

# PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE ALTA CALIDAD DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.)

RODOLFO ARAYA-VILLALOBOS y MARCO V. GUTIÉRREZ-SOTO  
(Editores)



Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación  
Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno

Alajuela, Costa Rica 2015

Producción de semilla de alta calidad  
de frijol común  
(*Phaseolus vulgaris* L.)

Rodolfo Araya Villalobos  
Marco Vinicio Gutiérrez-Soto

— EDITORES —

Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación  
Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno

Alajuela, Costa Rica  
2016

## COMITÉ EDITORIAL

### Dr. Juan Carlos Rosas Sotomayor

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Tegucigalpa, Honduras. jcrosas@zamorano.edu

### Prof. Leopoldo Baudet, Ph.D.

Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Imbaudet@gmail.com

### Dr. Luis Álvarez Welchez

Ex asesor Técnico Principal del proyecto "Semillas para el desarrollo", FAO, Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC). Tegucigalpa, Honduras. lalvarezwelchez@gmail.com

## EDITORES

### Rodolfo Araya Villalobos

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Programa de Leguminosas de Grano. Barrio San José, Alajuela, Costa Rica. avillalo2005@hotmail.com

### Marco Vinicio Gutiérrez-Soto

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Programa de Ecofisiología Vegetal y Fisiología de los Cultivos. Barrio San José, Alajuela, Costa Rica. marcovgutierrez82@gmail.com

## PORTADA

### Mauricio José Arce Guzmán

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Programa de Ecofisiología Vegetal y Fisiología de los Cultivos. Barrio San José, Alajuela, Costa Rica. marguz24@gmail.com

EDICIÓN E IMPRESIÓN DIGITAL:  **EDiNexo** • WWW.EDINEXO.CO.CR

635 Araya Villalobos, Rodolfo  
A663p Producción de semilla de alta calidad de frijol común /  
Rodolfo Araya Villalobos y Marco Vinicio Gutiérrez Soto (editores) -1ª. ed.- San José, C.R.:  
Ediciones Didácticas Nexo E.I.R.L., 2016.  
238 p. : 27,5 cm x 21 cm.  
Nota: Material tipo ensayo  
ISBN 978-9968-557-95-5  
1. Frijoles. 2. Cultivo. 3. Semillas. 4. Germinación. 5. Agrícola. I. Título.

Como citar este documento: R. Araya, y MV. Gutiérrez (eds). 2015. Producción de semilla de alta calidad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, CRC.

© Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este libro sin la autorización de los autores.

Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación  
Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno  
Alajuela, Costa Rica  
Enero 2016

## **AUTORES**

### **Adriana Murillo-Williams**

Fisiología y fitopatología

Universidad de Costa Rica. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS)

Laboratorio de Micotoxinas

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica

adriana.murillowilliams@ucr.ac.cr

### **Carlos Manuel Araya Fernández**

Fitopatología

Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Laboratorio de Fitopatología

Heredia, Costa Rica

carlosmanuel.araya@gmail.com

### **Flor Ivette Elizondo Porras**

Antropología Social y Administración de Empresas

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria

Departamento de Desarrollo Metodológico

Sabana Sur, antiguo colegio La Salle. San José, Costa Rica

felizondo@gmail.com; felizondo@mag.go.cr

### **Gabriel Garbanzo-León**

Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica

jgabriel.garbanzo@gmail.com

### **Helga Blanco-Metzler**

Entomología

Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC)

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica

helgablanco@gmail.com

### **Juan Carlos Hernández**

Mejoramiento genético

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA),

Programa de Frijol

Sabana Sur, antiguo colegio La Salle. San José, Costa Rica

jchernandez@inta.go.cr

### **Karolina Martínez Umaña**

Economía agrícola, administración de proyectos

Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA). Cenada, Barreal de Heredia, Costa Rica

kamuta@yahoo.com

**Orlando Carrillo Araya**

Tecnología de semillas

Oficina Nacional de Semillas. Jefatura Departamento Técnico  
Calles 21 y 25, avenida 8, barrio González Lahmann, San José, Costa Rica  
orcarrillo@hotmail.com

**Marta Montero Calderón**

Ingeniería Química y de Alimentos

Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola y Centro de Investigaciones Agronómicas / Laboratorio de Tecnología Poscosecha. San José, Costa Rica 2600-11503  
marta.montero@ucr.ac.cr

**Marco Vinicio Gutiérrez Soto**

Ecofisiología Vegetal

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno,  
Programa de Ecofisiología Vegetal y Fisiología de los Cultivos  
Barrio San José, Alajuela, Costa Rica  
marcovgutierrez82@gmail.com

**Rodolfo Araya Villalobos**

Mejoramiento genético, rescate de biodiversidad silvestre y cultivada y producción de semilla.

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno,  
Programa de Leguminosas de Grano  
Barrio San José, Alajuela, Costa Rica  
avillalo2005@hotmail.com

**Walter Paulo Quirós Ortega**

Tecnología de Semillas

Oficina Nacional de Semillas - Dirección Ejecutiva  
Calles 21 y 25, avenida 8, barrio González Lahmann, San José, Costa Rica  
wquiros@ofinase.go.cr

# ÍNDICE

<b>Presentación</b> .....	13
El valor estratégico de las semillas .....	13
 <b>CAPÍTULO 1. LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS ES DE ALTO VALOR COMERCIAL, SOCIAL Y ESENCIAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA</b>	
<i>Marco Vinicio Gutiérrez-Soto y Rodolfo Araya Villalobos</i>	
Introducción .....	15
La importancia del frijol común ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	16
Producción de semillas de alta calidad .....	18
Literatura consultada .....	19
 <b>CAPÍTULO 2. LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL SE DEFINE EN EL CAMPO: UNA PERSPECTIVA ECO-FISIOLÓGICA</b>	
<i>Marco V. Gutiérrez Soto y Rodolfo Araya Villalobos</i>	
Introducción .....	20
La producción de semillas vista como un componente del balance de energía de los agro-ecosistemas .....	21
Balance de carbono durante el ciclo de vida de la planta de frijol común .....	24
Los perfiles morfo-fisiológicos y ambientales del dosel controlan la calidad de las semillas del frijol común .....	25
La determinación del rendimiento del frijol común .....	30
El sistema radical, las relaciones simbióticas y la calidad de las semillas del frijol común .....	31
Las relaciones simbióticas .....	33
Los nódulos y la fijación simbiótica del N <sub>2</sub> atmosférico .....	34
Las micorrizas del frijol común y su relación con la calidad de las semillas .....	36
El efecto del estrés sobre la calidad de las semillas .....	38
El rendimiento del frijol común: un caso de senectud monocárpica .....	42
Literatura consultada .....	43
 <b>CAPÍTULO 3. MORFOGÉNESIS, COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS SEMILLAS DEL FRIJOL COMÚN</b>	
<i>Marco Vinicio Gutiérrez Soto</i>	
Introducción .....	48
La formación de las semillas .....	49
Contribución de la fotosíntesis del fruto a la formación de las semillas .....	54
Control agronómico de la calidad de las semillas del frijol común .....	56
Literatura consultada .....	57

## **CAPÍTULO 4. EL DETERIORO Y LA PÉRDIDA DEL VIGOR Y LA VIABILIDAD DE LAS SEMILLAS. POSIBILIDADES DE REVITALIZACIÓN**

*Marco Vinicio Gutiérrez Soto*

Introducción .....	
Cambios en las membranas durante el deterioro .....	59
Cambios en las mitocondrias .....	59
Alteraciones cromosómicas .....	60
Síntesis de ARN y proteínas .....	60
Cambios en las reservas alimenticias y pérdida del vigor .....	60
Posibilidades de reparación y revitalización de las semillas .....	61
Posibilidades de revertir el deterioro de las semillas .....	61
Literatura consultada .....	62
	64

## **CAPÍTULO 5. PATÓGENOS QUE REDUCEN LA CALIDAD DE LA SEMILLA**

*Carlos Manuel Araya Fernández*

Enfermedades de las plantas .....	
Transmisión de patógenos por la semilla .....	65
Infección de la semilla .....	66
Importancia en la diseminación de patógenos .....	66
Importancia para la supervivencia de patógenos .....	67
Enfermedades causadas por hongos .....	67
Pudriciones radicales .....	67
Enfermedades de follaje causadas por hongos .....	68
Enfermedades causadas por bacterias .....	72
Enfermedades causadas por virus .....	76
Pruebas de sanidad .....	77
Estrategias de combate .....	77
Normas para la aprobación de lotes reproductores .....	78
Literatura consultada .....	79
	81

## **CAPÍTULO 6. PLAGAS INSECTILES ASOCIADAS AL CULTIVO DE FRIJOL**

*Helga Blanco-Metzler y Gabriel Garbanzo-León*

Introducción .....	
Insectos que afectan la fase vegetativa (V0-V3) .....	82
Semillas .....	82
Raíces .....	82
Tallo .....	83
Follaje .....	84
Áfidos o pulgones .....	86
Ácaros .....	88
Fase reproductiva. Granos y semillas .....	106
Literatura consultada .....	109
	111

## **CAPÍTULO 7. ACONDICIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL**

*Marta Montero Calderón y Adriana Murillo-Williams*

Introducción .....	114
Generalidades de las semillas de frijol .....	114
Acondicionamiento de la semilla de frijol .....	119
Operaciones previas del secado .....	120
Recepción, identificación y control de calidad .....	121
Pre-limpieza .....	121
Secado .....	123
Propiedades del aire .....	123
Propiedades de la semilla que afectan el secado .....	126
La operación de secado .....	126
Tiempo de secado .....	127
Métodos de secado .....	128
Empaque y almacenamiento .....	130
Preparación para el almacenamiento .....	130
Empaque o preparación para almacenamiento a granel .....	130
Almacenamiento bajo condiciones controladas .....	133
Cambios durante el almacenamiento .....	135
Control de plagas insectiles y vertebradas .....	135
Sanidad e inocuidad de las semillas .....	136
Buenas prácticas agrícolas (bpa) en la planta procesadora y durante el almacenamiento .....	138
Literatura consultada .....	139

## **CAPÍTULO 8. CRITERIOS DE CALIDAD DE LAS SEMILLAS Y PRUEBAS PARA SU EVALUACIÓN**

*Adriana Murillo-Williams*

Introducción .....	142
Calidad de las semillas .....	142
Pureza genética .....	142
Pureza física .....	142
Sanidad de semilla .....	143
Germinación .....	143
Vigor .....	146
Humedad de las semillas .....	148
Muestreo .....	148
Características del grano .....	148
Literatura consultada .....	151



## CAPÍTULO 9. SISTEMA ALTERNATIVO DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE ALTA CALIDAD DE FRIJOL COMÚN

*Rodolfo Araya Villalobos, Juan Carlos Hernández y Karolina Martínez Umaña*

Introducción .....	153
La buena calidad de la semilla .....	154
Producción Artesanal de Semillas (PAS) y el Fitomejoramiento Participativo (FP) .....	154
¿Por qué fomentar la producción local de semilla en organizaciones de pequeños productores? .....	155
¿Qué es una semilla? .....	155
¿Cómo estar seguros de la calidad de la semilla? .....	156
Importancia de la disponibilidad de semilla .....	156
Uso de grano como semilla .....	157
¿La calidad de la semilla me asegura el éxito? .....	158
Experiencias sobre producción local de semilla .....	158
Semilla certificada y descripción varietal .....	159
¿Qué es un cultivar o variedad? .....	160
Entes oficiales de certificación de semillas de Centroamérica .....	160
La Oficina Nacional de Semillas de Costa Rica .....	160
Control de calidad en el campo .....	161
Comité técnico .....	161
Actividades del comité técnico .....	161
Selección del terreno .....	161
Variedad y cantidad de semilla para la siembra .....	162
Manejo agronómico .....	162
Fiscalización del cultivo .....	162
Muestreo de los campos de producción .....	162
Recomendaciones para los reproductores de semillas .....	163
Inspección de campo .....	163
Normas para la aceptación de los campos de producción .....	163
Control de calidad en pos cosecha .....	165
Posibles riesgos de contaminación .....	165
Operaciones .....	165
Control de puntos críticos .....	166
Cosecha y transporte a la planta de procesamiento .....	166
Registros .....	166
Control del acondicionamiento y del control de calidad .....	166
Recepción del lote de semillas .....	166
Formulario de recibo de la semilla .....	167
Muestras .....	167
Homogenización de la muestra del lote de semilla .....	167
Contenido de humedad .....	167
Evaluación de la condición física .....	167
Evaluación de la condición fitosanitaria .....	168
Evaluación de la germinación en las Organizaciones de Agricultores .....	170

Método en papel toalla .....	171
Método en cajas con arena .....	171
El vigor de la semilla .....	172
Prelimpieza .....	173
Secado .....	173
Secado al sol .....	173
Secado artificial .....	174
Limpieza .....	174
Clasificación .....	174
Acabado final .....	175
Tratamiento .....	175
Envasado .....	175
Almacenamiento .....	176
Muestreo de la semilla almacenada .....	176
Control de inventario .....	176
Equipos de protección personal .....	177
Pesticidas .....	177
Verificación oficial de la calidad de la semilla .....	177
Comentarios finales y conclusiones .....	178
Literatura consultada .....	179

**CAPÍTULO 10. CONTROL DE CALIDAD DE LA SEMILLA DE FRIJOL:  
COMITÉS TÉCNICOS EN ORGANIZACIONES DE AGRICULTORES**

*Rodolfo Araya Villalobos, Flor Ivette Elizondo Porras, Juan Carlos Hernández Fonseca y  
Karolina Martínez Umaña*

Introducción .....	184
Organización y administración del comité técnico .....	184
Integrantes del comité técnico .....	184
Funciones de los miembros del comité técnico .....	185
Renovación de los integrantes del comité técnico .....	186
Equipo de apoyo .....	186
Comité Central .....	186
Objetivos del Comité Central .....	186
Integrantes del Comité Central: Coordinador y secretario .....	187
Funciones del comité técnico .....	187
Cuarto frío u otro método de almacenamiento y conservación de semilla .....	188
Área de capacitación .....	189
Área de divulgación .....	189
Bitácora del comité técnico .....	189
Recursos financieros para el proceso de investigación participativa y para la producción local de semilla .....	189
Fondo operativo .....	189
Fiscalización de la operatividad del comité técnico .....	190
Literatura consultada .....	191

