de fibras naturales o de papel).

La producción de semilla en Colombia es reglamentada por el instituto Colombiano Agropecuario —ICA—, mediante la Resolución N.º 148 de 2005, que incluye la normatividad para producción de semilla certificada y de otras categorías como es la semilla seleccionada (véase Anexo 2).

Variedades

Colombia posee una gran riqueza en cuanto a materiales genéticos de fríjol. Esta especie, por ser originaria de Centro y Suramérica, presenta una gran diversidad en cuanto a sus características y comportamiento como reacción a las condiciones ambientales y de manejo.

De acuerdo con el origen, ciertos tipos de fríjol se han ido adaptando a las condiciones de cada lugar. Por ejemplo, los fríjoles de hábito IV (volubles) se han adaptado a las condiciones del clima frío. Así mismo, dependiendo de los hábitos de consumo, determinadas regiones se han especializado en la producción con variedades cuyo grano pertenece a determinada clase comercial. Es el caso del fríjol tipo: cargamanto en Antioquia (figura 25), el bola roja (figura 26) en el Altiplano Cundiboyacense, o el mortiño (figura 27) en Nariño. Caso contrario sucede con otros tipos de fríjol como la clase calima (figura 28), que se producen y se consumen en varias regiones de Colombia.

Aprovechando la gran diversidad genética existente en el país, se han realizado numerosas investigaciones para mejorar las variedades por características deseables en cuanto a adaptación al medio, rendimiento, resistencia o tolerancia a enfermedades, teniendo además en cuenta el tipo de grano, de acuerdo con las preferencias que se han identificado en cada región.

Para el almacenamiento, la semilla debe tener bajos contenidos de humedad, y guardarse en sitios adecuados, aireados, con baja temperatura y limpios.

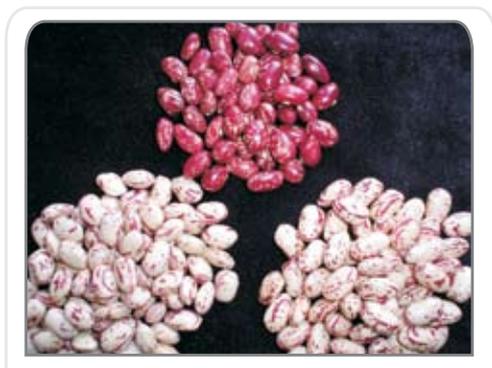


Figura 25. Fríjol cargamanto.



Figura 26. Fríjol bola roja.

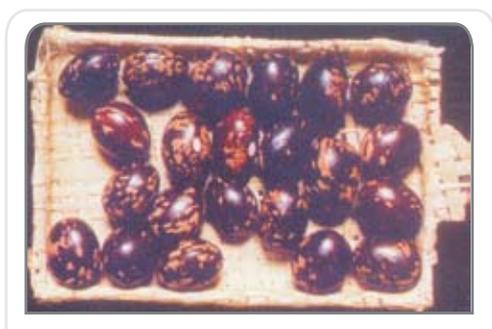


Figura 27. Fríjol mortiño.



Figura 28. Fríjol calima.

En Antioquia predomina el uso de variedades criollas de frijol, tales como la variedad cargamanto, del cual se han identificado muchos tipos: cargamanto común, cargamanto ombligo amarillo, cargamanto rojo, cargamanto gigante, entre otras. El frijol cargamanto es cultivado en condiciones de clima frío y clima frío moderado en la subregión del Oriente antioqueño y en el municipio de Urrao en el Suroeste. Son variedades de hábito voluble o de enredadera (hábito IV) (figura 29).



Figura 29. Variedad de hábito voluble o de enredadera

Las variedades de fríjol cargamanto se siembran en las regiones antes mencionadas en alturas desde 1.800 hasta 2.500 msnm, en sistemas de producción de fríjol solo o asociado con otros cultivos como el maíz. Son muy apreciados en el mercado, principalmente en Antioquia, por el tipo de grano (color crema rojo o rojo crema), su forma ovalada y el tamaño grande (generalmente superior a 60 g/100 semillas). Una característica desfavorable de los fríjoles tipo cargamanto es su alta susceptibilidad a enfermedades.

Existen muchas otras variedades criollas, tales como el uribe rosado (figura 30) y el sangre toro (figura 31), la mayoría arbustivos que se cultivan en las condiciones del clima medio en alturas desde 800 hasta 2.000 msnm, en sistemas de producción de fríjol solo o asociado con otros cultivos como café y plátano.

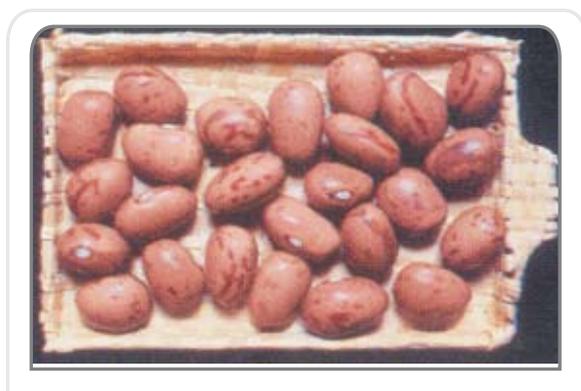


Figura 30. Fríjol uribe rosado.



Figura 31. Fríjol sangre de toro

Se recomienda que la variedad seleccionada por su tipo de grano tenga aceptación en el mercado y le garantice un buen precio de venta al agricultor para mejorar la competitividad del cultivo.

Variedades mejoradas

En Colombia se trabaja en mejoramiento genético de frijol desde hace más de 50 años y son muchas las variedades mejoradas que se han obtenido y entregado a los agricultores. Para el caso del departamento de Antioquia, se pueden mencionar variedades como Diacol nima, Diacol catío, Diacol calima, todas ellas de hábito arbustivo (figura 32) y con grano de color rojo moteado de crema (tipo calima), que se han sembrado en las condiciones de clima medio a cálido (800 – 1.800 msnm). El tamaño de este tipo de frijol es mediano, entre 40 y 50 g/100 semillas, y su precio es inferior al de los frijoles de tamaño grande como los tipos cargamanto, y es muy apetecido en los principales mercados de frijol en Colombia. Al igual que las variedades de cargamanto, las de tipo calima son susceptibles a enfermedades.



Figura 32. Variedad de hábito arbustivo.

Más recientemente se han entregado otras variedades de frijol arbustivo como ICA citará y CORPOICA guanentá (fig 33), ICA quimbaya (figura 34) e ICA jaidukamá (figura 35), también para las condiciones de clima medio y cálido y con tolerancia a enfermedades como la antracnosis, y en el caso de ICA jaidukamá, con resistencia al virus del mosaico común del frijol.

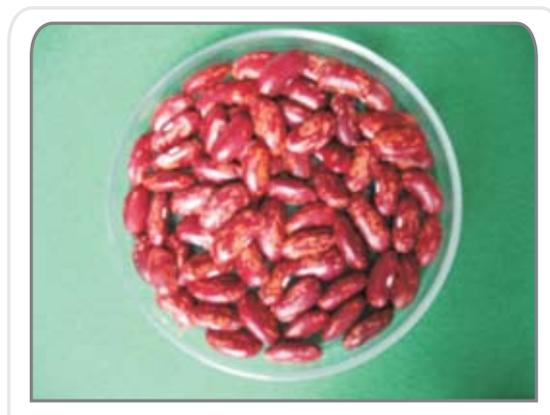


Figura 33. Frijol ICA Citará.

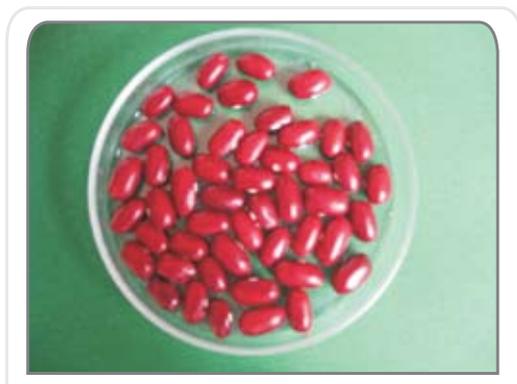


Figura 34. Fríjol ICA Quimbaya.

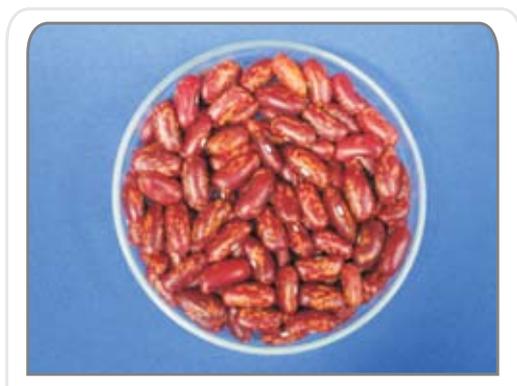


Figura 35. Fríjol ICA jaidukamá.

Así mismo, se han obtenido y liberado variedades mejoradas de fríjol tipo cargamanto como ICA viboral (figura 36), frijolica L.S 3.3 y corpoica 106 (figura 37).

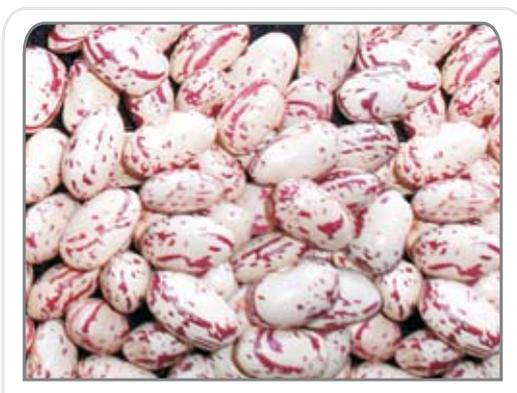


Figura 36. Fríjol cargamanto ICA Viboral.