## **CAPÍTULO 11. LEGISLACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMERCIO Y USO DE SEMILLAS**

*Walter Paulo Quirós Ortega*

Introducción .....	192
Características de la legislación regional en semillas .....	192
Objetivos de la legislación .....	193
Actividades reguladas .....	193
Autoridad nacional competente .....	194
Ámbito de aplicación .....	194
Derechos del consumidor de semillas .....	195
Producción y comercio de semillas .....	196
¿Por qué se debe controlar la producción y el comercio? .....	196
¿Por qué se registran las variedades? .....	196
Requisitos generales para la producción y comercio de semillas .....	197
Productores de semillas .....	197
Comerciantes de semillas .....	197
Rotulado y etiquetado .....	198
Otros sistemas de control de calidad .....	198
Literatura consultada .....	200

## **CAPÍTULO 12. CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS Y CONTROL DE CALIDAD**

*Orlando Carrillo Araya*

Introducción .....	201
Relevancia del insumo semilla de buena calidad .....	202
Mejoramiento genético y calidad de semilla .....	202
Registro y elección de variedades para certificación u otras modalidades de control de calidad .....	203
Factores que determinan la calidad de la semilla .....	204
Valor genético y calidad varietal .....	204
Calidad fitosanitaria .....	205
Calidad fisiológica .....	205
Calidad física .....	206
Procedimientos y normas de calidad .....	206
Limitación de generaciones y categorías de semilla. Categorías de semillas .....	207
Semilla genética o material parental .....	208
Semilla básica o de fundación .....	208
Semilla registrada .....	208
Semilla certificada .....	209
Esquema del control oficial de calidad y comercio de semillas .....	209
Atribuciones de los entes encargados por ley de la certificación y control oficial en semillas .....	210
Inscripción e inspección de campos .....	210
Muestreo oficial y análisis de calidad .....	211
Envase, rotulado y etiquetado .....	212
Conclusiones .....	212
Literatura consultada .....	214

### **CAPÍTULO 13. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

*Marco V. Gutiérrez Soto y Rodolfo Araya Villalobos*

Legislación .....	216
Promover la producción campesina de semillas de alta calidad .....	217
Capacitación académica .....	217
Investigación .....	217
RESUMEN DE LOS CAPÍTULOS DE ESTE LIBRO .....	219



# PRESENTACIÓN

## EL VALOR ESTRATÉGICO DE LAS SEMILLAS

La escasez de tierra cultivable y de agua para riego, los efectos del cambio climático, el crecimiento demográfico y los cambios en los perfiles de las dietas, son algunos de los desafíos a los que nos enfrentamos desde ya y de seguro, con más apremio en las próximas décadas.

El aumento de la productividad agrícola acompañada de la práctica de una agricultura sostenible, basada en la utilización racional de los recursos naturales y el apoyo de la investigación y la innovación, será determinante para responder a la demanda de más y mejores alimentos.

En este contexto, la semilla como depositaria del potencial genético de las variedades agrícolas, es un vehículo fundamental para la innovación y la mejora de los cultivos. El aumento en la productividad y el suministro de semillas y materiales de siembra de alta calidad, resultan imprescindibles para garantizar la mejor producción agrícola, tanto para las áreas de mayor potencial como para aquellas menos favorecidas y satisfacer así, los crecientes desafíos ambientales, respondiendo a la demanda de la sociedad de más y mejores alimentos.

Se ha estimado que 80 % del crecimiento global de la producción de alimentos, en las décadas comprendidas entre 1960 a 1980, fue el resultado del crecimiento en la productividad y solo el 20 % provino de una expansión de la superficie cultivable. Con la disminución de la tierra arable disponible, es claro que el crecimiento necesario para cumplir con la demanda de alimentos debería provenir de un aumento en la productividad. En la actualidad, otro componente debe agregarse a este escenario, el desafío del cambio climático. Se ha llegado a estimar que los rendimientos agrícolas bajarán en gran parte de los países en los próximos 20 o 30 años, considerando las prácticas y variedades que hoy se utilizan.

Esto significa que será cada vez más necesaria una intensificación sostenible de la agricultura, en la que se aumenten los rendimientos reduciendo simultáneamente el impacto sobre el agroecosistema y sin dedicar más tierra a la agricultura. La semilla es entonces, un bien estratégico nacional: es el primer eslabón de la producción primaria y de la cadena agroalimentaria.

Algunos datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, son importantes de repasar:

- En 2050 se necesitará un 60 % más de alimentos.
- El 80 % de la dieta y la nutrición humana proviene de las plantas.
- Hay 250.000 especies de plantas identificadas, solo 30.000 son comestibles.
- Apenas 30 especies de plantas son los cultivos que alimentan al mundo.
- De cinco cultivos cerealeros (arroz, trigo, maíz, mijo y sorgo) se obtiene el 60 % del aporte calórico de la población mundial.
- El 70 % de los alimentos consumidos en el mundo provienen de semillas.

La producción de semillas de calidad es una actividad de alta tecnología que demanda años de investigación y desarrollo y grandes inversiones. A diferencia de la producción de granos, la producción de semillas requiere de cuidados adicionales, mayor precisión en los procedimientos y más capacidades técnicas.

Se deben implementar diversos controles para asegurar la pureza genética y la calidad de los atributos fisiológicos de cada variedad. La semilla requiere de un adecuado manejo poscosecha, clasificación, tratamiento y almacenamiento para poder asegurar la calidad y el control de factores como el grado de humedad, la pureza física y varietal, la viabilidad, el contenido de semillas de malezas y la presencia de enfermedades.

Las semillas constituyen un insumo básico de la agricultura y representan un pilar estratégico en la producción agropecuaria, son una pieza fundamental de la industria agroalimentaria y de la economía de los países agro-exportadores.

El frijol común, es un cultivo cercano a la cultura latinoamericana, su historia corre paralela a la de la Región, transformándose con el paso del tiempo, en un cultivo universal. Desde el sentido antropológico hasta el nutricional, su presencia en los campos de cultivos y las mesas de miles de habitantes del mundo acrecientan su importancia. El presente libro editado por el Ms. Rodolfo Araya y el Dr. Marco Gutiérrez son al mismo tiempo un tributo a esta historia además de un recuento fundamental desde el punto de vista científico y de extensión sobre este cultivo. Las contribuciones realizadas por las Universidades, el sector productivo y de Gobierno son por otra parte, un ejemplo de trabajo en equipo y coordinación del sector que sin duda redundará en beneficios tanto para los conocedores y practicantes del sector como para todo aquel que se interese por conocer más sobre esta leguminosa. Los temas abordados van desde la seguridad alimentaria, la fisiología, las plagas, tratamientos poscosecha, calidad, certificación y leyes. Es sin duda un material valioso y una excelente contribución de este equipo de expertos y expertas del campo.

**Dra. Alice Pérez Sánchez**

Vicerrectora de Investigación  
Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
Noviembre 2015

# CAPÍTULO 1

## LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS ES DE ALTO VALOR COMERCIAL Y SOCIAL, Y ESENCIAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

*Marco Vinicio Gutiérrez-Soto  
Rodolfo Araya Villalobos*

### Introducción

La disponibilidad de semillas de alta calidad es esencial para garantizar la seguridad alimentaria del planeta y la sostenibilidad del sector agroalimentario nacional e internacional. La semilla es un insumo esencial y estratégico en toda actividad agrícola, porque encierra el potencial genético de aspectos agronómicos como el rendimiento, la adaptabilidad al ambiente cambiante, y la resistencia a plagas y enfermedades, y permite optimizar la inversión realizada en la preparación del terreno, la siembra, los agroquímicos, la cosecha, y otras labores e insumos.

A diferencia de la mayoría de los otros insumos, las semillas son organismos vivos, especialmente sensibles al ambiente y susceptibles al deterioro, lo cual tiene consecuencias importantes en el establecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos producidos a partir de ellas. La calidad comprende atributos que incluyen la pureza física y varietal, la germinación, el vigor, y la sanidad de las semillas, entre otros, que permiten el establecimiento en el campo de plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad seleccionada (Marshall y Grace, 1992; Egli, 1998; Benech-Arnold y Sánchez, 2004).

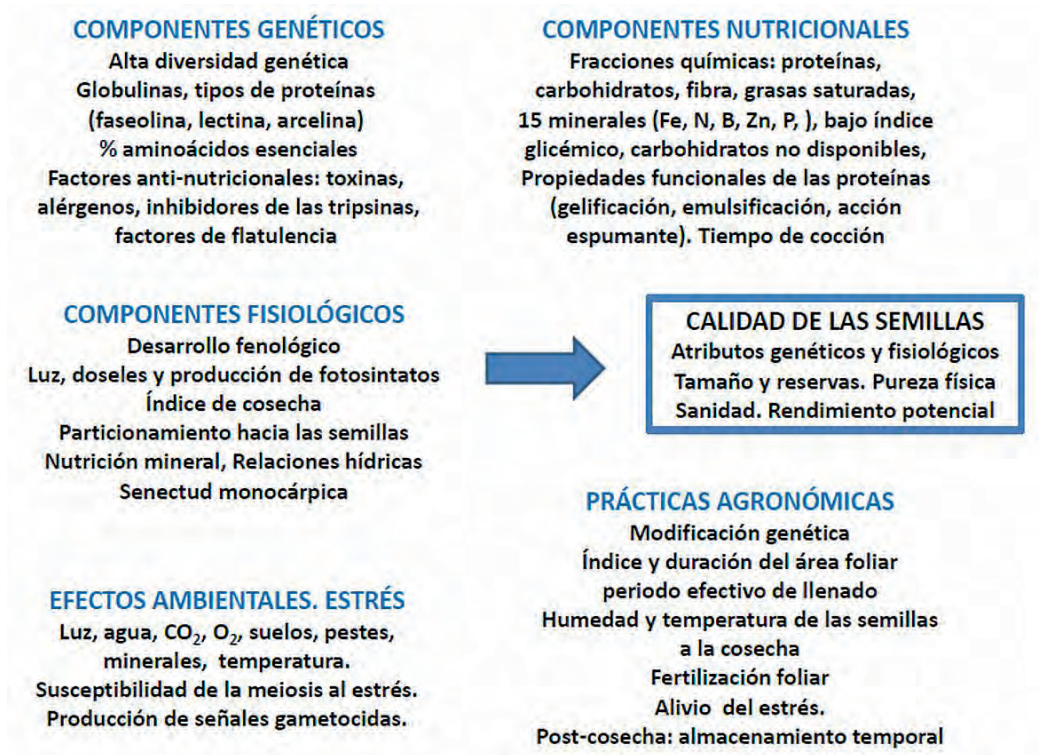
Además de la importancia económica, las semillas tienen profundos significados sociales, afectivos, y culturales en las comunidades campesinas, que se perpetúan y transmiten en la forma de reservas comunitarias y familiares, ferias de intercambio de semillas de identidad, y fitomejoramiento participativo. Estos procesos propician la obtención y producción de semillas para el entorno local, promueven el empoderamiento campesino, y facilitan la denominación de origen de las variedades, los sistemas de producción y los agro-ecosistemas. Estos procesos conducen a la seguridad y la soberanía alimentaria, y demandan comercio justo.

Algunos atributos simples de medir como la textura de las vainas y la imbibición de las semillas pueden ser indicadores de la calidad de las semillas, del tiempo de cocción y otras propiedades culinarias y nutritivas de los granos del frijol (González et al., 2006). Las normas de calidad de los frutos frescos (las vainicas) y de las semillas del frijol común de los cultivares europeos (Escribano et al., 1997; González et al., 2006) incluyen la curvatura de las vainas, el tiempo de cocción de las vainas y las semillas, la relación longitud: anchura y anchura: grosor de los frutos y las semillas, la textura, el volumen, la dureza, el color, el volumen de la cubierta, la absorción de agua, y el contenido de proteínas, azúcares, almidón, lípidos, y minerales esenciales.

Los factores que controlan la producción de semillas de alta calidad (Figura 1) incluyen la constitución genética, que establece el potencial productivo y la composición química general de las semillas; los factores ambientales y el desempeño fisiológico determinan la producción de biomasa y su



partición hacia los órganos aprovechables (vainas o semillas) en las fracciones químicas deseadas. El estrés modifica los patrones de partición de la biomasa hacia órganos y fracciones químicas “antagonistas”. Diversas prácticas agronómicas realizadas a diferentes escalas del sistema productivo y del agro-ecosistema (el suelo, la planta, la atmósfera, la finca), pueden modificar los componentes y los determinantes de la calidad de las semillas. Todos estos factores son considerados a lo largo de los capítulos que conforman este compendio.



**Figura 1.** Componentes de la calidad de las semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.): genético, fisiológico, nutricional, efectos del estrés, e intervenciones agronómicas a varias escalas del proceso de producción.

## La importancia del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol común es la más importante de las cinco especies de *Phaseolus* cultivadas, y de las más de 50 especies silvestres de *Phaseolus* originarias del Neotrópico, que se distribuyen desde el norte de México hasta el noroeste de Argentina, donde muestran considerable variación en su ciclo de vida (anuales y perennes), características morfológicas y hábito de crecimiento, fenología, color de las flores, sistema reproductivo, adaptación a diferentes ambientes, respuestas fotoperiódicas (White y Laing, 1989), y en las características de los frutos y las semillas. Esta alta diversidad incluye factores determinantes de la calidad como el tamaño y el color de la cubierta, el contenido y tipo de faseolinas (las principales proteínas de almacenamiento) y de varios nutrientes minerales y orgánicos esenciales en la dieta humana (O’Brian y Vance 2007). En el frijol común, la producción (rendimiento) de semillas está negativamente asociada con el tamaño de las semillas, de manera que los cultivares de semillas más grandes tienden a ser menos productivos (Sexton et al., 1997a).

El frijol ha sido un componente esencial de los sistemas autóctonos de producción de alimentos debido a su capacidad para crecer en diversos tipos de suelos, fijar  $N_2$  atmosférico, alta micorrización, y alta plasticidad fenotípica que le permite adaptarse a múltiples escenarios de cultivo. Los frijoles cultivados han sufrido importantes cambios durante la domesticación, que han afectado el hábito de crecimiento y han resultado en el “gigantismo” de las hojas, la supresión de la dehiscencia de los frutos, la insensibilidad al fotoperiodo, la pérdida de la latencia y en una amplia variedad de colores, tamaños y formas de las semillas (Singh et al., 1991).

El cultivo del frijol ha existido por miles de años (4-8), pudiéndose identificar en la actualidad dos grandes grupos de germoplasma, Mesoamericanos y Andinos, con tres razas cada uno: Durango, Jalisco y Mesoamérica, y Nueva Granada, Perú y Chile, respectivamente (Singh et al., 1991). Las líneas mesoamericanas y andinas difieren en varios aspectos morfológicos. Las razas andinas parecen tener menores tasas fotosintéticas y de crecimiento, debido presuntamente a su menor peso foliar específico ( $g/m^2$ ), conductividad estomática y contenido foliar de nitrógeno (Sexton et al., 1997b). Estas razas se han extendido desde las Américas y se han constituido en un elemento esencial de la dieta de muchas culturas alrededor del mundo (Escribano et al., 1997; González et al., 2006). En la actualidad, aproximadamente el 25 % de la producción mundial de los cultivos más importantes se deriva de las leguminosas de grano, y 33 % de los requerimientos del nitrógeno en la dieta humana proviene de estas leguminosas. Además, las vainas verdes son uno de los vegetales frescos más consumidos en el mundo (Escribano et al., 1997), lo que hace del estudio del desarrollo de los frutos y de las semillas de las leguminosas, un tópico de amplio interés y objeto de estudio en este libro.

Como la mayoría de las plantas vasculares, el frijol común se reproduce sexualmente a través de la alternancia de generaciones. El genoma del frijol es de los más pequeños dentro de las leguminosas, de solo 625 Mpb por genoma haploide (Gepts, 2001). El ciclo de vida tiene una fase esporofítica dominante ( $2N = 22$ ), seguida por una gametofítica haploide. El esporófito produce esporas vía meiosis, mientras que el gametófito produce gametos vía mitosis. Los gametos femeninos son producidos en el arqueogonio y los masculinos en el anteridio. Las fases meióticas del ciclo reproductivo son especialmente sensitivas a diversos tipos de estrés.

El sistema reproductivo del frijol común es autógeno (ocurre auto-polinización), aunque bajo algunas condiciones puede ocurrir alta polinización cruzada (Singh et al., 1991, González et al 2004, González et al 2005, Chaves et al 2003). La autopolinización de las flores ocurre durante su apertura, y la fecundación sucede 8-9 horas después. La polinización cruzada es muy baja (1 %) pero puede alcanzar el 8-10 % entre eras adyacentes. Varios tipos de abejas visitan las flores y pueden polinizarlas, y se sugiere que los thrips, que pueden entrar en las flores antes de su antesis, pueden también actuar como polinizadores del frijol. Aunque efectivamente los insectos parecen realizar la hibridación del frijol común, los componentes del rendimiento no se incrementan, lo que tiene implicaciones para las prácticas de polinización asistida. En Brasil, plantas de *P. vulgaris* protegidas de la polinización cruzada por varios medios, produjeron el mismo número y calidad de vainas y granos que las plantas experimentalmente expuestas a los insectos. Por lo tanto, es improbable que la instalación de apiarios en plantaciones de frijol común influya su producción. Para reducir la hibridación durante la producción de semillas certificadas de alta pureza genética, se recomienda aislar los cultivares (Chaves et al., 2013).

Las semillas maduras del frijol común están compuestas por la testa (9 %), el hilum, el micrópilo, la rafe y el eje embrionario (1 %), el cual está formado por la plúmula, dos hojas primarias, el hipo-

cótilo, dos cotiledones (90 %), y la radícula (Debouck e Hidalgo, 1984). Cada semilla de raza me-soamericana pesa en promedio entre 0.18 y 0.22 g y su desarrollo se completa en unos 30 días. Las vainas miden unos 12 cm y pueden contener hasta 6-7 semillas. El valor nutricional de las semillas del frijol común se deriva de su alto contenido de proteínas, minerales (Fe, P, Zn, Mg, K), vitaminas (tiamina, ácido fólico), y fibra, y su complementariedad con cereales de alto contenido de carbohidratos disponibles, como el maíz y el arroz. Típicamente una cosecha de frijoles está compuesta por 15-25 % de frutos y 85-75 % de semillas, éstas últimas constituidas por 50-70 % carbohidratos no disponibles en su mayoría, 16-30 % proteínas, 1-3 % lípidos saturados de alta calidad, 7 % lignina, 4 % ácidos orgánicos, y 3-5 % minerales esenciales, con un promedio de humedad a la cosecha de 11 % (Penning de Vries et al., 1983).

## **Producción de semillas de alta calidad**

La producción de semillas de alta calidad puede ser objeto de estudio y mejoramiento a varios niveles: genético, fisiológico y agronómico, y resulta en la liberación de semillas con alto potencial de rendimiento y de mejor calidad nutricional, en la forma de productos novedosos con denominación de origen, producción orgánica y ecológica, o bio-fortificación a través de la manipulación genética y las prácticas como el abonamiento foliar (O'Brian y Vance, 2007).

La semilla, como insumo esencial y estratégico, difiere de los otros insumos en que es un organismo vivo susceptible al deterioro, lo cual tiene consecuencias importantes en el establecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos producidos a partir de ellas. A través de los capítulos de este libro, atributos como la pureza física y varietal, la germinación, el vigor, y la sanidad de las semillas, son relacionadas con el establecimiento de plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad seleccionada, capaces de expresar su potencial genético y agronómico.

En este libro se proveen los conceptos, las definiciones, los requisitos y las recomendaciones agronómicas y legales necesarias para la producción, el acondicionamiento, el almacenamiento y la comercialización de las semillas de frijol común de alta calidad, a través de una serie de capítulos independientes pero complementarios, con un alto contenido técnico. En algunas ocasiones se recurre a comparaciones con otras especies de leguminosas de grano para mostrar la generalidad de los fenómenos descritos o para obtener información carente para el frijol común. Estas publicaciones cubren numerosos aspectos del crecimiento y la productividad, la economía y el uso del agua, el carbono, el nitrógeno y los minerales, y la nutrición orgánica y mineral de las leguminosas de grano. Por ejemplo, se dispone de un conocimiento agronómico superior sobre especies con un alto grado de sintenia (posición y función similar que ocupan los genes en el genoma o mapa genético de especies relacionadas) con el frijol común, como la soya (*Glycine max*) y el frijol rabiza (*Vigna sinensis*), que se asemejan además en cuanto al índice de cosecha y el rendimiento por unidad de área foliar.

## Literatura citada

- Benech-Arnold, RL., and RA. Sánchez. 2004. Handbook of seed physiology; applications to agriculture. Food Products Press. New York. 480 p.
- Chaves-Barrantes, NF; R. Araya, y DG. Debouck. 2014. Cruzamiento natural en frijol común en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 25(1):01-10.
- Chaves, N., R. Araya, y D.G. Debouck. 2003. Polinización natural del frijol común en Costa Rica. In. VII Taller Anual de Resultados de Investigación y Transferencia de Tecnología. Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria –Frijol (PITTA-Frijol). San José, Costa Rica. 35--40 p.
- Debouck, DG., y R. Hidalgo. 1984. Morfología de la planta de frijol común. 2 ed. CIAT. Cali, Colombia. 49 p.
- Egli, DB. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, UK. 178 p.
- Escribano, MR; M. Santalla, y AM. de Ron. 1997. Genetic diversity in pod and seed quality traits of common bean populations from northwestern Spain. *Euphytica* 93: 71-81.
- Gepts, P. 2001. *Phaseolus vulgaris* (Beans). Academic Press. University of California, Davis, USA. 2 p.
- González, AM; AB. Monteagudo, PA. Casquero, AM. de Ron, and M. Santalla. 2006. Genetic variation and environmental effects on agronomical and commercial quality traits in the main European market classes of dry bean. *Field Crops Research* 95: 336-347.
- González-Torres, E. Gaitan, R. Araya, O. Toro, J Tohme, and D G Debouck. 2005. Evidence of gene flow among bean species of section *Phaseoli* in Colombia and Costa Rica, using microsatellite markers. *Annu. Rept. Bean Improvement Cooperative (USA)* 48.
- González-Torres, E. Gaitan, R. Araya, O. Toro, J Tohme, and D G Debouck. 2004. Additional evidence on gene flow events in *Phaseolus vulgaris* in Costa Rica. *Annu. Rept. Bean Improvement Cooperative (USA)* 47: 167-168.
- Marshall, C., and J. Grace. 1992. Fruit and seed production; aspects of development, environmental physiology and ecology. Society for Experimental Biology Seminar Series 47. Cambridge University Press. Great Britain. 256 p.
- O'Brian, MR., and CP. Vance. 2007. Legume Biology: Sequence to Seeds. *Plant Physiology* 144: 537.
- Penning de Vries, FW., HH. Van Laar, and MC. Chardon. 1983. Bioenergetics of growth of seeds, fruits and storage organs. In: Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute. Laguna, Philippines. p. 37-60.
- Sexton, PJ., KJ. Boote, JW. White, and CM. Peterson. 1997a. Seed size and seed growth rate in relation to cotyledon cell volume and number in common bean. *Field Crops Research* 54: 163-172.
- Sexton, PJ., CM. Peterson, KJ. Boote, and JW. White. 1997b. Early-season growth in relation to region of domestication, seed size, and leaf traits in common bean. *Field Crops Research* 52: 69-78.
- Singh, SP; P. Gepts, and DG. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45(3): 379-396.
- White, JW; and DR. Laing. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Field Crops Research* 22: 113-128.

## CAPÍTULO 2

### LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL SE DEFINE EN EL CAMPO: UNA PERSPECTIVA ECO-FISIOLÓGICA

*Marco V. Gutiérrez Soto  
Rodolfo Araya Villalobos*

#### Introducción

La producción sostenible y estable de semillas de alta calidad es el producto final deseado de los agro-ecosistemas frijoleros energéticamente balanceados y ecológicamente fundamentados. Desde el punto de vista eco-fisiológico, representa el éxito del proceso de “la cosecha del sol” por parte de las hojas de la plantación, su eficiencia en la conversión de la energía lumínica en biomasa, y de su distribución preferencial hacia el rendimiento final, tanto en la cantidad como en la calidad de los granos y las semillas producidas, según sean dedicados al consumo humano o a la siembra agrícola.

El desempeño fisiológico de las variedades de frijol determina la calidad de las semillas durante su formación en el campo. La especialización fisiológica es el motor funcional detrás de los ideotipos diseñados para la producción intensiva en monocultivos, bajo reducida competencia interespecífica y abastecidos con insumos introducidos al agro-ecosistema a un alto costo energético y ambiental. Bajo condiciones agroecológicas óptimas, a elevaciones de 200-1500 m, temperaturas superiores a los 18 °C y preferiblemente entre 22-28 °C, y una densidad de siembra de 175-230.000 plantas/ha, 50-60 cm entre surcos, y 10-14 plantas/m lineal, las plantaciones de frijol son agro-ecosistemas que alcanzan un IAF óptimo = 3,5-4,5, caracterizados por sus bajos rendimientos (< 0,7 t/ha) en la mayoría de los países productores alrededor del mundo (Gepts, 2001). Varios factores eco-fisiológicos como la baja tasa de crecimiento, alta foto-respiración, alto número de días requeridos para el cierre del dosel, baja longevidad foliar, y alta precocidad reproductiva, inciden en este reducido rendimiento.

El cultivo del frijol puede ser objeto de mejoramiento a varios niveles: genético, fisiológico y agronómico, considerándose como objetivos primordiales en la actualidad la obtención de mayores rendimientos, mejor calidad nutricional, el desarrollo de bio-productos novedosos (O'Brian y Vance, 2007), y la comercializados a través de redes de distribución y consumo justos (“fair trade”). Un esfuerzo integrado para lograr el mejoramiento de la calidad de los granos y las semillas debe procurar el flujo de recursos en la forma de asimilados y nutrientes hacia los órganos cosechables y mejorarlo en cuanto a lo siguiente:

1. Aumento del contenido de aminoácidos azufrados y minerales como hierro, zinc y calcio.
2. Reducción del contenido de lípidos saturados (como el palmitato).
3. Solución de la carencia de metionina y de cisteína en la globulina de las semillas, la principal proteína de almacenamiento.
4. Remoción de componentes anti-nutricionales como los alérgenos y los factores de flatulencia.
5. Mejoramiento de la digestibilidad y la facilidad para el procesamiento en la industria alimen-

taria, a través de la manipulación del contenido, la composición y la estructura de los gránulos de almidón, y el tiempo de cocción de los granos (Wang et al., 2003).

El mejoramiento agronómico moderno debe estar orientado por la necesidad de producir bajo altos estándares de calidad ambiental y con uso eficiente de los recursos e insumos, en agro-ecosistemas tropicales sostenibles y bajo sistemas de producción apropiados para las variadas condiciones bajo las cuales se cultiva el frijol común (Chaves y Araya 2014), que incluyen grandes áreas dedicadas a la agricultura en laderas. Estos agro-ecosistemas complejos deben idealmente contener alta biodiversidad en fincas diversificadas, con diversas variedades de frijol común plantadas simultáneamente, lo cual mejora la resiliencia de las fincas.

## La producción de semillas vista como un componente del balance de energía de los agro-ecosistemas

El rendimiento potencial del frijol común  $Y$  puede expresarse como una función de la eficiencia del dosel en la captura de la luz fotosintéticamente activa (RAF, 0.487):  $Y = 0.487 * ST * EI * EC * EP$  donde  $ST$  es la radiación solar total incidente durante la ontogenia del cultivo (620 MJ),  $EI$  es la eficiencia en la interceptación de la luz RAF (0,9), determinada por el desarrollo y el cierre del dosel, y por su absorbancia, longevidad, tamaño y arquitectura,  $EC$  (0,032) es la diferencia entre la fotosíntesis gruesa y la suma de la respiración y de la foto-respiración, y  $EP$ , el índice de cosecha, es la proporción de la biomasa aérea distribuida (particionada) hacia el órgano aprovechable (0,6). Bajo condiciones óptimas de cultivo y en ausencia de estrés biótico y abiótico, el rendimiento energético del frijol común probablemente varía alrededor de 18 MJ m<sup>-2</sup> (Zhu et al., 2010).