La variedad escogida para siembra, en lo posible, debe tener resistencia comprobada a las enfermedades más limitantes del cultivo y adaptación en la zona.



Figura 37. Fríjol CORPOICA 106

El ICA viboral es una variedad mejorada obtenida mediante selección del fríjol cargamanto común; su rango de adaptación, comportamiento y demás características son similares a este último.

El fríjol corpoica 106 es una variedad tipo cargamanto que se adapta muy bien a las condiciones del clima frío moderado del departamento de Antioquia, entre 2.000 y 2.400 msnm. Posee resistencia a la antracnosis, razón por la cual es la variedad recomendada para la producción de fríjol voluble con buenas prácticas agrícolas.

Producción y uso de semilla

La calidad de la semilla es uno de los elementos fundamentales para el éxito en los cultivos. Si se inicia un cultivo con semilla de buena calidad, se habrá dado el primer paso seguro en la actividad productiva. En cambio, si se utiliza semilla de mala calidad, seguramente el cultivo no responderá de manera positiva a las demás prácticas de manejo.

La calidad de la semilla de fríjol ha sido en Colombia uno de los factores que ha limitado su cultivo. La siembra de semilla de variedades criollas o regionales, generalmente susceptibles a las enfermedades, y la poca oferta en el mercado de semilla certificada o seleccionada han obligado al agricultor a tener que producir sus propias semillas, en muchos casos sin los conocimientos técnicos suficientes para hacerlo en forma adecuada y disponer de este insumo con la calidad requerida.

Debido a las condiciones de producción del fríjol en Colombia, la industria de producción de semillas no se ha interesado en el negocio de producción de semilla certificada. Por lo tanto, se ha considerado que la estrategia más adecuada para solucionar el problema es que los agricultores se capaciten en buenas prácticas de selección y manejo de su propia semilla, contando con la asesoría técnica. Esta actividad podría desarrollarse en forma individual, que cada agricultor produzca su propia semilla, o por medio de asociaciones de agricultores productores de semilla, quienes

pueden producir para ellos y para atender la demanda de otros agricultores. Mediante estas estrategias, es posible producir semilla de buena calidad y de categoría seleccionada y también semilla de categoría certificada (Arias y colaboradores, 2001).

En cuanto a la demanda en cantidad de semilla, se ha determinado, para el caso de variedades tipo cargamanto común, de acuerdo con las densidades de siembra recomendadas, que se requieren 25 kg para sembrar una hectárea de fríjol. En el caso de las variedades de fríjol arbustivo, la cantidad de semilla para la siembra de una hectárea es de 40 a 60 kg.

Siembra

Sistemas y arreglos de siembra

Una de las características de los sistemas de producción de la economía campesina es la siembra de varias especies, bien sea en asociación de cultivos o en forma separada en la unidad de producción. En el caso del fríjol en clima frío, ha sido tradicional la asociación con otras especies importantes como maíz, papa y hortalizas.

En el Oriente antioqueño, hasta hace algunos años fue muy empleado el arreglo de fríjol en relevo con maíz, que ha ido desapareciendo por condiciones de orden socioeconómico. El relevo maíz – fríjol es un sistema de rotación en el cual el fríjol se siembra después de que el maíz ha alcanzado o está muy próximo a alcanzar su madurez fisiológica. En este sistema, los tallos del maíz sirven de tutor al fríjol, existiendo una mínima competencia entre las dos especies.

Se han realizado numerosas investigaciones sobre épocas de siembra y manejo agronómico de ambas especies en el arreglo de relevo, que demuestran sus ventajas en comparación con los monocultivos y dan algunas recomendaciones para el manejo eficiente de los mismos (Rivera, 1992).

Las ventajas que los pequeños agricultores les atribuyen a los arreglos de cultivos son de tipo cultural, nutricional, biológico y económico, y se ha demostrado que permiten disminuir los riesgos y mantener una dieta balanceada y estable. Entre las principales ventajas del arreglo de fríjol en relevo con maíz se tienen:

- Un aprovechamiento adecuado de la tierra disponible para los cultivos que, en el caso de la economía campesina, generalmente es escasa y es uno de los recursos que limitan la producción.
- Propicia una rotación de cultivos adecuada desde el punto de vista del manejo fitosanitario de ambas especies, ya que se trata

En la producción con buenas prácticas agrícolas, se recomienda la rotación o emplear el arreglo de maíz relevo fríjol en lugar de hacer siembras consecutivas de fríjol solo.

- de dos especies muy diferentes, cuyas enfermedades e insectos plagas son también diferentes.
- Al emplear los tallos de maíz como soporte del frijol voluble, se evita el empleo de otros materiales como las varas de madera, cuyo uso implica la tala de bosques y sus consecuencias negativas para el medio ambiente.
 - Permite disminuir los costos de producción del cultivo principal, que es el frijol, ya que se evita la compra de varas y algunas labores del tutorado, además de que se facilitan otras labores del cultivo como la preparación del suelo para la siembra.
 - Se da una diversificación en la producción, con dos fuentes básicas para la alimentación, como son el frijol y el maíz, lo cual mejora la seguridad alimentaria de la población.
 - Se mejora, además, la oferta de alimentos como el frijol y el maíz en estado chócolo, que tienen una alta demanda en los mercados de Antioquia.

Para tener éxito en el manejo del arreglo frijol en relevo con maíz se deben tener en cuenta detalles como el uso de variedades de maíz con características que las hagan aptas para el sistema: capacidad rendidora, tallo resistente, que mantenga su rigidez varios meses después de la maduración fisiológica, sistema radical amplio y profundo que proporcione buen anclaje a las plantas, y que produzcan un tipo de mazorca y de grano de buena aceptación en los mercados. El relevo requiere, además, un manejo agronómico adecuado del maíz para propiciar un desarrollo vigoroso y buen anclaje de las plantas para que puedan soportar la carga del frijol.

Por las ventajas antes analizadas, en la producción con buenas prácticas agrícolas se recomienda emplear el arreglo de frijol en relevo con maíz en lugar de hacer siembras consecutivas de frijol solo.

Época de siembra

En cultivos de economía campesina como el frijol, las épocas de siembra dependen de varios factores, en especial el clima (lluvias) y la disponibilidad de mano de obra del agricultor. Como la mayoría de los agricultores no utilizan riego para el cultivo, las siembras se hacen principalmente al inicio de los dos ciclos de abundantes lluvias en el año, marzo y abril en el primer semestre, septiembre y octubre, en el segundo. Generalmente en las áreas frijoleras se dan estas condiciones, y el régimen de lluvias muestra una tendencia bimodal, pero como llueve en casi todos los meses, esto permite a los agricultores realizar siembras durante todo el año. Sin embargo, se recomienda realizar las siembras de frijol preferiblemente en aquellas épocas que permitan programar la cosecha o recolección en los períodos más secos, para que se faciliten el secado y el beneficio del frijol.

De otro lado, como la mayor parte de los agricultores utilizan la mano de obra familiar para las labores del frijol y de otros cultivos, en muchos casos condicionan la época de siembra a la disponibilidad de este recurso en la unidad familiar. Un caso típico de esta situación se presenta en la zona cafetera, donde las siembras de frijol y de otros cultivos diferentes al café se hacen principalmente en el primer semestre, debido que en el segundo semestre los agricultores emplean la mayor parte de su tiempo en las labores del cultivo, cosecha y beneficio del café.

Selección de la variedad

En la selección de las variedades que se van a sembrar se debe tener en cuenta varias consideraciones: que se adapten bien a las condiciones climáticas de la zona, que tengan un buen potencial de rendimiento por unidad de área y por unidad de semilla sembrada. La variedad escogida, en lo posible, debe tener resistencia comprobada a las enfermedades más limitantes del cultivo en la zona. Por último, y lo más importante, es que la variedad por su tipo de grano tenga aceptación en el mercado y que le garantice un buen precio de venta al agricultor para mejorar la competitividad del cultivo.

En el caso del frijol voluble en Antioquia, es bien conocida la preferencia en el mercado por los frijoles tipo cargamanto, que reúnen además algunas de las características antes mencionadas, con excepción de la resistencia a enfermedades. Por esta razón, entidades como Corpoica han estado investigando desde hace varios años para lograr obtener variedades mejoradas de frijol tipo cargamanto, que además de poseer un grano con las características deseadas de acuerdo con las preferencias del mercado, tienen resistencia a enfermedades y altos rendimientos.

Métodos de siembra

El método de siembra del frijol voluble es manual y consiste en hacer el surco, colocar en el fondo el correctivo (la cal) incorporado al suelo, aplicar luego la materia orgánica y el fertilizante compuesto y luego tapar con tierra y sembrar la semilla a chuzo, a una profundidad de dos a tres centímetros (figura 38).



Figura 38. Siembra del frijol voluble

Se recomienda realizar las siembras de frijol preferiblemente en aquellas épocas que permitan programar la cosecha o recolección en los períodos más secos, para que se faciliten el secado y el beneficio del frijol.

Las distancias de siembra varían de acuerdo con la topografía del terreno. Para terrenos planos se emplea una distancia de 1 m. entre surcos; en terrenos pendientes, la distancia entre surcos es mayor, entre 1.10 y 1.50 m. La distancia entre plantas recomendada es de 20 centímetros, colocando una semilla por sitio. Algunos agricultores acostumbran poner dos o tres semillas por sitio, con distancias entre plantas más amplias para tratar de asegurar una población de plantas adecuada, la cual sería recomendable en aquellos casos en que no se conoce la calidad de la semilla utilizada o se prevé el ataque de plagas o de patógenos en las primeras etapas de desarrollo del cultivo. Con cualquiera de las distancias de siembra mencionadas, se debe tratar de tener una densidad de población entre 40.000 y 50.000 plantas/ha. (Ríos, 2002).

Manejo de suelos y fertilización del cultivo

Características de los suelos de clima frío moderado del departamento de Antioquia

Los suelos de clima frío donde se cultiva el frijol generalmente son de baja fertilidad, con bajo contenido de nutrimentos y desbalances nutricionales, con pH que fluctúan entre fuertemente a moderadamente ácidos (entre 4,6 y 5,5). El aluminio intercambiable por lo general es menor de 3,0 cmol/kg de suelo; no obstante, puede llegar a representar hasta 60% de las bases intercambiables (Tamayo A., 2006).

En los suelos de clima frío, la materia orgánica cumple un papel preponderante en las propiedades físicas para generar suelos bien estructurados y estables. Esta materia orgánica aporta poco nitrógeno, fósforo y azufre inorgánico, sin embargo, contribuye en forma notoria en la capacidad de intercambio catiónico —CIC—. Los cultivos de clima frío moderado, como el frijol, responden muy bien a la aplicación de materia orgánica de rápida mineralización. Otra característica importante de estos suelos es la alta capacidad de cambio aniónico y de fijación de fosfatos, lo cual se atribuye a su alto contenido de alofana, un mineral amorfo que contiene mucho aluminio. Además, gran parte del potasio total es orgánico, debido a que la mineralización de la materia orgánica es muy baja (Tamayo, 2005).

En relación con las propiedades físicas, estos suelos son de texturas francas: franco arcillosos a franco limosos y también arenosos. Se encuentran varios tipos de estructura, predominando la estructura granular. Debido a estas características, los suelos poseen muy buen drenaje interno y externo y una baja capacidad de retención de humedad.

Requerimientos de nutrientes del frijol

El frijol absorbe cantidades altas de N, K y Ca y en menor cantidad S, Mg y P.

La información que se muestra en la tabla 2 da una idea de los requerimientos de los nutrientes esenciales para el fríjol, obtenida a partir de trabajos realizados en el trópico con fríjoles de hábito de crecimiento I (determinado arbustivo). Es de esperar que, para el caso de fríjol de hábito IV (voluble), cuya producción en tallos y vainas es más alta, la demanda por nutrientes sea mayor. Surge entonces la necesidad de adelantar estudios locales sobre absorción de nutrimentos del fríjol que se relacionen con las condiciones del cultivo en cada lugar, y así llegar a tener la recomendación más ajustada para cada caso en particular.

Tabla 2. Exigencias minerales del fríjol.

Componentes de la cosecha	kg/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Vainas	32	4	22	4	4	10
Tallos	65	5	71	50	14	15
Total	97	9	93	54	18	25

Fuente: tomado de Flor, 1985.

Contenido de nutrientes del suelo

Un parámetro fundamental para determinar la cantidad de nutrientes para aplicar en un cultivo es conocer las cantidades de estos elementos que contiene el suelo, y la forma de determinarlas es mediante el análisis químico en el laboratorio. El ICA ha diseñado unas recomendaciones para la correcta toma de muestras de suelo y su envío al laboratorio para el análisis químico (ICA, 1980). La aplicación fiel de estas recomendaciones y el análisis de los resultados con la asesoría de técnicos conocedores de la zona y del cultivo, permiten diseñar la recomendación de fertilización más adecuada en cada caso.

Análisis de suelos

Importancia

En el campo es de primordial importancia realizar un correcto muestreo del suelo para que sea representativo del área o lote homogéneo del que se desea la información. En esta fase se deben tener criterios claros para seleccionar el área homogénea por su posición fisiográfica, topografía y relieve, drenaje natural, grado de erosión, uso y manejo.

El adecuado muestreo del suelo permite evaluar su fertilidad natural con anticipación a la siembra o durante el crecimiento del cultivo. Los resultados del análisis físico-químico del suelo indicarán la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo, y proporcionarán la información necesaria para las recomendaciones de abono orgánico, enmiendas y fertilizantes.

Realice análisis químico del suelo de su finca por lo menos una vez cada dos años.

Es importante que el análisis se lleve a cabo en un laboratorio acreditado que demuestre su competencia en procedimientos y personal. Los resultados deben estar disponibles dentro de los registros de la unidad productiva para la toma de decisiones. Igualmente, deben ser actualizados con una periodicidad no mayor de dos años.

Procedimiento para la toma de muestras

Delimitación de las áreas. Recorra la finca y haga un plano o croquis sencillo de las superficies más o menos homogéneas, en cuanto al tipo de suelo, apariencia física y clase de manejo recibido anteriormente, donde ubique los detalles más importantes de la finca como lo son: partes altas o bajas, planas o inclinadas, coloración del suelo, si es arenoso o pesado, vegetación alta, media o baja, riesgo de encharcamiento, áreas que no se han trabajado ni fertilizado, y áreas trabajadas y fertilizadas. En todo caso, procure tomar siempre, en forma separada, muestras de áreas que, usted ha observado, le producen de forma diferente.

Época de muestreo. En suelos no sembrados anteriormente, haga el muestreo de dos a tres meses antes de la siembra; en cultivos de ciclo corto como el frijol, dos meses antes de la siembra.

Herramientas y materiales necesarios. Para la toma de la muestra en cada lote utilice, los implementos necesarios como pala o barreno, machete, bolsa plástica y balde.

Toma de la muestra de suelos: Recorra los lotes al azar en forma de zig-zag y, cada 15 o 30 pasos, tome una submuestra.

Pasos para tomar la submuestra:

- Limpie la superficie del terreno.
- Haga un hueco en forma de "V" de 20 a 30 cm de profundidad.
- De uno de sus lados tome una porción de 2 a 3 cm de espesor.
- Con un cuchillo o machete quite los bordes.
- Deposite la parte separada (submuestra) en el balde y repita la operación.
- Luego de tener todas las submuestras en el balde (de 12 a 15 por ha) se mezclan homogéneamente y se toma 1 kg aproximadamente.
- Ésta es la muestra compuesta requerida para el análisis.

Interpretación. Para la interpretación de los resultados del análisis de suelos es conveniente tener los rangos de los contenidos de los elementos en el suelo, establecidos para el frijol. A continuación, se mencionan los rangos generales para frijol y las dosis recomendadas de acuerdo con estos rangos para fósforo y potasio.

Tabla 3. Recomendaciones de fertilizantes fosfatados, basadas en la experimentación realizada con fríjol en clima medio y frío en Colombia.

	Límite crítico tentativo Categoría (mg/kg)	Dosis de P₂O₅ (kg/ha)
Bajo	menor de 15	100 – 50
Medio	15 - 30	50 – 100
Alto	mayor de 30	0 – 50

Tabla 4. Recomendaciones de fertilizantes potásicos con base en la experimentación realizada con fríjol en suelos de clima medio y frío en Colombia

	Límite crítico tentativo Categoría (cmol/kg)	Dosis de K₂O (kg/ha)
Bajo	menor 0,20	40 – 60
Medio	0,20 – 0,40	20 – 40
Alto	mayor de 0,40	0 – 30

Niveles críticos de materia orgánica y nitrógeno

La materia orgánica es fuente principalmente de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores. Mejora las propiedades físicas del suelo y tienen gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 5. Niveles críticos de materia orgánica para clima frío

Bajo	Medio	Alto
Menor del 5%	5-10%	Mayor del 10%

Fuente: Marín, citado en ICA, 1980

En términos generales, el contenido de materia orgánica dividido por 20 es igual al porcentaje de nitrógeno. De acuerdo con lo anterior, se han determinado unos niveles críticos de nitrógeno como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Niveles críticos de nitrógeno

Nivel de disponibilidad	Porcentaje total de nitrógeno
Muy Pobre	0 - 0,10
Pobre	0,10 – 0,15
Mediano	0,15 – 0,25
Rico	0,25 – 0,30
Muy rico	Mayor de 0,30

Fuente: Tomado de Guerrero Ricardo, citado en SIADA, 1993.

Niveles de calcio y magnesio

En general, es difícil establecer niveles críticos en el suelo para estos elementos de las plantas. En la mayoría de los casos, se debe tener en cuenta la calidad del elemento intercambiable, así como el porcentaje de saturación en el complejo de cambio, el pH del suelo y las relaciones entre sí. En la tabla 7 se presentan algunos estimativos sobre el contenido de bases intercambiables del suelo (Ca y Mg). Sin embargo, es más importante tener en cuenta las relaciones entre las mismas bases que interpretarlas en términos absolutos. Una de las situaciones más comunes de la fertilidad de los suelos colombianos está relacionada con la relación Ca/Mg en el complejo coloidal del suelo. Normalmente se espera que el suelo tenga más calcio que magnesio intercambiable, o sea que la relación Ca/Mg sea superior a la unidad.

Con respecto al frijol, no se encuentra información específica sobre niveles críticos de estos elementos en el suelo, con el fin de tomar decisiones sobre recomendaciones para la fertilización del cultivo con ellos.

Tabla 7. Estimativo conceptual sobre la cantidad de las bases intercambiables en el suelo

Elemento	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Calcio	Cmol/kg	menos de 3	3 a 6	más de 6
	Porcentaje de saturación	menos de 30	30 – 50	más de 50
Magnesio	Cmol/kg	menos de 1,5	1,5 – 2,5	más de 2,5
	Porcentaje de saturación	menos de 15	15 – 25	más de 25

Fuente: Adaptado de ICA, 1980.