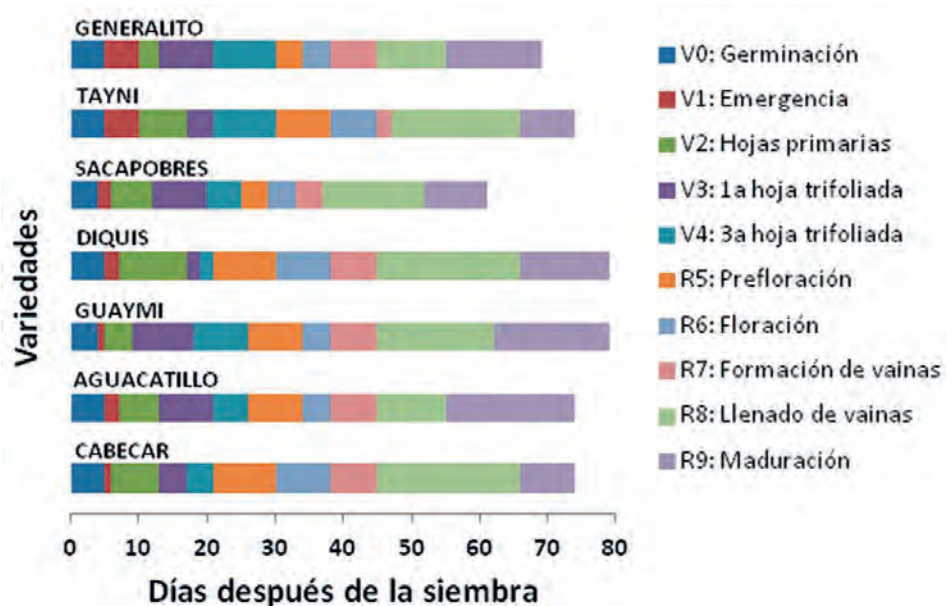
Debido a que el frijol común es una planta con metabolismo fotosintético C3, menos del 5 % de la energía solar disponible es convertida en biomasa (Figura 1), (Zhu et al., 2010). Como se indicó antes, varios factores como la baja tasa de crecimiento, alta fotorespiración, el alto número de días requeridos para el cierre del dosel, la baja longevidad foliar y la alta precocidad reproductiva, inciden en este reducido rendimiento (Laing et al., 1983).



**Figura 1.** Conversión de la energía solar disponible en biomasa en cultivos C3 y C4 (traducida de Zhu et al., 2010).

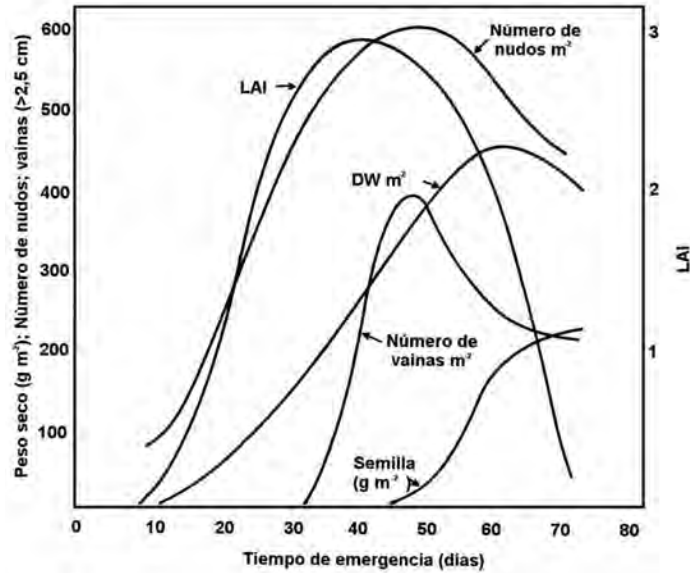
Las pérdidas energéticas y la baja eficiencia en el uso de la luz y otros recursos limitantes como el agua y los minerales se deben a varios factores fisiológicos, ambientales, y agronómicos. Del total de la radiación solar, más de la mitad no es fotosintéticamente activa y se encuentra fuera del rango útil en la fotosíntesis (Zhu et al., 2010). Además, una importante proporción de esta energía es reflejada y transmitida por las hojas, o desaprovechada debido a ineficiencias fotoquímicas y limitaciones propias de la fotosíntesis C3. De la RAF aprovechada, un cultivo C3 como el frijol común fotorespira un 6 % y respira un 2 %, lo que lo hace considerablemente menos eficiente y productivo que cultivos C4 como el maíz, cuya fotorespiración es muy baja y su eficiencia en el uso del agua muy alta.

El desarrollo fenológico de las plantaciones de frijol común y otras leguminosas de grano se describe mejor utilizando códigos que sustituyen la escala cronológica (y los días después de la siembra) por descripciones del estado vegetativo y reproductivo de las plantas (Figura 2). En estas descripciones, a partir de la germinación se registra el número de nudos y de hojas, la aparición y la apertura de las flores, y el progreso en la maduración de los frutos y las semillas. Estos registros se ajustan mejor al desarrollo fisiológico de las plantas de frijol, que depende en gran medida de la radiación solar, la temperatura y el fotoperiodo.



**Figura 2.** Etapas de desarrollo de distintas variedades de frijol común cultivadas en Costa Rica (Vives Saborío, 2014).

La formación del rendimiento del frijol común a partir de R5 es un complejo fenómeno morfo-genético que idealmente se ajusta a una vigorosa curva sigmoidea (Figura 3), cuya culminación coincide con la senectud monocárpica de las plantas en R9. Sobre el andamio vegetativo construido desde V0 y hasta R8 (tallos y ramas), y más allá en tipos indeterminados, se establecen las unidades fitoméricas que sostienen el rendimiento de alta calidad y sirven de reservorio temporal de carbohidratos y nutrientes minerales requeridos para la formación subsecuente de las semillas (Laing et al., 1983).



**Figura 3.** Parámetros clave del crecimiento de *P. vulgaris* cv. Porrillo Sintético, con una ontogenia de aproximadamente 75 días. El índice de área foliar óptimo (LAI=3) se alcanza aproximadamente a los 35 días. La biomasa total y el número de nudos, vainas y semillas se expresan por m<sup>2</sup> de área cultivada (traducida de Laing et al., 1983).

Dependiendo del ambiente, en variedades mesoamericanas cultivadas en el trópico la ontogenia del cultivo tarda 60-90 días, la tasa de crecimiento es cercana a 15 g/m<sup>2</sup> de hojas/día, las plantas florecen entre los 23-39 días, la madurez fisiológica ocurre a los 60-80 días, y la cosecha desde los 65 y hasta más de 85 días después de la siembra. Se registran tasas diarias de uso del agua de hasta 7 mm/día durante la madurez del cultivo, lo que implica un consumo de 300-400 mm de agua durante toda la ontogenia. El índice de cosecha de los cultivares modernos es cercano a 0,4-0,5, y el rendimiento puede variar desde 500 hasta más de 2000 kg/ha (Norman et al., 1984). El rendimiento record bajo condiciones tropicales es de 5 t/ha para un cultivo de 90 días (Laing et al., 1983).

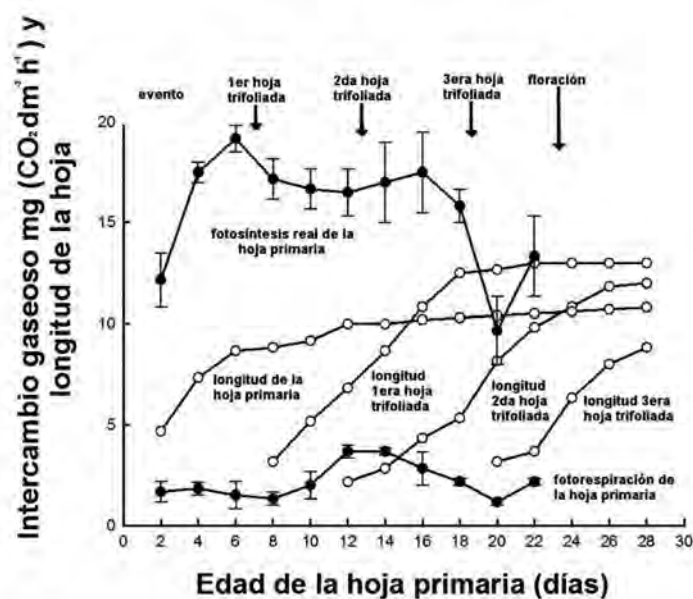
La calidad de las semillas es afectada por la nutrición mineral de las plantas durante la ontogenia, por la efectividad del traslado de los nutrientes durante su formación, la presencia de patógenos o plagas y por la programación oportuna de la cosecha con el objeto de reducir las pérdidas de peso y de minerales (por lixiviación, por ejemplo), y otros problemas posteriores a la madurez fisiológica. Diferentes minerales se acumulan a tasas diferentes en las semillas en desarrollo, y los tejidos vegetativos juegan un importante papel en su captura, almacenamiento temporal, y redistribución durante la formación de las mismas (Sharkey y Pate, 1976; Cakmak, 1994).

El frijol puede extraer 53, 6, 55, 30, y 8 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, de los cuales aproximadamente 48 % del N, 58 % del P, 48 % del K, y 19 % del Ca son componentes de las semillas cosechadas. El floema es la principal ruta para el traslado de los minerales desde las hojas, a través del cual se extraen y se trasladan a las semillas 60-90 % del N, P y K foliares, 20-60 % del Mg, Zn, Mn, Fe y Cu, y menos del 20 % del Na y el Ca (Hocking y Pate, 1977). Por cada gramo de N, P y K absorbido por la planta de frijol, se producen 18, 151, y 25 g de semilla, respectivamente (Laing et al., 1983). Los frutos y las semillas son los principales consumidores de nitrógeno a partir de R7, y al llegar a R9 las semillas contienen aproximadamente el 70 % del nitrógeno y 55 % del peso seco total de la planta (Westermann et al., 1985).



## Balance de carbono durante el ciclo de vida de la planta de frijol común

La máxima tasa de fotosíntesis neta de las hojas de frijol (metabolismo fotosintético C3) varía de 25 a 40 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup> de hoja/hora. Cada hoja sucesivamente producida durante el crecimiento inicial de una planta tiene mayor capacidad fotosintética, alcanza su máximo en la hoja 3 o 4, y las hojas producidas subsecuentemente muestran tasas de fotosíntesis similares. En hojas individuales, la fotosíntesis se incrementa con el tamaño, alcanza su máximo más o menos al final de la máxima expansión foliar, se mantiene constante por un periodo de 7-20 días y luego declina. La fotorespiración consume poco menos del 20 % de la ganancia fotosintética de las hojas (Fraser y Bidwell, 1974), y la eficiencia asimilatoria (tasa fotosintética/tasa fotorespiratoria) sigue un patrón semejante al de la fotosíntesis aparente (Figura 4).



**Figura 4.** Intercambio fotosintético de gases en las hojas sucesivamente producidas por plantas de frijol común en relación con el crecimiento longitudinal de las hojas. Se incluye la tasa fotorespiratoria de las hojas primarias (traducida de Fraser y Bidwell, 1974).

La asignación del nitrógeno foliar a la fotosíntesis es rápidamente ajustada según las condiciones de crecimiento, y puede variar desde 6 % en hojas bajo sombra hasta 20 % en hojas expuestas al sol (Seemann et al., 1987). Las hojas son anfiestomáticas; la superficie abaxial tiene una densidad estomática de 254-537/cm<sup>2</sup> mientras que en la adaxial es de solo 45-124/cm<sup>2</sup> (Ehleringer, 1990); la densidad de los tricomas varía entre 116-791/cm<sup>2</sup> según el cultivar, y la mayoría son curvados, aunque hay tricomas aciculares también (Oriani y Lara, 2000). La implicación de los tricomas en la respuesta del frijol al estrés tanto biótico (herbivoría, plagas y enfermedades) como abiótico (déficit hídrico y alta temperatura) no debería descuidarse en programas de selección para tolerancia al estrés de varios tipos.

La capacidad de la planta de frijol para aprovechar la RAF incidente depende de una combinación de rasgos morfo-fisiológicos como la producción de hojas más gruesas, mejor distribuidas verticalmente, con tejidos parenquimáticos bien diferenciados, alta densidad y conductividad estomá-

tica, alta fotosíntesis aún bajo condiciones de alta RAF y temperatura, aumentos en la relación de clorofila a:b, descensos en la actividad del fotosistema II, incrementos en la actividad del ciclo de las xantofilas en las hojas (Wentworth et al., II\_2006), y óptima partición y eficiencia en el uso del nitrógeno en el dosel (Seemann et al., 1987).

Un balance de carbono positivo a lo largo del desarrollo del cultivo es importante para la producción de semillas de alta calidad (Figura 4), y se reconoce que los descensos en la cantidad de la luz y de la fotosíntesis durante el periodo de llenado de las semillas reducen significativamente la cosecha. Las variaciones diurnas en la actividad fotosintética, la respiración, y la exportación de asimilados por el floema causan fluctuaciones diurnas en el peso de las hojas, debidas principalmente a cambios en los niveles de carbohidratos no estructurales, como los azúcares y el almidón. Los niveles de azúcares (sacarosa principalmente) son máximos (12-13 %) en la tarde, y los de almidón al final del día. Las hojas pierden azúcares (hasta llegar a 9-10 %) y almidón durante la noche debido a la respiración, que puede consumir hasta 25 % de la ganancia fotosintética diaria (Laing et al., 1983). En cultivos mejor estudiados, el balance de carbono se puede estimar mediante modelos de crecimiento relativamente simples que integran los regímenes de la luz y la temperatura diarias, una tarea pendiente para el cultivo del frijol común.