Acidez y encalamiento

Se consideran normales para el cultivo de frijol aquellos suelos que tienen un pH entre 5,0 y 7,5. Además, con contenidos de calcio y magnesio superiores a 3,0 y 0,8 cmol/kg o saturaciones del 30 y el 10%, respectivamente.

En Colombia, un alto porcentaje (entre 40 y 50%) de los suelos ubicados en clima medio y frío donde se cultiva frijol, presentan algunas limitaciones por pH bajos o alta saturación de aluminio, o por deficiencias de calcio o magnesio o de ambos, o por tener relaciones Ca/Mg muy amplias.

Para suelos con pH bajo, altos contenidos de aluminio intercambiable y bajos en calcio y magnesio, todas ellas condiciones comunes en las áreas productoras de frijol, se ha tenido una respuesta positiva con la aplicación de cal en dosis de 1,2 y 2 ton/ha antes de la siembra, complementada con 250 a 500 kg/ha de cal al momento de la siembra. Cuando la relación Ca/Mg es muy amplia (3-6/1 o más), o el contenido de magnesio en el suelo es menor de 0,8 cmol/kg, la cal que se aplique debe ser dolomítica. figura 39

Fuentes de nutrientes más comunes

En la tabla N.º 8 se presentan las fuentes de nutrientes o fertilizantes más comunes y sus contenidos. Este instrumento debe ser usado por el asistente técnico para ajustar las recomendaciones de

fertilización del cultivo, basadas, además, en los resultados del análisis químico del suelo.



Figura 39. Aplicación de cal en frijol.

Tabla 8. Contenido de nutrientes en varios abonos comunes en Colombia

Fertilizantes	N	P*	K*	Ca	Mg	S
Urea	45					
Sulfato de Amonio	20,5					23
Nitron 26	23					
Superfosfato triple		20		14		
Superfosfato simple		7		20		12
Cloruro de potasio			50			
Sulfato de potasio			42			18
Sulfomag			18		11	22
Sulfato de magnesio					10	13
Yeso comercial				14-17		10-13
Cal dolomítica				25-30	7-12	
15-15-15	15	6,5	12,5			
14-14-14	14	6,1	11,7			
10-20-20	10	8,7	16,7			
10-30-10	10	13,1	8,3			
Estiércol de ganado (seco)	2	0,6	1,7	2,9	0,6	
Gallinaza (seca)	2,7	1,3	2	7,7	0,7	
Cachaza (seca)	1,5	2,4	0,4	6,7	0,9	
RAFOS	12	10,48	10	2	2	1
13-26-6	13	11,35	5			
Óxido de magnesio					32	

* P y K en forma elemental; para convertir $P_2O_5 = P \times 2,29$
 $K_2O = K \times 1,20$

Fuente: Adaptado de Flor, 1985.

Un parámetro fundamental para determinar la cantidad de nutrientes para aplicar en un cultivo es conocer las cantidades de estos elementos que contiene el suelo, y la forma de determinarlas es en el laboratorio mediante un análisis de fertilidad de suelos.

Ensayos de respuesta agronómica

Otra de las formas para determinar la recomendación en fertilización es la realización de ensayos de respuesta agronómica, que consisten en aplicar los nutrientes esenciales combinando diferentes dosis de acuerdo con diseños de tratamientos predeterminados; este método fue muy utilizado entre los años 1960 y 1980. El ICA realizó numerosos experimentos sobre fertilización en frijol entre 1971 y 1980, y encontró respuesta positiva a una fórmula 20-40-20 de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, y 2 t/ha de materia orgánica (Tobón, 1980).

Método de aplicación de los fertilizantes

Debido a la alta capacidad de fijación del fósforo en los suelos de clima frío donde se cultiva el frijol, se recomienda la aplicación localizada de los fertilizantes, en especial cuando se trata de fuentes de fósforo. La aplicación localizada disminuye la fijación de este elemento en el suelo y mejora su disponibilidad para el cultivo. Como el frijol tiene un sistema radicular poco extenso y además se siembra en surcos, es recomendable aplicar los fertilizantes en banda, al fondo del surco. Si se utiliza este método de aplicación del fertilizante, se debe evitar el contacto directo del fertilizante con la semilla por cuanto se le pueden causar daños, especialmente en el caso de productos que desprendan amoníaco, como también de fertilizantes con alto índice de salinidad (Guerrero, 1988).

Época de aplicación de los fertilizantes

Como el frijol es un cultivo de ciclo corto que, para el caso del clima frío moderado, dura cinco meses en promedio, se ha encontrado que la fertilización puede hacerse una sola vez y al momento de la siembra. De esta manera se logra que los nutrientes estén disponibles cuando la planta está en condiciones de absorberlos a través de las raíces y en las etapas de mayor demanda. Además, es necesario tener en cuenta que generalmente en frijol se utilizan fertilizantes compuestos que son de lenta solubilidad en el suelo.

Eficiencia de los fertilizantes

Estudios en este campo han permitido determinar, por ejemplo, que los fertilizantes nitrogenados tienen una eficiencia del 50% aproximadamente (Graham, citado por Flor, 1985). Este autor muestra que no existe mucha diferencia entre el sulfato de amonio, el nitrato de amonio y la urea, como fuentes de nitrógeno.

Por otra parte, se ha determinado que los fertilizantes fosfatados tienen una eficiencia del 20%, pero Fassbender (citado por Flor, 1985), especifica un poco más y menciona que la eficiencia depende del tipo de suelo y, para el caso de los andosoles, es apenas de 5 a 10%. González, López y Mejía (citados por Flor, 1985) han encontrado, además, en suelos derivados de cenizas volcánicas, fijaciones hasta del 90% del fósforo agregado al suelo. En el caso del potasio, la eficiencia de los fertilizantes potásicos se estima en promedio en un 50%.

En resumen, para determinar la fertilización más adecuada de un cultivo es necesario tener en cuenta las características del clima, y las del suelo en cuanto a condiciones químicas, contenido de nutrientes y características físicas, especialmente la densidad aparente, el concepto de exportación o extracción de nutrientes del cultivo, la eficiencia de los fertilizantes y la respuesta agronómica del cultivo a la fertilización. En el caso del fríjol, éste consume cantidades altas de nitrógeno, potasio y calcio, y cantidades más bajas de fósforo, magnesio y azufre. Es necesario agregar que al concepto de fertilizar el cultivo, hay que añadir otros, como restituirle al suelo los nutrientes extraídos por el cultivo y fertilizar el suelo, que incluyen conocer y manejar sus microorganismos, y el uso de acondicionadores como cal y materia orgánica.

Manejo y conservación de los suelos

El manejo y la conservación de los suelos de ladera se debe hacer mediante el uso de tecnologías de bajo impacto ambiental, que incluyen técnicas como el cultivo en franjas, rotación de cultivos, labranza reducida, manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, uso de abonos biológicos y orgánicos, reciclaje de desechos, uso de coberturas vivas y muertas, incorporación de residuos de cosecha y abonos verdes, empleo de sistemas agroforestales, manejo eficiente del riego y manejo integral de las explotaciones agropecuarias (Corpoica, 1997).

En zonas de alta pluviosidad, la conservación de los suelos en áreas de vertiente debe apuntar a establecer y manejar prácticas culturales, mecánicas y biológicas en forma integral, que minimicen los procesos erosivos. Por tanto, es importante evaluar diferentes prácticas y explorar nuevas alternativas de manejo y sostenibilidad de los suelos mediante la estratificación de los cultivos a lo largo de la pendiente. Por ejemplo, establecer en la parte más alta y con mayor grado de inclinación las plantas de mayor cobertura natural como bosques y frutales. En la parte intermedia, los cultivos semestrales y limpios acompañados de prácticas de conservación. En la parte más baja, de menos pendiente, los cultivos de laboreo intensivo como las hortalizas en rotación dentro de la franja. La separación entre franjas de cultivos se hace mediante la siembra de barreras vivas, que disminuyan la velocidad de la energía cinética de las aguas de esorrentía.

Mediante la rotación de cultivos como papa, maíz y fríjol voluble entre las franjas y dentro de ellas, como se hace con las hortalizas, se pretende la conservación de la bioestructura del suelo, debido al diferente hábito radicular de estas plantas, y a su variación como cobertura vegetal; además, la extracción y el reciclaje diferencial de nutrientes que ejercen en el suelo conduce a la sostenibilidad de los suelos y, con ello, a una agricultura más competitiva y sostenible.

Para evitar el deterioro de los suelos, aplique prácticas de manejo adecuadas como labranza reducida, siembras a través de la pendiente y en curvas de nivel, barreras vivas, cultivos en franjas, cultivos en rotación y uso de coberturas, entre otras prácticas.

Las curvas a nivel son aquellas cuyos puntos están a la misma altura. Al sembrar sobre estas curvas, cada hilera o surco de plantas se convierte en un obstáculo para el paso del agua de escorrentía, y disminuye así su volumen, velocidad y capacidad de arrastre del suelo.

Las barreras vivas son hileras de plantas permanentes, sembradas densamente a través de la pendiente, por lo general en contorno o en curvas a nivel. El objetivo principal de estas barreras es reducir el volumen y la velocidad del agua que corre sobre la superficie como también retener el suelo.

Los cultivos en franjas consisten en áreas de terreno con dimensiones que varían de 4 a 30 metros de ancho, por 50 a 100 metros de largo, trazadas a través de la pendiente, separadas unas de otras por barreras vivas explotadas con el mayor uso de prácticas de bajo impacto ambiental, para incrementar el efecto del control de la erosión y marcar definitivamente el trazo de las curvas de nivel. En estas franjas se pueden establecer cultivos permanentes, semipermanentes y transitorios. Para incrementar la eficiencia de las franjas en el control de la erosión, los cultivos permanentes se establecen en la parte alta de las laderas o cabecera del lote, y en la parte media los transitorios, como frijol, maíz y papa, que se manejan mediante sistemas de rotación de cultivos dentro y entre franjas.

La rotación de cultivos se refiere a la siembra repetida de diferentes cultivos sobre un mismo terreno, caracterizados por distintos hábitos de crecimiento, grados de susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, requerimientos nutricionales y manejo agronómico; es una práctica que contribuye de modo eficaz a controlar la erosión y a mantener la productividad del suelo.

En cuanto a la rotación del frijol, además del arreglo de siembra maíz relevo frijol, existen otras formas de rotación con especies como papa, maíz y hortalizas. La rotación con maíz es de mucha aplicación en el manejo integrado de plagas por la especificidad de los patógenos y plagas que atacan estas dos especies. Otra ventaja de la rotación es la diversificación de la producción, que le permite al agricultor la obtención de ingresos provenientes de varios renglones, al igual que la utilización permanente de su mano de obra familiar en las labores de la unidad productiva.

Adquisición y almacenamiento de abonos y fertilizantes

De acuerdo con los requerimientos del cultivo, se deben adquirir los abonos y fertilizantes necesarios según las normas establecidas en cuanto a registro de comercialización y uso del producto. De igual forma, el empaque debe contener la información necesaria para el uso y manejo apropiados. Los abonos orgánicos deben ser debidamente compostados y adquiridos en sitios autorizados para su producción y expendio.

El almacenamiento de los abonos y fertilizantes debe cumplir con los siguientes aspectos:

- Los abonos orgánicos y fertilizantes químicos deben estar almacenados en un área cubierta apropiada para protegerlos de las inclemencias atmosféricas (como sol, heladas, granizo y lluvia).
- Los fertilizantes químicos y abonos orgánicos deben estar almacenados en un área libre de residuos, que no constituya criaderos de insectos y roedores y donde los derrames o goteos sean eliminados.

- El requisito mínimo es que haya un espacio de aire separando ambos recintos, y así prevenir la contaminación cruzada entre los fertilizantes y los productos fitosanitarios.
- Todos los fertilizantes químicos y abonos orgánicos deben estar almacenados de tal manera que presenten el menor riesgo posible de contaminación de las fuentes de agua y otras formas de contaminación ambiental. Por ejemplo, en el caso de almacenes de fertilizantes líquidos debe haber muros de retención para contener posibles derrames.
- Los fertilizantes químicos y abonos orgánicos se almacenan de forma separada de los productos cosechados y de las semillas.
- El almacenamiento debe ser separado de las paredes del recinto de almacenamiento, sobre estibas, y la altura de los arrumes debe permitir evitar accidentes.
- El área de almacenamiento de abonos y fertilizantes debe estar señalizada.

Compostaje

Es un proceso de bio-oxidación (degradación y resíntesis) de sustratos sólidos orgánicos por organismos descomponedores, hasta la obtención de un producto heterogéneo denominado compost, que tiene apariencia completamente diferente del material de origen y se caracteriza por su estabilidad química y sanitización.

Compost o abono orgánico

El compost es un abono orgánico de excelente calidad que se prepara a partir de hierbas, pulpa de café, tallos de trigo, cebada, arroz y avena, basuras, estiércol y todo material orgánico susceptible de ser biodegradado en condiciones controladas. Básicamente, consiste en combinar o mezclar distintos materiales orgánicos en condiciones propicias para su descomposición rápida. En la figura 40 se ilustra la forma como se estratifica, siguiendo una secuencia: residuos orgánicos de cosecha (20 cm), cal o cenizas (1-2 kg), estiércoles (5-10 cm) etc. El montón así formado debe tener una altura máxima de 1 a 1,5 metros y de ancho 2 a 3 metros. A la pila, que se cubre con plástico, se le abren dos o tres orificios para facilitar la ventilación. Luego de dos o tres meses de formado el montón se destapa y se voltea la pila, haciendo una inversión de las capas internas y externas, se forma de nuevo la pila, y se cubre conservando los huecos para ventilación. Al cabo de tres o cuatro meses estará listo el abono orgánico artificial o compost para aplicar a la tierra. Otras fuentes, como residuos de cosechas y abonos verdes, aportan materia orgánica cuando se adicionan al suelo.

Aplique los fertilizantes al frijol en el momento de la siembra o en un tiempo cercano a esta época, ya que se trata de un cultivo de ciclo corto que requiere tener disponibles los nutrientes necesarios en forma oportuna.

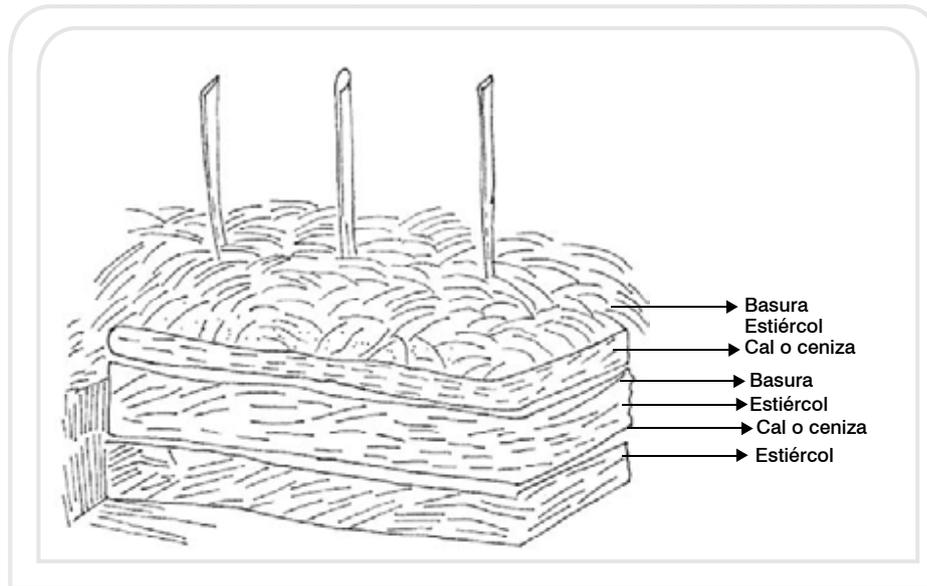


Figura 40. Estratificación del compost.

Microorganismos del compost

Son las bacterias, hongos actinomicetos, protozoos y otros, principales responsables de la degradación de materia orgánica. Las colonias varían a lo largo del proceso y según la profundidad en la pila. Su diversidad no permite que el proceso se detenga.

Elección del sitio para la compostera

El sitio para la compostera debe contar con fácil acceso, superficie firme, barreras naturales y techo.

La simbiosis *Rhizobium*-leguminosa

La fijación biológica de nitrógeno atmosférico —FBN— constituye una fase clave del ciclo del nitrógeno en la naturaleza, su forma molecular N_2 no es absorbida por los eucariotes como las plantas, excepto por ciertos procariones, aunque las leguminosas lo hacen directamente en simbiosis con las bacterias del género *Rhizobium* (Alexander, 1971; 1977).

Los *Rhizobium* son bacterias Gram negativas y aerobias obligadas que pertenecen a la familia Rhizobiaceae. Entre ellos se encuentran los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Azorhizobium*. Estos microorganismos del suelo forman una asociación simbiótica con distintas especies de plantas, durante la cual son capaces de llevar a cabo la fijación del nitrógeno molecular. En la simbiosis las bacterias se encuentran en las raíces de las plantas dentro de estructuras llamadas nódulos. Ni las

plantas ni estas bacterias aisladamente fijan el nitrógeno diatómico (N_2) para convertirlo en amonio.

El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera, sin embargo, las plantas no pueden utilizarlo en su forma elemental y tienen que obtenerlo del suelo principalmente en forma de nitratos. La fijación biológica de nitrógeno es un proceso clave en la biosfera, por el cual microorganismos portadores de la enzima nitrogenasa convierten el nitrógeno gaseoso en nitrógeno combinado. El grupo de bacterias, que se conoce colectivamente como rizobios, induce en las raíces (o en el tallo) de las leguminosas la formación de estructuras especializadas, los nódulos, dentro de las cuales el nitrógeno gaseoso es reducido a amonio. Se estima que este proceso contribuye entre un 60-80% a la fijación biológica de nitrógeno. La simbiosis es inhibida si existe un exceso de nitrato o de amonio en el suelo.

¿Qué es la fijación del nitrógeno?

El nitrógeno (N) es un elemento necesario en los procesos químicos vitales, forma parte de las macromoléculas informacionales, como los ácidos nucleicos y las proteínas, se encuentra presente en el 80% de los gases que conforman la atmósfera y su asimilación es el proceso más importante, después de la fotosíntesis, para el crecimiento y desarrollo óptimo de los vegetales. La necesidad del nitrógeno y su presencia ambiental se convierte en un proceso paradójico, porque su fijación sólo puede ser realizada por un selecto grupo de bacterias. Esto se debe a la incapacidad de las plantas y los animales para asimilar el nitrógeno atmosférico. El nitrógeno es esencial para la agricultura. Existen dos formas de proveerlo a los cultivos: mediante fertilizantes o utilizando el nitrógeno atmosférico. Durante mucho tiempo la reducción química del nitrógeno ha servido para la producción de fertilizantes, los que a su vez han hecho posible alimentar al 40% de la población mundial. Sin embargo, la producción y el consumo de los fertilizantes químicos se incrementaron enormemente en las últimas décadas, lo cual ocasionó severos trastornos en ecosistemas del planeta.