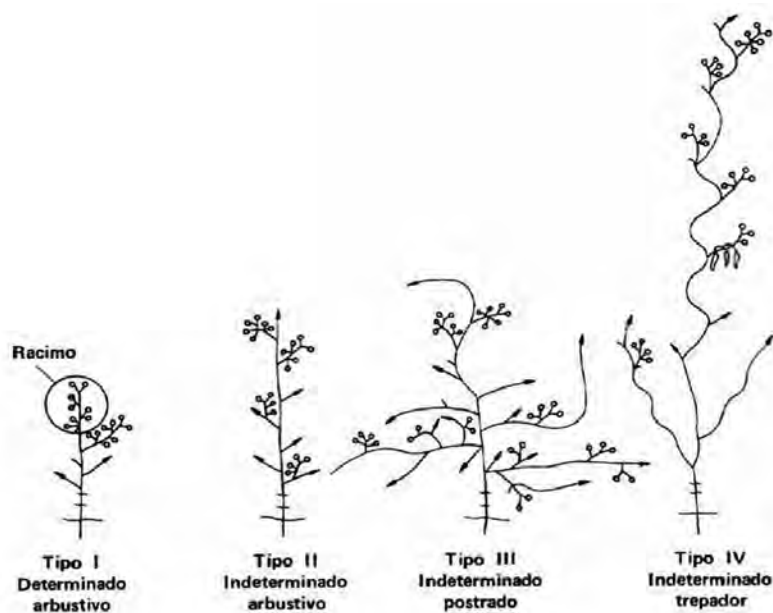
Las plantas de frijol transferidas a la oscuridad o a la sombra experimentan un rápido descenso en la exportación de asimilados y en la concentración de solutos en el floema. El ritmo de los niveles de azúcares y sustancias nitrogenadas en el floema se asemeja al medido en las hojas y los frutos. El flujo de azúcares hacia los frutos parece depender directamente de la fotosíntesis y de la concentración actual de azúcares de las hojas que los alimentan. La tasa de crecimiento del cultivo, un importante índice fisiológico, es de menos de 15 g/m<sup>2</sup>/día (Sale, 1975; Laing et al., 1983).

Con una concentración de nitrógeno foliar de 16 mg/dm<sup>2</sup> de hoja, la fotosíntesis se satura a 150-250 J/m<sup>2</sup>/s en días de alta radiación, bajo la cual un dosel de frijol puede fijar 35-40 mg de C/dm<sup>2</sup>/hora.

Las hojas son los principales contribuyentes de carbohidratos a través de la fotosíntesis actual, mientras que las raíces, tallos y ramas constituyen reservorios temporales. La concentración de carbohidratos no estructurales cambia frecuentemente en los peciolos y los pulvinos a lo largo del día, lo que probablemente está vinculado con la reparación de los embolismos y las respuestas heliotrópicas de las hojas, especialmente bajo condiciones de estrés (Pastenes et al., 2005). A los 72 días después de la siembra (dds) los frutos contienen 5-8 % de los carbohidratos no estructurales, los cuales descienden a menos del 1 % a la madurez fisiológica. A los 80 días después de la siembra, durante el crecimiento de las semillas, el fruto contiene 11-18 % de los carbohidratos, que descienden finalmente a menos del 2 %. En la semilla de frijol madura, el almidón constituye un 30 % y los azúcares solubles solo un 2-3 % del peso seco (Peña-Valdivia y Ortega-Delgado, 1991).

## **Los perfiles morfo-fisiológicos y ambientales del dosel controlan la calidad de las semillas del frijol común**

Los doseles de frijol cultivados pueden estar conformados por plantas de al menos cuatro tipos de arquitectura: arbustivos de crecimiento determinado e indeterminado, y semi-trepadores y trepadores indeterminados (Figura 5). Estos difieren en el tipo de yema apical, la firmeza del tallo, la habilidad para trepar, la distribución de la carga de frutos (basal, distal) a lo largo del tallo, y la arquitectura del sistema radical. El tipo I es más común en latitudes templadas y ha sido objeto de considerable mejoramiento genético en Norteamérica (Adams, 1982).

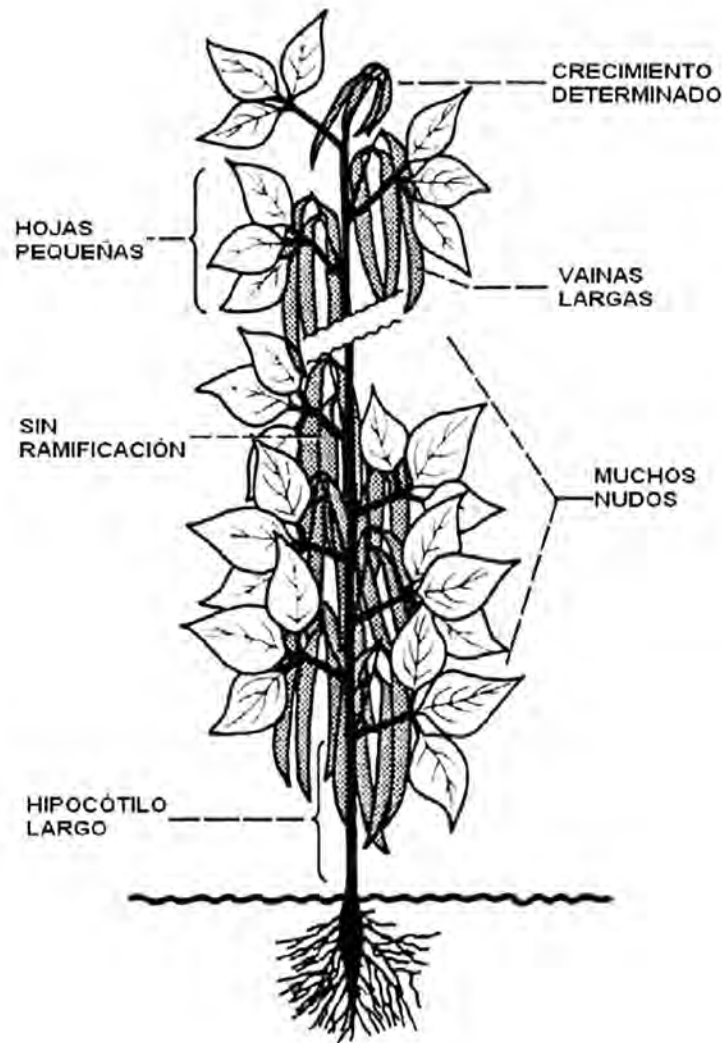


**Figura 5.** Tipos arquitecturales del frijol común: plantas arbustivas de crecimiento determinado (tipo I) e indeterminado (tipo II), semi-trepadores (tipo III) y trepadores indeterminados (tipo IV) (tomada bouck e Hidalgo, 1984).

El tipo III, postrado y con abundante ramificación, es el más común en las variedades nativas, y probablemente fue seleccionado por los aborígenes como un componente de agro-ecosistemas más diversos y rústicos que los monocultivos actuales, apropiado para la siembra del frijol bajo el sistema tapado (Monge et al, 1987; Ramírez y Araya, 1986; Araya y Gonzáles, 1992; David et al., (Edt.), 1994) y en asocio con el maíz. Los sistemas de producción tradicionales requieren morfotipos de frijoles aptos para el cultivo bajo condiciones a menudo marginales, con recursos edáficos limitados, alta competencia con arvenses tropicales muy agresivas, y altos niveles de estrés. El tipo IV es común a elevaciones superiores a 1500 m. En Mesoamérica el tipo II es el más común en las variedades mejoradas de uso comercial. Los materiales I y IV producen las semillas de mayor tamaño (Laing et al., 1983; Debouck e Hidalgo, 1984).

El dosel de una plantación está conformado por estructuras nodales que constituyen la base arquitectónica de las plantas de frijol modernas, a menudo compactas y con alto índice de cosecha, en las que cada nudo contiene el área foliar necesaria para sustentar el mantenimiento de las estructuras vegetativas existentes y el desarrollo de los sumideros, es decir, los frutos en desarrollo y las semillas que éstos contienen.

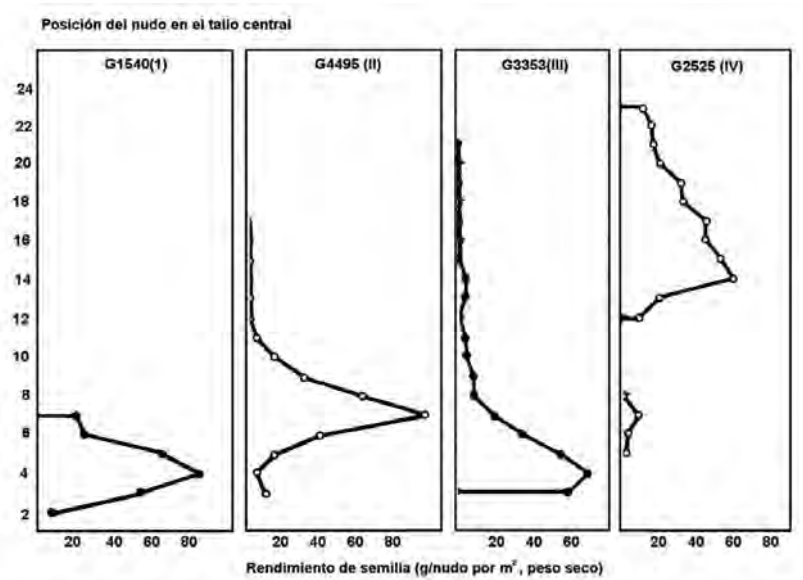
Un ideotipo de frijol común para el monocultivo mecanizado con alta adición de insumos está constituido por una columna sin ramificaciones, formada por unidades fuente-sumidero, conocidas como “fitómeros” en la literatura fisiológica (Figura 6). En estos ideotipos se ha reducido el crecimiento vegetativo, especialmente de los rasgos importantes para la competencia, como la ramificación y el desarrollo de un sistema radical vigoroso y extenso. Además, se han reducido las respuestas morfogénicas asociadas al estrés causado por factores edáficos, como el aumento en la relación raíz:tallo, porque la alta tecnificación de estos ideotipos garantiza el adecuado suministro de agua y nutrientes.



**Figura 6.** Ideotipo de frijol común para el monocultivo mecanizado con alta adición de insumos y reducida competencia. En este ideotipo se ha reducido el crecimiento vegetativo, la ramificación y el desarrollo del sistema radical (traducida de Adams, 1982).

La eliminación de la dormancia de las semillas garantiza la germinación uniforme, pero se ha sacrificado la longevidad durante el almacenamiento, y se ha provocado el viviparismo (Weitbrecht et al., 2011) de las semillas (pueden germinar en la vaina), lo cual puede causar pérdidas considerables en el campo cuando la madurez fisiológica coincide con períodos de alta humedad y precipitación.

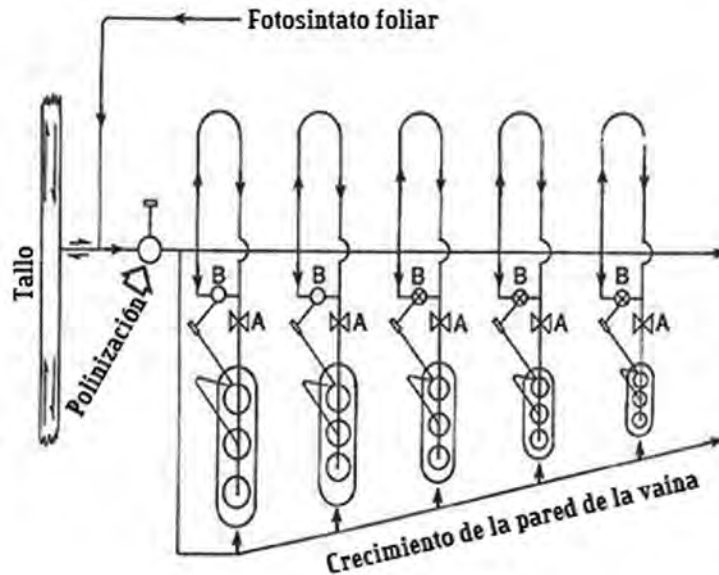
Los perfiles muestran además cambios en la orientación de las hojas: las hojas superiores tienden a ser más verticales y exhiben paraheliotropismo activo, “solar tracking”, y su fotosíntesis sigue de cerca las fluctuaciones diarias en RAF, mientras que las hojas inferiores son más grandes, delgadas y verdes, y se orientan horizontalmente. Estos perfiles son acompañados por gradientes del área foliar fotosintéticamente activa, conductividad estomática, capacidad fotosintética y balance de carbono, contenido de carbohidratos no estructurales, sustancias nitrogenadas, nutrientes minerales, y en los nudos, de la distribución de los frutos y las semillas que éstos contienen a lo largo del perfil (Figura 7, Laing et al., 1983).



**Figura 7.** Perfiles de la distribución de la producción de semillas (g/nudo/m<sup>2</sup>) a lo largo del tallo de plantas de frijol con tipos de crecimiento contrastantes I, II, III y IV. En la mayoría de los cultivares, excepto los de hábito IV, el rendimiento se concentra en los nudos inferiores que se iniciaron primero en la reproducción (traducida de Laing et al., 1983).

Los resultados obtenidos en leguminosas modelo (*Lupinus albus*, 51-58 dds) (Layzell y LaRue, 1982) muestran que el estrato superior de hojas más jóvenes tiene tasas de fotosíntesis moderadas, y satisface las demandas del meristemo apical, de las hojas en expansión, y de otros sumideros importantes como los tallos y los peciolo. Los estratos medios están compuestos por hojas completamente expandidas que sustentan su propio mantenimiento y exportan carbohidratos al meristemo apical, tallos, peciolo, y a la raíz, en la cual los nódulos y las micorrizas pueden constituir sumideros muy fuertes. Una vez superado este estrato, la tasa fotosintética disminuye en las hojas más sombreadas.

El transporte de agua y nutrientes a larga distancia hacia los frutos y las semillas en desarrollo se realiza a través de una compleja red vascular formada por el xilema, el floema, y varios tejidos accesorios. Los estudios de la translocación en las leguminosas han demostrado la interconexión en la transferencia de agua, C y N entre estos tejidos en múltiples puntos y órganos de las plantas (Figura 8, Atkins y Smith, 2007). Por ejemplo, los frutos del lupino transpiran aproximadamente 22,5 ml de agua/g de materia seca producida, de los cuales el xilema suple 60 %, pero a partir del inicio del desarrollo de las semillas el floema se vuelve el tejido más importante en la provisión de agua (Pate et al., 1977).