El establecimiento de la simbiosis para atrapar el N_2 entre *Rhizobium* y la leguminosa es un proceso complejo, donde la formación de nódulos y la captación del N_2 se dan en etapas sucesivas. El *Rhizobium* induce en la leguminosa el desarrollo de nódulos en su raíz, luego los dos organismos establecen una cooperación metabólica: las bacterias reducen N_2 a amonio (NH_4), el cual exportan al tejido vegetal para su asimilación en proteínas y otros compuestos nitrogenados complejos, las hojas reducen el CO_2 en azúcares durante la fotosíntesis y lo transportan a la raíz donde los bacteroides de *Rhizobium* lo usan como fuente de energía para proveer ATP al proceso de inmovilizar N_2 .

Pero, ¿cómo se produce la simbiosis? El *Rhizobium* y la planta establecen un diálogo molecular que prepara en las células de la raíz un hábitat (nódulos y estructuras globulares), donde la bacteria se establece y evade la respuesta de defensa de la planta. En esta estructura se realiza el proceso de fijación del nitrógeno atmosférico que es reducido para crear amonio, compuesto utilizado por el frijol para crecer. Esta forma de fijación de nitrógeno equivale a una fertilización biológica anticontaminante, porque no incrementa los nitratos en el suelo y promueve una agricultura sustentable.

Graham y Rosas (1977) reportaron que existe una gran variabilidad genética en relación con la capacidad de fijación de N_2 , y que los genotipos tardíos fijan más nitrógeno que los precoces (Graham y Halliday, 1977).

Un factor que limita el proceso simbiótico entre la leguminosa y el *Rhizobium* es la disponibilidad de fósforo por el alto consumo de ATP de las reacciones enzimáticas. El requerimiento de este elemento se hace evidente a medida que el rendimiento del cultivo comienza a disminuir en aquellos tratamientos que no cuentan con un aporte del nutriente, o que no tienen el acompañamiento de la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares, los cuales se convierten en un mecanismo indispensable dentro del proceso de fijación de nitrógeno atmosférico por su mayor capacidad de tomar el fósforo en suelos con limitada disponibilidad; este efecto sinérgico se conoce como la simbiosis tripartita (planta-hongo-bacteria). De hecho, cuando hay bajos niveles de fósforo, es posible la penetración de la bacteria en el hospedero, la infección permanece latente y no se forman nódulos.

Dentro de los nódulos las bacterias se convierten en bacteroides, que son células más grandes que los *Rhizobium*, que se encuentran en el suelo y que llevan a cabo la fijación de nitrógeno, porque son capaces de formar la enzima nitrogenasa, responsable de la conversión del nitrógeno molecular en amonio. Debido a esta simbiosis, la planta recibe nitrógeno que puede utilizar para sí misma, mientras que las bacterias utilizan moléculas que les proporciona la planta. La simbiosis se inhibe si hay exceso de nitrato o amonio en el suelo.

La asociación *Rhizobium*/leguminosa es responsable de la fijación de por lo menos 35 millones de toneladas de nitrógeno anualmente, lo cual es altamente importante en los países de América tropical, donde la deficiencia de nitrógeno es uno de los factores que más limitan la producción de cultivos. Sin embargo, es importante considerar que la cantidad de nitrógeno fijado por el frijol es muy diversa; depende de la variedad, de la eficiencia fijadora de la bacteria *Rhizobium* y de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Ballesteros y Lozano, 1994).

La utilización de un *Rhizobium* infectivo (con capacidad de nodular) y efectivo (eficiente para la fijación del N_2) en la leguminosa implica determinar la necesidad de inoculación. Para ello se corrobora la existencia del tipo de *Rhizobium* nativo en el suelo, su eficiencia para fijar N_2 , la concentración de N en el suelo y si la leguminosa elegida se siembra con frecuencia en la región para mantener su rendimiento. Lo ideal es seleccionar un *Rhizobium* altamente infectivo y efectivo para lograr una disminución máxima del fertilizante nitrogenado, sin decremento en el rendimiento de la leguminosa.

En general, la inoculación se puede recomendar para una zona agrícola que se sembrará con una nueva especie de leguminosa. Para controlar la calidad de un inoculante de una leguminosa específica, es necesario mantener un número de *Rhizobium* de aproximadamente 10⁶ bacterias/g

de inoculante (FAO, 1995) y determinar si es específico para la leguminosa a prueba. Así, un producto microbiano o inoculante debe por lo menos mantener la productividad de un cultivo agrícola con menos dosis de fertilizante nitrogenado, lograr con ello un ahorro en el costo de producción, minimizar la contaminación de aguas superficiales y mantos acuíferos y por supuesto ayudar en la conservación del suelo, en un esquema de producción sostenible.

Existen varios tipos de inoculantes, pero el más común es un soporte a base de turba impregnada con un cultivo bacteriano. Los inoculantes han sido comercializados desde 1980, no obstante, como un producto biológico, requieren un riguroso control de calidad de tipo microbiológico que garantice el éxito esperado con la leguminosa seleccionada. Un manejo inadecuado en su producción trae como consecuencia una baja efectividad al aplicarse en la leguminosa, por las siguientes razones (Sánchez-Yáñez, 1997):

- Deficientes preparación, manejo y almacenamiento, tanto en laboratorio como durante la comercialización y aplicación por parte de los fabricantes, comerciantes y agricultores.
- Incompatibilidad del tipo de *Rhizobium* comercial y la leguminosa seleccionada.
- Condiciones adversas para la infección y la actividad bacteriana, como concentraciones elevadas de N, metales pesados y antagonismo microbiano nativo del suelo donde se pretende aplicar.
- Actividad del *Rhizobium* nativo del suelo contra el introducido, en general porque los *Rhizobium* autóctonos son infectivos, pero no son eficientes en la fijación de N_2 . Por lo cual, para mejorar el rendimiento del fríjol y otras leguminosas, es necesario seleccionar un nativo altamente infectivo y efectivo y además agregar pequeñas cantidades de fertilizante nitrogenado (aproximadamente 20 kg de N/ha), lo cual estimula la nodulación, para alcanzar hasta un 70-75% de nitrógeno fijado proveniente de la atmósfera. Este fenómeno depende de la interacción entre los genotipos del hospedero y el tipo de *Rhizobium*, mientras que con altas concentraciones de fertilizante nitrogenado se inhibe la fijación simbiótica del nitrógeno. Es evidente que la eficiencia para fijar N_2 depende del tipo de *Rhizobium* y la leguminosa hospedera (Tamez y Peña-Cabriales, 1989).

Uso de leguminosas en el mejoramiento del suelo

En general se ha aceptado que las leguminosas tienen una importancia decisiva en el mejoramiento de las condiciones del suelo, y ello es importante para el mejoramiento de suelos de ladera de la Zona Andina donde se cultiva el fríjol, pues estos suelos acusan deficiencias nutricionales, alta fijación de fósforo y altos grados de acidez, a causa de grados de erosión severos.

La simbiosis de frijol y bacterias nitrificantes podría ser una práctica muy importante para el mejoramiento del suelo, como se desprende por las cantidades de nitrógeno fijadas por el frijol (40-70 kg/ha de N) y Caupi (73-374 kg/ha de N) (FAO, 1985).

Científicos de la Universidad Autónoma de México descifraron la secuencia del genoma de la bacteria *Rhizobium etli*, una Rhizobiácea inocua, huésped de la planta del frijol, y que permitió el desarrollo de biofertilizantes, los cuales mejoran la calidad de los cultivos de frijol y reducen el uso agrícola de fertilizantes nitrogenados. Los beneficios de la aplicación de fertilizantes biológicos no se aprecian solamente en términos económicos, sino que además eliminan los efectos nocivos de la fertilización nitrogenada en la absorción, asimilación y disponibilidad de los diferentes nutrientes como el fósforo.

En la búsqueda de alternativas que mejoren las condiciones de nutrición de diferentes cultivos con efectos positivos en la salud de las plantas, Corpoica ha venido trabajando con las micorrizas Vesículo arbusculares —MVA— y bacterias del género *Rhizobium*, consideradas en la actualidad y en el ámbito mundial como biofertilizantes y bioprotectores para la mayoría de cultivos, y fundamentales en los programas de manejo integrado de suelos y cultivos.

En la evaluación del efecto de diferentes tratamientos de fertilización biológica y mineral en el rendimiento y la calidad del frijol, se encontró lo siguiente: en Antioquia, en las localidades de Rionegro y San José del Nus, para el frijol cargamanto ICA viboral y el frijol corpoica 106, es posible reemplazar la fertilización química por fertilización biológica-mineral, ya sea con micorrizas o *Rhizobium* o con ambas. En el departamento de Cundinamarca, como en el caso anterior, hubo una respuesta significativa cuando se aplicó gallinaza, que demostró ser un activador de la fertilización biológica-mineral. En Santander, para las localidades de Enciso y Curití, se encontró que la combinación micorrizas MVA y cepas de *Rhizobium* en medio orgánico mejora el rendimiento y la calidad del frijol arbustivo (Tamayo V., 2006).