**Figura 8.** Modelo de desarrollo de los frutos y las semillas de las leguminosas propuesto por Duncan (1986). El modelo representa un solo nudo de una planta de soja. Los asimilados fluyen hacia el crecimiento vegetativo hasta que ocurre la polinización, que abre la válvula del flujo hacia los frutos en desarrollo. El gradiente hidráulico debe superar el umbral (representado por los bucles sobre el eje principal del diagrama) para iniciar el flujo hacia las semillas. La válvula A regula la tasa de flujo hacia las semillas y la B se abre y supera los bucles del umbral cuando la semilla ha pasado el período crítico, y ya no abortará. La tasa de flujo a través de la válvula A se aproxima al crecimiento combinado de todas las semillas en el fruto

El xilema es un sistema apoplástico responsable de la mayoría del transporte del agua y de los minerales adquiridos en el suelo, formado mayormente por células conductoras muertas. El floema en cambio es un tejido vivo, simplástico, que funciona con un mecanismo de flujo en masa basado en la transmisión de gradientes de turgencia, concentración y presión; el floema contiene el medio bioquímico apropiado para la actividad enzimática, y distribuye los asimilados fotosintéticos producidos en las hojas a los sumideros como las raíces, los meristemos, las flores, los frutos y las semillas en desarrollo.

La sacarosa es el azúcar más abundante en el floema de la planta de frijol, aunque disacáridos como la trehalosa (Altamirano-Hernández et al., 2007) pueden volverse importantes para la producción de semillas en plantas con fijación simbiótica de  $N_2$ . La concentración de sacarosa en la savia del floema del frijol común puede alcanzar el 10 %, y suple además la mayoría del carbono y el nitrógeno (98 % y 89 % en frutos de lupino; Pate et al., 1977). La proporción de asimilados y nutrientes escasos como el nitrógeno y el fósforo, destinados a los distintos órganos, cambia durante la ontogenia. La distribución vertical del nitrógeno sigue un patrón también estratificado en el perfil, porque las hojas jóvenes expandidas y expuestas a la luz reciben una fracción sustancialmente mayor del nitrógeno fijado por los nódulos.

El xilema del frijol común y otras leguminosas tropicales transporta además los ureidos alantoina y ácido alantóico como productos de la fijación simbiótica de nitrógeno en los nódulos. Contrario a las leguminosas de clima templado que transportan predominantemente amidas (como la asparagina) con una relación C:N de 1:1, la relación C:N de los ureidos tropicales es 1:2, lo que los hace altamente eficientes en el uso de los esqueletos de carbono suministrados por la planta hospedera (Pate et al., 1977).

La savia de las leguminosas contiene altas concentraciones de citoquininas, alcaloides, y varios cientos de tipos de polipéptidos. Varias hormonas vegetales como el jasmonato y el ABA, involucradas en la senectud monocárpica y en el llenado y la latencia de las semillas, también son encontradas en la savia del floema. A esto se suman ácidos nucleicos, mARNs, una multitud de ARNs pequeños con funciones variadas, y señales químicas y eléctricas. Numerosos agroquímicos sistémicos con funciones diversas (fungicidas, herbicidas, etc.) son también transportados por los tejidos vasculares. El floema además redistribuye algunos de los solutos transportados por el xilema a órganos de baja transpiración (frutos y meristemos) en las formas químicas y en las proporciones adecuadas (Atkins y Smith, 2007).

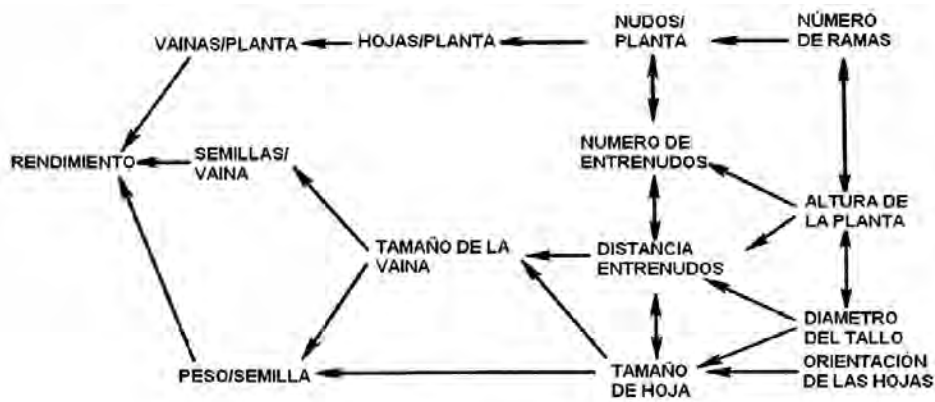
Estos perfiles morfo-fisiológicos están a menudo asociados a perfiles y gradientes micro-climáticos muy dinámicos, que cambian rápidamente y en distancias muy cortas a lo largo del día. Dentro de un dosel vegetal se desarrollan pronunciados gradientes de luz, temperatura del aire, de las hojas y del suelo, humedad, velocidad del viento,  $[CO_2]$ ,  $[N_2]$  y otros gases, que afectan la actividad fisiológica de las hojas y de las raíces. Estos gradientes se extienden hasta el suelo, cuyas propiedades físicas, químicas y biológicas, como la temperatura, el contenido de agua, y la actividad de las raíces y los microorganismos, son afectadas por el ambiente aéreo. Esto incluye la actividad de los simbioses, los nódulos y las micorrizas esenciales en los agro-ecosistemas tropicales.

La estratificación morfo-fisiológica y ambiental finalmente se traduce en diferencias en la viabilidad, el vigor, y la composición de las semillas provenientes de frutos iniciados en diferentes estratos y a diferentes edades. Efectivamente, el establecimiento de los frutos parece depender en primera instancia de cuándo éstos son iniciados y dónde están localizados dentro del dosel. Los frutos más grandes sobreviven más, mientras que los frutos formados más tarde, bajo una alta carga de sumideros, fallan con más frecuencia. Las flores que se abren más tarde, especialmente en los nudos superiores y en las ramas, no resultan en el establecimiento de frutos.

El riesgo de aborto parece ser superado cuando el fruto termina la fase crítica de elongación y se inicia el llenado de las semillas (Egli y Bruening, 2006). Las semillas que se desarrollan en los frutos más tempranos alcanzan la madurez fisiológica antes, y el máximo vigor se obtiene al momento de la madurez fisiológica (Muasya et al., I y II\_2002). De lo anterior resulta evidente que los tejidos reproductivos formados primero tienen la ventaja en términos de la partición de los asimilados producidos “en tiempo real” (Laing et al., 1983), y explica por qué la sombra ejerce efectos tan dramáticos sobre el aborto de los frutos jóvenes.

## **La determinación del rendimiento del frijol común**

Los componentes del rendimiento del frijol común dependen en última instancia de la arquitectura vegetativa de la planta y de los nudos reproductivos disponibles para sostener unidades fuente-sumidero a lo largo de un tallo, que corresponde a la altura de las plantas. Está determinado por el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina, y el peso de las semillas, el cual es más conservado bajo diversas condiciones de cultivo. El número de vainas por planta es el componente del rendimiento más variable, y las plantas de frijol ajustan el número de vainas con el área foliar y la producción fotosintética actual, y “proceden” a llenar los sumideros establecidos lo más rápido posible. La elongación de los frutos ocurre aceleradamente y la tasa de crecimiento de las semillas es muy alta, lo que influencia la rápida senectud desplegada por las plantas de frijol en el campo (Figura 9).



**Figura 9.** Determinación del rendimiento del frijol común. La altura de la planta tiene un papel determinante en el control del rendimiento (traducida de Adams, 1982).

## El sistema radical, las relaciones simbióticas y la calidad de las semillas del frijol común

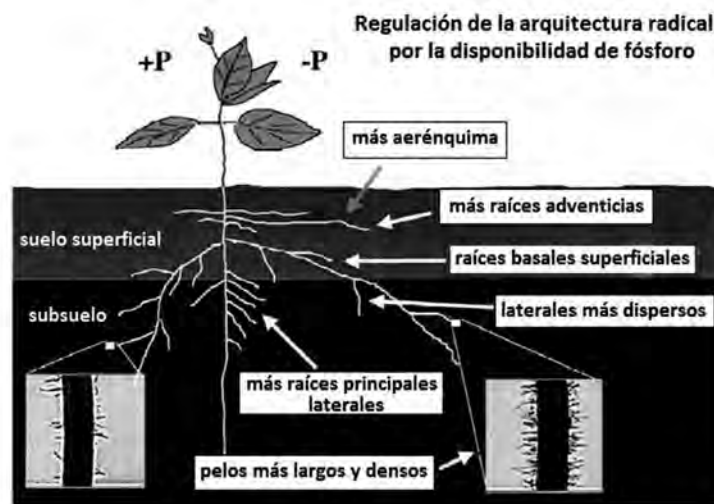
Las funciones de las raíces del frijol común son variadas, y todas guardan relación con la producción de semillas. Los sistemas radicales del frijol:

- Proveen anclaje en el sustrato y soporte estructural, por lo que son un componente de la arquitectura, esencial para reducir el volcamiento de las plantas, un problema de campo de gran importancia en la producción de semillas de frijol de alta calidad.
- Facilitan la absorción de agua, minerales y otras sustancias bio-activas del suelo, incluidos algunos xenobióticos. En el caso del frijol común, la adquisición de los tres recursos más limitantes en los suelos tropicales, agua, N y P, puede ser facilitada por relaciones simbióticas hospedadas por las raíces.
- Realizan actividades biosintéticas como la producción de hormonas, vitaminas, enzimas, y metabolitos secundarios. Estas sustancias son esenciales para el metabolismo y el crecimiento de las raíces y de las copas (Carmi y Heuer, 1981), la coordinación de las relaciones raíz:tallo, la nodulación y la micorrización, y la defensa contra patógenos y herbívoros.
- Almacenan temporalmente agua, minerales, carbohidratos y sustancias fensa, cuya removilización durante la reproducción contribuye al llenado de las semillas.
- Propician el desarrollo de la rizosfera, la formación de relaciones simbióticas, y de otras interacciones variadas con los organismos del suelo, así como la detección de otras plantas y la defensa contra patógenos y herbívoros.
- Realizan fijación biológica del nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a través de relaciones simbióticas con bacterias (*Rhizobium etli*, *R. tropici* y otras especies) alojadas en los nódulos de las raíces.
- Forman micorrizas arbusculares (MA) con hongos, que aumentan el volumen del suelo explorado y la superficie de absorción de agua y facilitan la adquisición del fósforo, nitrógeno, zinc y otros nutrientes escasos en los suelos dedicados a la producción de frijol.



- Producen señales radicales de naturaleza hormonal, nutricional, hidráulica y eléctrica, que coordinan el metabolismo y el desarrollo de la raíz y de la copa, especialmente bajo situaciones de estrés, y regulan las relaciones simbióticas establecidas en las raíces.

El sistema radical del frijol común (Figura 10) está conformado por tres tipos generales de raíces: la raíz central o pivotante (de la cual se originan varias laterales), las raíces basales, y las raíces adventicias, que se forman en el hipocótilo y cuyo desarrollo es promovido por el uso de coberturas y los aporques. Estos tres tipos de raíces difieren en sus características morfo-fisiológicas y en su importancia en la adquisición de distintos recursos del suelo (agua, N, P), y pueden competir y compensarse entre sí. A estas raíces más gruesas deben sumarse una multitud de raíces finas muy difíciles de cuantificar, que constituyen los elementos arquitecturales más importantes para la adquisición de agua y nutrientes, y la formación de relaciones simbióticas. Otros aspectos arquitecturales importantes incluyen la distribución y la orientación de las raíces basales y laterales, la longitud y la densidad de los pelos radicales, y la propensión de las raíces para formar simbiosis exitosas, como el desarrollo de nódulos fijadores de nitrógeno y de micorrizas (Lynch y Brown, 2001; Fan et al., 2003).



**Figura 10.** Regulación de la arquitectura del sistema radical del frijol común por la disponibilidad de fósforo. Bajo condiciones de baja disponibilidad de P (derecha) se estimula la producción de etileno (Borch et al., 1999), una hormona que desencadena la diferenciación de raíces adventicias, la formación de aerénquima, la reducción del ángulo de crecimiento de las raíces basales, la ramificación de la raíz pivotante, y aumento de la densidad y la longitud de los pelos radicales. Esta respuesta mejora “el forrajeo” cerca de la superficie y reduce el costo metabólico de la exploración del suelo, porque se realiza con raíces ricas en aerénquima, un tejido cuyo costo de construcción y mantenimiento es bajo (traducida de Lynch y Brown, 2001; Fan et al., 2003).

La región de la raíz localizada superficialmente en el suelo facilita la absorción de P y algunos micronutrientes, mientras que la porción profunda mejora la absorción de agua y otros minerales solubles y móviles en el perfil, como el nitrato. La adquisición de P se favorece con un sistema radical que “forrajeo” los horizontes superficiales donde la disponibilidad de P es usualmente mayor (Lynch y Brown, 2001; Ho et al., 2005), lo que requiere raíces adventicias, dispersión de las raíces laterales, y plasticidad para producir raíces finas preferencialmente alrededor de los parches de alta

disponibilidad de P (Snapp et al., 1995). Estos atributos no son tan deseables en los sistemas radicales aptos para ambientes y sistemas de producción con sequía terminal, en los que el agua del suelo se localiza progresivamente más abajo en el perfil conforme avanza la ontogenia del cultivo y la sequía.

En vista de que la ocurrencia del estrés múltiple es la regla en los agro-ecosistemas tropicales, y de que tanto la deficiencia de agua como la de fósforo causan incrementos en la relación raíz:tallo, la producción de cultivares con sistemas radicales dimórficos, vigorosos y distribuidos a lo largo de todo el perfil parece ser la recomendación arquitectónica más deseable. La arquitectura del sistema radical del frijol es considerablemente plástica, pero esta plasticidad involucra compromisos fisiológicos (“*trade-offs*”) que establecen los límites para el mejoramiento, particularmente cuando los recursos involucrados se encuentran localizados en diferentes secciones del perfil del suelo (Ho et al., 2005). La alta diversidad fenotípica del frijol común podría ser explorada para encontrar plantas con sistemas radicales diseñados para ambientes y sistemas de producción específicos.