Síntomas de deficiencias nutricionales

Deficiencia de nitrógeno

Aunque el frijol es una leguminosa capaz de fijar simbióticamente nitrógeno en presencia de la cepa apropiada de *Rhizobium*, las dificultades edáficas, de variedad o de inoculación pueden limitar la fijación, y obligar a la planta a depender del nitrógeno del suelo o de los fertilizantes nitrogenados aplicados al cultivo. La deficiencia de nitrógeno es más frecuente en los suelos con bajo contenido de materia orgánica. También ocurre en suelos ácidos donde los niveles tóxicos de aluminio o manganeso, o las deficiencias de calcio y magnesio, restringen la descomposición microbiológica de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por el *Rhizobium* (CIAT, 1980).

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno son evidentes tan pronto como las hojas bajas de la planta toman un color verde pálido y, eventualmente, muestran amarillamiento. Tal coloración avanza gradualmente hacia arriba (figura 41). El crecimiento de la planta es raquítico y los rendimientos disminuyen (CIAT, 1980). El nivel óptimo de nitrógeno en las hojas jóvenes al inicio de la floración es del 5%. Las hojas con síntomas de deficiencia generalmente tienen menos del 3% de nitrógeno.



Figura 41. Coloración por deficiencia de nitrógeno en hojas de frijol

Deficiencias de fósforo

La deficiencia de fósforo es uno de los principales problemas nutricionales del frijol y muy particularmente en los andosoles de Colombia (CIAT, 1980). Las plantas de frijol deficientes en fósforo son raquílicas, tienen pocas ramas y las hojas bajas se vuelven amarillas y necróticas antes de alcanzar su madurez (figura 42). Las hojas superiores suelen ser pequeñas y de color verde oscuro. La deficiencia de fósforo reduce la floración y afecta la maduración (CIAT, 1980). Las hojas de las plantas con deficiencias generalmente contienen menos de 0,2% de fósforo. En las hojas adultas superiores un contenido de fósforo de 0,2 a 0,4% es óptimo durante la etapa de 10% de floración. En el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), se calculó un nivel crítico de 0,35% de fósforo.

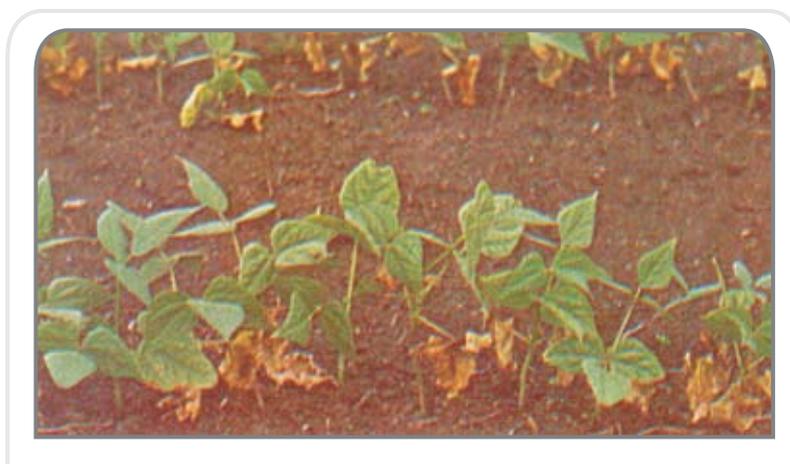


Figura 42. Coloración por deficiencia de fósforo en hojas de frijol

Es importante conocer e identificar los síntomas de deficiencias de nutrientes en el frijol para poderlos corregir de manera oportuna y apropiada. En el caso de tener dudas es posible ayudarse con los análisis foliares que permiten determinar dichas deficiencias con mayor precisión.

Deficiencia de potasio

Las deficiencias de potasio en frijol son poco frecuentes pero pueden ocurrir en oxisoles y ultisoles de poca fertilidad, o en suelos con alto contenido de calcio y magnesio (CIAT, 1980). Los síntomas típicos de deficiencia de potasio son amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes foliares. Estos síntomas aparecen primero en las hojas bajas y gradualmente se extienden hacia arriba (figura 43). En algunos casos de deficiencias muy marcadas pueden presentarse manchas necróticas (CIAT, 1980). El contenido óptimo de potasio en las hojas es del 2%. Las plantas con deficiencia tienen menos del 2% de potasio en las hojas superiores al iniciarse la floración.

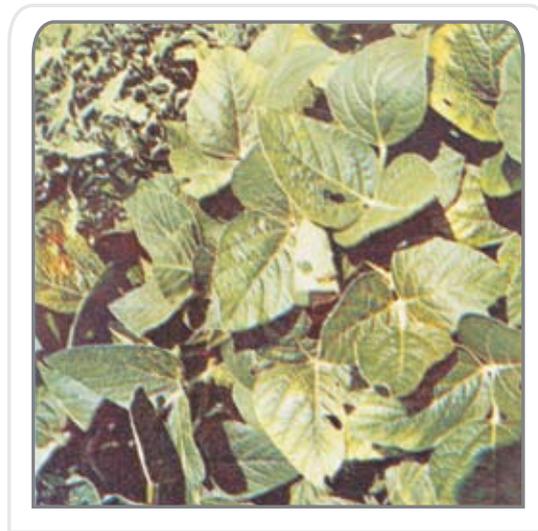


Figura 43. Síntomas por deficiencia de potasio en el frijol.

Deficiencia de magnesio

El magnesio es un componente básico de la clorofila y, por lo tanto, un nivel óptimo es vital para la fotosíntesis. La deficiencia de magnesio generalmente ocurre en suelos ácidos de poca fertilidad con bajo contenido de bases, y en suelos derivados de cenizas volcánicas con niveles relativamente altos de calcio y potasio.

La clorosis intervenal y la necrosis se presentan primero en las hojas más viejas (figura 44) y se extienden después a toda la hoja y al follaje más joven. Durante la época de estrés, la mayor parte del magnesio va a las hojas más viejas. El contenido de magnesio en las hojas de plantas con deficiencia generalmente es de 0,22 a 0,3%, y de 0,35 a 1,3% en las plantas normales (CIAT, 1980).



Figura 44. Síntomas por deficiencia de magnesio en el fríjol.

Riego

Es muy poca la experiencia que se tiene en relación con riego en el cultivo de fríjol en Colombia, ya que la mayor parte de las áreas productoras están ubicadas en la Zona Andina, donde existe un régimen de lluvias que, con muy pocas excepciones, permite la siembra de cultivos transitorios como el fríjol por dos cosechas en el año de acuerdo con este régimen y sin la aplicación de riego. Se exceptúa de esta condición la zona de influencia de la cordillera Oriental, donde el régimen de lluvias es unimodal, con una sola época de lluvias al año. Bajo estas condiciones, el fríjol se ha producido sin la aplicación de riego.

En el ámbito nacional, el INAT y Corpoica desarrollaron entre 1995 y 1997 el proyecto “Manejo de cultivos bajo riego en distritos de pequeña escala”, en once departamentos, que incluyen los pisos térmicos frío, medio y cálido. Para el caso del departamento de Antioquia, se estableció un distrito de riego a pequeña escala en el municipio de Olaya, subregión del Occidente antioqueño, donde se incluyeron cultivos de frutales y tomate de aliño. El área donde se estableció el distrito de riego corresponde al clima medio y a la zona agroecológica Mg. En el desarrollo de este proyecto se realizaron trabajos de riego en fríjol en Santander, Tolima y Nariño, en condiciones de clima frío y clima medio.

Para implementar un programa de riego se deben tener en cuenta varios factores, como balance y requerimientos hídricos, coeficientes de cultivo, cantidad y frecuencia del riego y calidad del agua.

Para regar el fríjol, es necesario conocer los requerimientos de agua del cultivo en cada una de las etapas de desarrollo y conocer además los datos de precipitación de la zona.

Balance hídrico

El balance hídrico permite observar y medir las condiciones hídricas promedias de una zona, considerando los valores medios de precipitación y evaporación. Con la interpretación gráfica del balance hídrico se pueden establecer las necesidades de riego o los excesos de agua para diferentes períodos de observación. Así, cuando la línea que describe la precipitación de una zona está por encima de la línea que describe la evaporación, se presentan el almacenamiento y los excesos de agua en el suelo; cuando sucede la situación opuesta, se presenta un déficit para el consumo de los cultivos. Con el balance hídrico y demás datos de las condiciones climáticas, se establecen las necesidades de riego en los cultivos (Corpoica, INAT, 1997). Para ilustrar este punto, se presenta en la figura 45 el balance hídrico de la zona de influencia del distrito de riego Piñones, en Olaya, Antioquia.

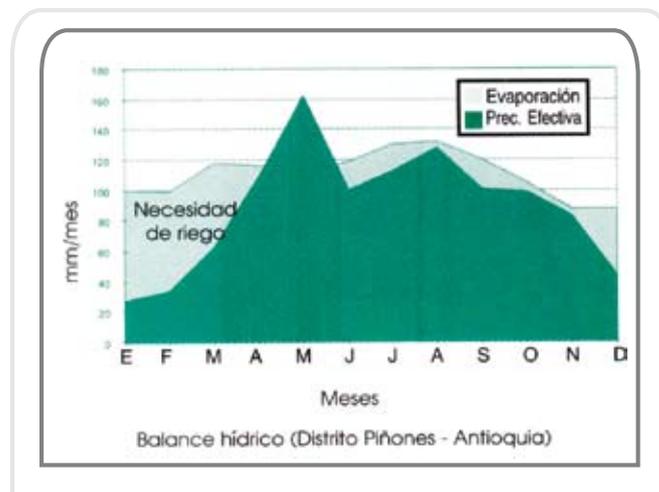


Figura 45. Balance hídrico (Distrito Piñones - Antioquia)

Requerimientos hídricos

Los requerimientos de agua de un cultivo dependen de varios factores, tales como el clima (temperatura y humedad relativa), el suelo (textura, densidad, porosidad, drenaje y topografía) y la variedad.