## Las relaciones simbióticas

Los nódulos y las micorrizas facilitan la absorción de agua y de los dos nutrientes minerales más limitantes en los suelos tropicales, N y P, a un costo relativamente bajo si su adquisición se compara con el costo energético de la aplicación de fertilizantes sintéticos o basados en piedra fosfórica. A pesar de su efectividad en la transferencia de nutrientes “en tiempo real” y del éxito agro-ecológico de los agro-ecosistemas con frijol, este alto potencial productivo permanece sub-utilizado: la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> por parte del frijol común es la más baja entre las leguminosas cultivadas. Igualmente, el conocimiento y la tecnología para la utilización de las micorrizas en la producción frijolera están sumamente rezagados. En este último caso, las aplicaciones son limitadas principalmente por las dificultades para producir inóculo de alta calidad *in vitro*, la falta de sustratos adecuados para la supervivencia y la reproducción de los hongos, y la identificación y selección de razas y asociaciones complementarias y eficientes.

Las plantas de frijol con relaciones simbióticas establecidas en sus raíces deben ser consideradas al menos como organismos triples, y tanto los nódulos como las micorrizas son sumideros muy importantes dentro del presupuesto de carbono, nitrógeno y minerales de las plantas. Las máximas tasas de fijación de N<sub>2</sub> se obtienen bajo condiciones favorables para la fotosíntesis (Walsh et al., 1987) porque el costo metabólico de las relaciones simbióticas es significativo. El control del suministro de asimilados por parte de la planta es crucial para sustentar el metabolismo y regular la actividad simbiótica. Las dos simbiosis, los nódulos y las micorrizas, son sinérgicas, y la planta puede compensar parcialmente las necesidades de los simbiosistas a través de incrementos en la fotosíntesis. Los estudios indican que las micorrizas consumen 4-20 % del carbono fijado diariamente (Denison y Kiers, 2011). Los nódulos usan 6 % del carbono fijado por hospederos no micorrizados y 12 % en los hospederos micorrizados (Paul y Kucey, 1981).

Tanto *Rhizobium* como los hongos micorrízicos pueden invertir cantidades sustanciales de los asimilados suministrados por las plantas en la síntesis de sus propias reservas nutritivas, trehalosa y glucógeno en el caso de *Rhizobium*, además de ácidos grasos triacil-glicéridos (TAGs) de alto costo energético en las micorrizas. Esto puede exponer a los simbiosistas a sufrir “sanciones” de parte de la planta hospedera, que “recompensaría” a los simbiosistas más efectivos a través de una mayor asignación de asimilados (Selosse y Rousset, 2011).

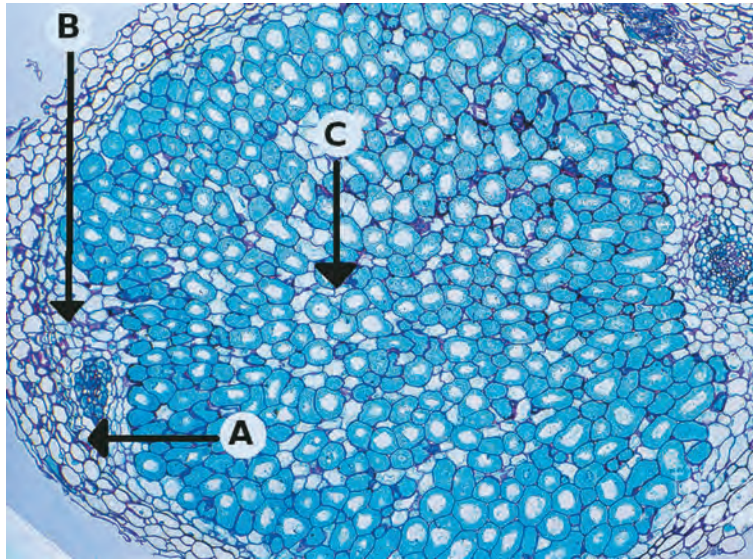
## Los nódulos y la fijación simbiótica del N<sub>2</sub> atmosférico

La diversidad de *Rhizobium* es enorme a lo largo de los centros de origen del frijol, donde prevalecen las razas nativas adaptadas a los suelos ácidos y las altas temperaturas. El frijol común es un hospedero promiscuo que puede ser nodulado por múltiples especies de *Rhizobium*, pero la mayor actividad fijadora se lleva a cabo por *R. etli*, *R. tropici* y *R. leguminosarum* bv. *phaseoli*, con promedios de 20 Kg N/ha, lo que representa menos del 30 % de los requerimientos del cultivo. Los frijoles trepadores muestran la mayor actividad fijadora (Martínez-Romero, 2003), que puede alcanzar hasta 60-80 Kg N/ha en los frijoles peruanos (Manrique et al., 1993).

Solo una pequeña proporción de los pelos radicales invadidos por *Rhizobium* se desarrollan en nódulos, lo que demuestra la astringencia y la especificidad de la relación simbiótica, la importancia de los factores de nodulación (*nod-factors*) a lo largo del proceso de infección, y la selección de las cepas que penetran la epidermis, que en algunos casos hace de las bacterias del nódulo una población clonal (Weber et al., 2005). Luego del reconocimiento de la presencia de un hospedero mediante la quimiotaxis (aminoácidos y luteolina), la colonización de la raíz del frijol se inicia con el reconocimiento, por parte de las lectinas localizadas en las membranas de las células epidérmicas, de las señales bacterianas (*nod-factors*) adecuadas. Esto es seguido por la penetración de las bacterias a través de un pelo radical, que se encorva sobre sí mismo encerrándolas, invierte la dirección del crecimiento en el ápice, y genera un hilo de infección transcelular, formado por invaginaciones de celulosa sintetizada por la planta, que conduce las bacterias hasta la corteza de la raíz, donde otros *nod-factors* inducen la mitosis activa y la diferenciación de un nódulo meristemático. La entrada del hilo de infección resulta en el cese de la mitosis en fases avanzadas, produciéndose células grandes y poliploides que pueden alojar un gran número de bacterias (Sprent y James, 2007).

Las células del nódulo no infectadas por *Rhizobium* proveen ácidos C<sub>4</sub> (malato) como esqueletos de carbono a los bacteroides, gracias a una intensa actividad respiratoria (realizada a través de la glucólisis y el ciclo de Krebs), y sintetizan los ureidos nitrogenados (relación C:N de 2:1) exportados del nódulo hacia la copa. El proceso de nodulación también requiere de variaciones en la concentración citoplasmática de Ca<sup>+2</sup> (“*Ca-spiking*”) (Weber et al., 2005). Las hormonas regulan la nodulación como una función de la salud general de las plantas, controlando el transporte de asimilados hacia los nódulos y a través de la producción de flavonoides, fenoles, estrigolactonas, brasinosteroides, y otros reguladores del crecimiento (Samac y Graham, 2007).

Los niveles de citoquininas provenientes del meristemo radical aumentan y los de auxinas declinan durante la nodulación. Las “hormonas del estrés” como el etileno, el ABA, el jasmonato, y el ácido salicílico reprimen la nodulación, desencadenando procesos bioquímicos semejantes a la defensa contra los patógenos (Samac y Graham, 2007; Oldroyd y Downie, 2008). La estructura final del nódulo es la de un órgano que provee el ambiente adecuado para la fijación de N<sub>2</sub> y el intercambio de nutrientes ente los simbiosomas, conformado por un núcleo central que contiene células infectadas con bacteroides fijadores de N<sub>2</sub>, en grupos de 4-6 bacterias altamente diferenciadas y encapsulados por membranas (simbiosomas), rodeados de una zona cortical donde se localizan los tejidos vasculares de la planta (Figura 11).



**Figura 11.** Estructura de un nódulo formado en las raíces de una planta leguminosa. Se observan la corteza externa (A), corteza interna (B), y el núcleo central formado por células infectadas con la presencia de bacteroides bien diferenciados (C). Un haz vascular se observa a la derecha (traducida de Brear et al. 2013).

Los nódulos del frijol son de color cremoso, esféricos, y de crecimiento determinado. Los nódulos funcionales son rojos en el interior debido a la presencia de la leg-hemoglobina, una proteína rica en hierro, esencial en el transporte y la homeostasis de oxígeno en el nódulo, donde regula la respiración y la actividad de la nitrogenasa de los bacteroides, la enzima que convierte el  $N_2$  en amonio, una forma nitrogenada útil para las plantas (Fernández-Luqueño et al., 2008; Oldroyd y Downie, 2008).

Numerosos factores fisiológicos y ecológicos afectan el funcionamiento y la efectividad de los nódulos, como el abastecimiento de asimilados por parte de la planta, el contenido de nitrógeno del suelo, el estrés hídrico (Serraj et al., 1999), y la temperatura del suelo. Desde el punto de vista fisiológico, las plantas detectan la calidad del simbiote y aplican “sanciones” nutricionales a los nódulos poco activos en la fijación de  $N_2$ , o a aquellos que invierten muchos asimilados en la síntesis de sus propias reservas, o cuando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es alta, luego de una aplicación de fertilizantes nitrogenados (Kiers et al., 2011; Selosse y Rousset, 2011). Como resultado, los nódulos más activos en la fijación de  $N_2$  son usualmente los más grandes también.

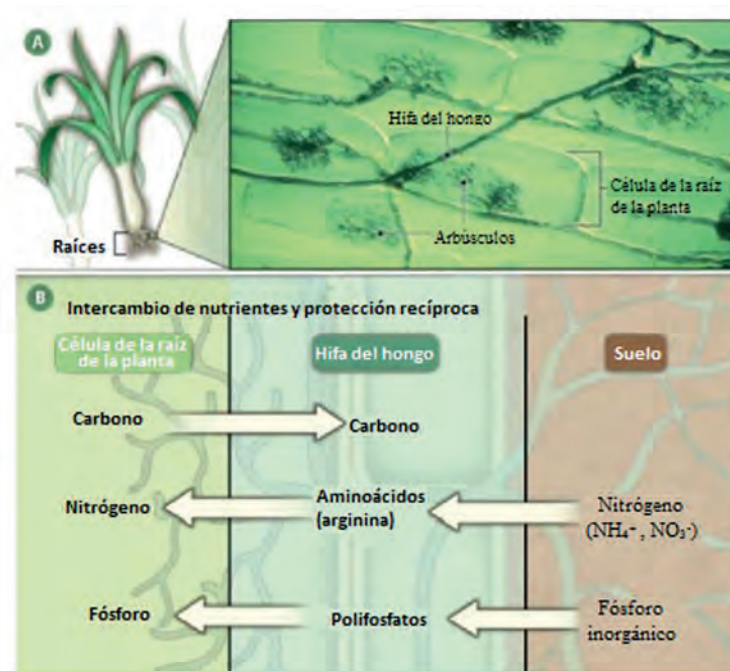
Varios aspectos agro-ecológicos pueden ser intervenidos para mejorar la fijación biológica de  $N_2$ , como la inoculación de las semillas con cepas de *Rhizobium* eficientes y el acondicionamiento del suelo para favorecer el proceso de infección. El escape de *Rhizobium* de los nódulos de las plantas senescentes, su reproducción y su sobrevivencia en el suelo, en la forma de bio-películas y de biotipos resistentes a la desecación y la hambruna (“persisters”), pueden ser asistidos facilitando la fase saprofítica de las bacterias y proveyéndoles hospederos alternativos en los campos de cultivo. El potencial de nodulación en un suelo depende además de la abundancia de depredadores como los protozoarios y los bacteriófagos, la competencia con otras bacterias del suelo, y la presencia de xenobióticos, algunos especialmente perjudiciales para las bacterias (Denison y Kiers, 2011).

La eficiencia de la fijación biológica de  $N_2$  en el campo puede ser determinada por métodos visuales que consideran la apariencia y el color de las plantas y de los nódulos, métodos moleculares que

utilizan “reporter genes” y otras herramientas genéticas, microbiológicos que miden la biomasa microbiana, las poblaciones de bacterias y depredadores y el potencial de inoculación de los suelos, y fisiológicos como la medición de la actividad enzimática y de la concentración de ureidos, trehalosa, y diversos compuestos orgánicos, muchos nitrogenados, transportados en la savia de las plantas (Wilson et al., 1995).

## Las micorrizas del frijol común y su relación con la calidad de las semillas

Las micorrizas son “órganos quiméricos” del tipo arbuscular (MAs) (Selosse y Rousset, 2011) formadas por miembros del orden Glomales, con seis géneros y 149 especies de biotrofos obligados, entre los que sobresalen *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellospora* (Selosse y Rousset, 2011). Constituyen la forma natural de las micorrizas de la gran mayoría de las plantas en el campo (Figura 12). A diferencia de *Rhizobium*, que puede adoptar un estilo de vida saprofitico en el suelo por largos periodos, los hongos micorrízicos son virtualmente simbiosntes obligados, y requieren para su nutrición de acceso permanente a las plantas hospederas.



**Figura 12.** Las micorrizas son relaciones mutualísticas formadas por varios socios que se controlan recíprocamente a través del intercambio de “recompensas” nutricionales. (A) Los hongos Glomeromycetes producen estructuras arbusculares en las células radicales donde ocurre el intercambio de nutrientes. (B) Los beneficios de la simbiosis incluye el intercambio mutuo de nutrientes y la protección contra el estrés biótico y abiótico (traducida de Selosse y Rousset, 2011).

Las micorrizas son la asociación mutualista más abundante de la biosfera y moviliza cantidades masivas de carbono, agua, fósforo y otros minerales. Los beneficios mutuos incluyen el intercambio de nutrientes y la protección contra el estrés biótico y abiótico, y el mejoramiento del ambiente del suelo a través de la secreción de globulinas, proteínas que mejoran la agregación (Selosse y

Rousset, 2011). La disponibilidad de fósforo en los suelos tropicales, particularmente en la forma  $H_2PO_4^-$  absorbida por la raíz, hace que su adquisición sea metabólicamente muy cara y su forrajeo por parte de raíces abundantes, muy necesario. Este alto costo puede ser sufragado por las micorrizas, cuyo micelio puede extenderse a través de grandes volúmenes de suelo y suministrar agua y P rápidamente a las células del interior de la raíz, “brincándose” la lenta difusión en el suelo y la absorción directa, y reduciendo los riesgos de agotamiento de los nutrientes cerca de la rizosfera (Smith et al., 2011).