Es de esperar, para el caso del frijol, que las variedades tengan diferentes requerimientos hídricos, dependiendo de la duración del período vegetativo y del hábito de crecimiento.

En desarrollo del proyecto de pequeña irrigación ejecutado por el INAT y Corpoica, se hicieron estudios de requerimientos de agua del frijol voluble en clima frío, en distritos de los departamentos de Santander, Tolima y Nariño (tabla 9). El ciclo del cultivo se dividió en cuatro etapas: etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa media y etapa final. Se determinó el requerimiento de agua del cultivo en cada una de estas etapas y el requerimiento total.

Como puede verse en la tabla 9, los requerimientos de agua del fríjol en tres distritos de riego, para cinco variedades de fríjol arbustivo y voluble, variaron entre 300 y 362,9 mm para el total del periodo vegetativo. Esta misma tabla y la figura 46 muestran que la mayor demanda de agua del cultivo ocurre en las etapas de desarrollo y etapa media, que corresponden a las etapas R6, R7 y R8, o sea floración, formación de las vainas y llenado de las vainas respectivamente. Por ejemplo, en el Distrito San Pedro, con la variedad cargamanto blanco, la demanda de agua en la etapa inicial, desde la siembra hasta los 32 días, fue de 30 mm; en la etapa de desarrollo, durante 38 días demandó 75 mm; luego en la etapa media, durante los siguientes 50 días, la demanda fue de 145 mm; y en la etapa final del cultivo o etapa de maduración, que duró 20 días, la demanda de agua fue de 50 mm. En este ejemplo, el ciclo del cultivo tuvo una duración de 140 días y el total de agua consumida fue de 300 mm.

Tabla 9. Requerimientos hídricos del fríjol para tres distritos de riego

DIS-TRITO	VARIEDAD	INICIAL		DESARROLLO		MEDIA		FINAL		TOTAL	
		Ciclo (días)	NH* (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)						
Las Leonas	ICA										
	Guanenta Sangileño	20	58,4	40	178	30	81,5	20	45	110	362,9
Rosal del Monte	ICA										
	Rumichaca Bolon Rojo Cargamanto blanco	32	30	38	75	50	160	20	55	140	320
San Pedro	ICA										
	Rumichaca Bolon Rojo Cargamanto blanco	32	30	38	75	50	145	20	50	140	300

*NH: Necesidad Hídrica

Fuente: Tomado de INAT, Corpoica, 1997.

Coefficiente de cultivo (Kc)

Para determinar la demanda de agua de un cultivo es importante conocer también el coeficiente de cultivo o cultural, que es un coeficiente de tipo empírico que relaciona el consumo de agua con la etapa de desarrollo del cultivo. Para el caso del fríjol, el Kc es como se muestra en la figura 46.

Para determinar cuándo regar es muy útil la ayuda de un tensiómetro. En el caso del fríjol, cuando el tensiómetro marca un valor igual o superior a 25 en la escala, es el momento apropiado para iniciar las aplicaciones de agua.

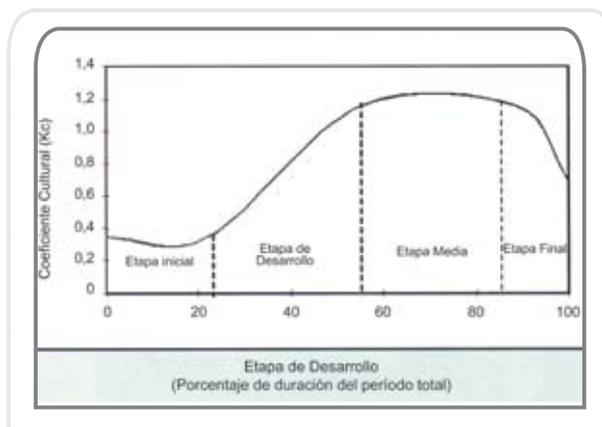


Figura 46. Coeficiente de cultivo (Kc) o cultural para la demanda de agua en el frijol

Cantidad y frecuencia del riego

Para tener éxito se debe regar lo justo. Regar de más, puede causar problemas; regar a destiempo resulta ineficiente. En ambos casos se pierden agua y dinero. Para decidir cuándo y cuánto regar hay que conocer la cantidad de agua que requiere el cultivo en cada momento de su desarrollo, y realizar el balance entre la oferta de agua disponible, de acuerdo con los datos de precipitación de la zona, y la cantidad requerida por el cultivo.

Una forma sencilla para lograr este objetivo es medir el agua en el suelo tomando muestras hasta la profundidad de las raíces del cultivo que se analizan en el laboratorio. La humedad no debe bajar del 50% del total que ese suelo puede almacenar.

Lo más práctico es utilizar tensiómetros, que son instrumentos de medición muy precisos que permiten determinar el contenido de agua del suelo, mediante la tensión que ésta ejerce al subir por el material de cerámica que hace parte del equipo. Estos instrumentos ayudan, además, a conocer los cambios de humedad en el perfil del suelo.

Es claro que las necesidades hídricas son propias de cada cultivo y dependen de las condiciones de la zona y sus características climatológicas, del suelo y de las condiciones de manejo del cultivo. Para la utilización del tensiómetro y la interpretación de la lectura, tenga en cuenta los siguientes parámetros en cuanto a la tensión del agua del suelo:

- 0 – 5: El suelo está muy húmedo para los cultivos.
- 10 – 25: Condiciones ideales de agua y aireación.
- Más de 25: Puede indicar deficiencias de agua en cultivos sensibles de raíces superficiales como el frijol y que están en suelos de texturas gruesas.
- 40 – 50: Adecuada para cultivos con raíces moderadamente profundas que se encuentran en suelos de textura media.
- 70 o menos: Adecuado para cultivos con raíces profundas.
- 80: Se requiere riego, aunque las plantas no muestren síntomas de estrés hídrico (INAT, Corpoica, 1997).

Calidad del agua

Para determinar la calidad del agua para riego, es necesario considerar el contenido de elementos minerales, en especial los metales pesados y el pH (tabla 10).

“Uno de los retos del programa FAO – MANA, es fomentar el uso del agua de riego, como un componente importante en los proyectos productivos de frijol con la estrategia de buenas prácticas agrícolas y documentar estas experiencias para que puedan ser aplicadas por otros agricultores en cada zona.”

Tabla 10. Criterios admisibles para la destinación del recurso agua para fines de riego (Capítulo 4, Artículo 40, Decreto 1594)

Referencia	Expresado como	Valor
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
Cinc	Zn	2,0
Cobalto	Co	0,5
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr ⁺⁶	0,1
Fluor	F	1,0
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
pH		4,5 – 9,0
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

Para el boro, el rango permitido está entre 0,3 y 4,0 mg/l dependiendo del tipo del suelo y del cultivo.

El nivel máximo permisible —NMP— de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. En el caso de coliformes fecales, el NMP no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

Deberán hacerse mediciones de las siguientes características:

- Conductividad
- Relación de absorción de sodio —RAS
- Porcentaje de sodio posible —PSP

Es necesario realizar el análisis de calidad del agua de riego, por lo menos una vez cada año en un laboratorio acreditado. Para determinar la calidad, se debe tener en cuenta la presencia de minerales tóxicos y de microorganismos contaminantes, como los coliformes, y compararlos con los niveles máximos permisibles (NPM) establecidos.

- Salinidad efectiva y potencial
- Carbonato de sodio residual
- Radionucleidos

La calidad de agua usada para irrigación es determinante para la producción y la calidad en la agricultura, el mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y la protección del medio ambiente. Por ejemplo, las propiedades físico-químicas del suelo (estructura del suelo, estabilidad de los agregados y permeabilidad) son características muy susceptibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego.

La calidad del agua de riego puede ser determinada mediante análisis de laboratorio. Los factores más importantes para tener en cuenta, a fin de determinar la validez del agua usada para los fines agrícolas específicos, son los siguientes: pH, riesgo de salinidad, riesgo de sodio (relación de absorción de sodio o RAS), riesgo de carbonato y bicarbonato en relación con el contenido de Ca y Mg, elementos traza, elementos tóxicos, nutrientes, cloro libre.

La frecuencia de análisis de la calidad del agua de riego puede ser anual y debe ser realizada en un laboratorio acreditado. El tipo de análisis depende de los riesgos que se identifiquen en cada caso.

En cuanto a la calidad del agua, los problemas más comunes originados por el uso de aguas no aptas para riego son la salinidad y el sodio, pero en las zonas productoras de frijol en Antioquia es más factible tener aguas con residuos de plaguicidas y metales pesados, las cuales pueden producir efectos tóxicos sobre los cultivos (INAT, Corpoica, 1997).

Se debe anotar que no existe ninguna experiencia documentada sobre uso de riego en frijol voluble, para las condiciones del clima frío moderado del departamento de Antioquia. El INAT ha venido ejecutando proyectos de pequeña irrigación en Urrao, en el Suroeste antioqueño y en San Vicente, en el Oriente, pero no existe información escrita sobre la operación y los resultados de estas experiencias.

En cuanto al método de riego para frijol voluble, por tratarse de un cultivo que se da bajo condiciones de campo abierto, casi siempre en terrenos con pendientes altas, el método recomendado es riego por aspersión, que es un método de fácil manejo y de bajo costo.

Uno de los retos del proyecto FAO – MANA es fomentar el uso del agua de riego, como un componente importante en los proyectos productivos de frijol con la estrategia de buenas prácticas agrícolas, y documentar estas experiencias para que puedan ser aplicadas por otros agricultores en cada zona.