Las esporas polinucleadas de los hongos MAs germinan en respuesta a señales químicas en la rizosfera, que indican la presencia de raíces hospederas (Harrison, 1999). Las primeras hifas en germinar pueden sobrevivir hasta dos semanas sin encontrar un hospedero, y al encontrarlo, inducen cambios fisiológicos que reprimen la respuesta inmunológica de las plantas. Las hifas crecen en el suelo, penetran las células a través de un opresorio y se ramifican repetidamente; el hongo se desarrolla extensivamente en el apoplasto de la raíz, entre y dentro de las células exodérmicas y corticales. Los niveles de almidón declinan y se forman estructuras que incluyen los arbusculos y vesículas ricas en lípidos, mientras que la planta responde preparando un aparato de infección que guía al hongo dentro de la célula.

Las vesículas arbusculares de corta vida se forman al final (4-5 días), donde se localizan las interfaces peri-arbusculares en las que se realiza la transferencia de nutrientes. Los arbusculos no penetran la membrana celular del hospedero, sino que la invaginan y colapsan en el interior luego del intercambio de sustratos (Kobae y Hata, 2010). El metabolismo del micelio intra-radical está especializado para la transformación de los asimilados (hexosas) suministrados por la planta, en trehalosa, quitina, glicógeno, y vesículas de TAGs exportadas a las hifas extra-radicales (Bago et al., 2000).

Las hifas del hongo se desarrollan profusamente en el suelo también, donde se convierten en un micelio extra-radical rico en glioxisomas que transforman (a través del ciclo del glioxalato) los TAGs en sustancias necesarias para el crecimiento del hongo y la producción de más esporas, como quitina y aminoácidos. Al mismo tiempo este micelio aumenta la superficie absorbente de la raíz, facilita el acceso a un mayor volumen del suelo, y mejora la adquisición de agua, fósforo, nitrógeno, zinc y otros nutrientes comúnmente deficientes en los suelos tropicales, esenciales para la producción de semillas de alta calidad (Bago et al., 2000).

Las MAs son “organismos promiscuos” en el sentido de que diferentes razas de hongos pueden interactuar simultáneamente con varios hospederos, incluso de diferentes especies de plantas. Las hifas aseptadas son poli-nucleadas, los núcleos pueden tener diferente constitución genética, y se fusionan con hifas de otras micorrizas mediante anastomosis, lo que les permite sobrevivir lejos de un hospedero potencial (Selosse y Rousset, 2011; Harrison, 1999) y transferir nutrientes “en tiempo real” (Bethlenfalvay et al., 1991; Li et al., 2009), como en los policultivos que contienen frijol en asocio con plantas no fijadoras de nitrógeno, como el maíz y el ayote.

La alta variabilidad genética de los hongos micorrízicos tiene paralelo en la diversidad de las respuestas del frijol común a la infección (Hacisalihoglu et al., 2005). Una planta de frijol puede ser micorrizada por varias razas simultáneamente, lo que hace de este mutualismo una relación morfofisiológica muy compleja, con múltiples socios, que se controlan mutuamente a través del intercambio recíproco de “recompensas” nutricionales, que además mantienen “la fidelidad” dentro de esta relación potencialmente inestable. El cambio de socios simbioses es posible también (Selosse y

Rousset, 2011). Así, la respuesta de las plantas a la colonización por hongos MA varía entre muy positiva a negativa (Verbruggen et al., 2012; Smith et al., 2011). Sin embargo, el estudio de los mecanismos responsables de las reducciones del crecimiento durante la micorrización ha sido ignorado, aunque parecen involucrar efectos de la MA sobre la absorción directa de P en la zona de los pelos radicales. Esto tiene implicaciones sobre la producción de materiales inoculantes de alta calidad.

Un ambiente biológico subterráneo bien acondicionado promueve la formación de raíces y rizosferas saludables (McCully, 1999), con capacidad para amortiguar diversos tipos de estrés, y con la microflora y la microfauna que facilitan la nodulación, la micorrización, la mineralización, el control biológico, y la fungistasis (*Azospirillum*, *Pseudomonas*), necesarias para aumentar y mantener el volumen absorbente de las raíces, y la adquisición del agua y de nutrientes por parte de los simbioses (Yadegari et al., 2010). Las raíces saludables son capaces de producir células borde (Hawes et al., 1998) más efectivas en la percepción del ambiente del suelo, y de responder a la señalización química en la rizosfera.

Las prácticas agrícolas que favorecen el desarrollo de los sistemas radicales y de relaciones simbióticas abundantes y saludables (Rondon et al., 2007) reducen el uso de agroquímicos tóxicos para los simbioses y mejoran el perfil estructural, el balance hídrico, térmico y nutricional del suelo, particularmente de los micronutrientes importantes para las simbiosis, como Molibdeno, Cobalto y Boro, y usan coberturas, recomiendan la adición de materia orgánica, el aporque, y la mínima labranza que reduce la erosión biológica, física y química.

## El efecto del estrés sobre la calidad de las semillas

La producción estable de altos rendimientos y de semillas de alta calidad bajo condiciones adversas de “estrés” es el mayor reto que enfrenta la agricultura tropical moderna. El estrés afecta la calidad de las semillas porque reduce la cantidad y la calidad de los asimilados disponibles a la cosecha (Figura 13).

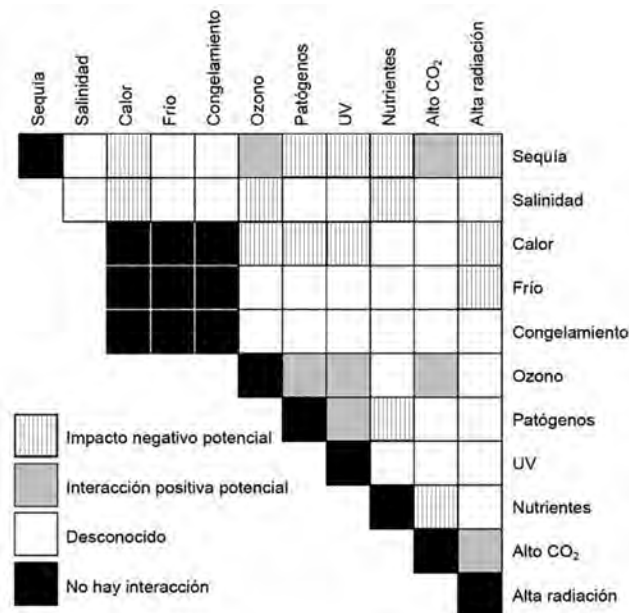


**Figura 13.** Los recursos limitados esenciales para las plantas (luz, agua, nutrientes minerales y gases como CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) deben ser distribuidos entre tres actividades complementarias pero “antagonistas”, que compiten entre sí por estos recursos: el crecimiento vegetativo, el crecimiento reproductivo y la defensa.

Los cultivos altamente productivos y las buenas prácticas de manejo son aquellas que maximizan la cantidad de luz (RAF) interceptada por el follaje, sin excesiva inversión de biomasa en crecimiento vegetativo o en defensa, en detrimento del crecimiento reproductivo. En ambientes hidropónicos controlados, es posible duplicar los rendimientos récord obtenidos en el campo, porque disminuyen las limitaciones impuestas por el agua, la temperatura, el CO<sub>2</sub> y los nutrientes. En estas condiciones, el crecimiento vegetal es limitado por la RAF. El flujo fotosintético de fotones (400-700 nm, o RAF) es el insumo primario de todos los sistemas de producción de plantas.

Todos los otros factores ambientales (agua, temperatura, nutrientes) influyen el crecimiento y el rendimiento, alterando la eficiencia en la utilización de la RAF. El estrés hídrico, por ejemplo, reprime la expansión foliar, lo cual reduce la absorción de luz y la fotosíntesis del dosel. Sería ideal alcanzar el IAF óptimo (3.5-4.5) lo antes posible, lograr la máxima intercepción de RAF en el dosel (~95 %), y mantenerlo el mayor tiempo posible hasta la cosecha. En especies herbáceas muy precoces como el frijol, el rendimiento es más dependiente de la fotosíntesis actual del cultivo durante la formación de las semillas, por lo que aún modestos aumentos en la longevidad de las hojas durante el llenado de las semillas pueden resultar en mayores producciones.

Las grandes diferencias entre los rendimientos potencial, récord y promedio del frijol común son consecuencia de diversos problemas bióticos y abióticos y sus interacciones. La tecnología agrícola aplicada en diferentes regiones productoras difiere enormemente, y la presión de las plagas y las enfermedades tiende a ser mayor dentro de los centros de origen de los cultivos. Estos estreses son a menudo múltiples y pueden ocurrir de manera simultánea (Figura 14). El conocimiento sobre los mecanismos fisiológicos del estrés y los requisitos morfo-fisiológicos para su tolerancia y adaptación es reducido, y los pronósticos meteorológicos y la capacidad de los modelos para predecir el clima y extrapolarlo a la fenología y al manejo agronómico no tienen aún la resolución y el tiempo de respuesta requeridos.



**Figura 14.** Matriz del estrés, que muestra combinaciones de estrés abiótico y biótico de importancia en la agricultura. Las diferentes interacciones están coloreadas para mostrar efectos negativos (daños o letalidad causados por la combinación de estreses) o positivos (protección cruzada debida a la combinación de estreses). El efecto varía según el nivel de los diferentes estreses, el tipo de planta y de agente biótico (traducida y adaptada de Mittler y Blumwald, 2010).



En muchos ambientes, períodos de alta nubosidad y precipitación causan excesos de agua en el suelo e hipoxia en las raíces, que coinciden con reducciones de la temperatura, la fotosíntesis actual y de la ganancia de carbono, de las cuales depende el rendimiento, especialmente si el estrés múltiple ocurre durante las fases reproductivas y el llenado de las semillas.

En los agro-ecosistemas tropicales, los principales estreses ambientales son los períodos de sequía y de anegamiento frecuentes e impredecibles, los días cortos que limitan la duración de la fotosíntesis y crean las condiciones para la inducción fotoperiódica de los cultivares sensibles (White y Laing, 1989), y los suelos ácidos con baja fertilidad y toxicidad de Fe y Al, y desbalances nutricionales de varios tipos (Fe:Mn). Las deficiencias de K y Mg reducen el desarrollo general de las plantas, el transporte vía floema y la relación raíz:copa (Cakmak et al., 1994), lo que las predispone a otros estreses provenientes del suelo. Los estreses fisiológicos combinados son la regla, y ejercen su efecto principalmente durante la floración, debido a la alta susceptibilidad de las etapas reproductivas del frijol común al estrés.

Bajo condiciones de sequía, alta radiación solar y altas temperaturas, ocurre esterilidad del estigma, pérdida de la viabilidad del polen, y aborto de los frutos jóvenes que tienen balances de carbono negativos y no logran establecerse como sumideros. En los cultivares más susceptibles al estrés hídrico, las reducciones en el rendimiento son mediadas por incrementos en los niveles de ABA, lo que causa la abscisión de los frutos jóvenes, y en menor medida la reducción del número de semillas por vaina (Lizana et al., I 1996; Wentworth et al., II\_ 2006).

El estrés hídrico es el más importante, porque se reducen el crecimiento y el área foliar, la turgencia de las plantas, la actividad estomática, la producción fotosintética, y el transporte de agua y asimilados hacia diferentes sumideros. Durante la floración del frijol, la meiosis requerida para el desarrollo del polen y de los óvulos es particularmente sensible al déficit hídrico. Una señal gametocida de tipo hormonal (i.e. ABA) podría mediar la disponibilidad de agua e iniciar el ajuste de la carga de frutos. El peso final de las semillas depende del mantenimiento del máximo contenido de agua posible y fisiológicamente necesario durante la ontogenia del fruto, aunque esta incluye un periodo de senectud y secado al final.

En condiciones de campo, la respuesta y la aclimatación del frijol común al déficit hídrico varían de acuerdo con la fenología del cultivo y el desarrollo y la severidad del estrés, pero es típica de las plantas mesófitas cultivadas. En sustratos con alta disponibilidad de agua, el potencial hídrico de las hojas ( $\psi_L$ ) al amanecer, un indicador del estatus hídrico del cultivo, es de 0 a -0,2 MPa. Este puede caer hasta -1 MPa conforme el estrés avanza, acompañado de reducciones de la conductividad estomática y de la fotosíntesis de 0,5-0,6 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y de 25 umol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente, a casi nada (Santos et al., 2009). El ajuste osmótico es muy bajo o moderado a lo sumo (Markhart, 1985). El PLC-50 del frijol, un parámetro de la arquitectura hidráulica que indica el valor de  $\psi_L$  al cual se pierde 50 % de la capacidad de transporte de agua (conductividad hidráulica), es cercano a -0,5 MPa, lo que indica una vulnerabilidad relativamente alta a la cavitación (Holste et al., 2006). Sin embargo, la capacidad para ajustar las propiedades hidráulicas del xilema (longitud, ancho y porosidad de los vasos) le otorga al frijol común plasticidad y potencial de aclimatación a diferentes ambientes hídricos.

En el frijol común, el crecimiento bajo estrés se mantiene gracias a una alta eficiencia en el uso del agua (A/E, Asimilación de Carbono por unidad de Evapotranspiración) y a la protección contra la fotoinhibición, conferida por la mayor actividad del ciclo de las xantofilas en las hojas. El resultado

es un retraso en el inicio del estrés, que se evidencia en el campo en los movimientos heliotrópicos de las hojas (Fu y Ehleringer, 1989; Lizana et al., 2006). En última instancia, la tolerancia al estrés hídrico se expresa en la capacidad de los cultivares para mantener un efectivo transporte de sacarosa y otros asimilados de alta calidad hacia las semillas, lo que permite producir un alto índice de cosecha bajo estrés (Cuellar-Ortiz et al., 2008). Desafortunadamente, la tolerancia del frijol común al estrés hídrico es un atributo poligénico de heredabilidad baja a intermedia.

El frijol se desarrolla mejor bajo temperaturas moderadas (24-28 °C), y es considerada como una especie muy susceptible al calor. Durante el estrés hídrico, el aumento concurrente de la temperatura causa reducciones en el balance diario de carbono, que conduce al ajuste de la carga de frutos y de la calidad de las semillas. En el frijol común, la adaptabilidad a un ambiente cambiante es un atributo incompatible con el alto rendimiento, por lo que la tolerancia al estrés y la estabilidad del rendimiento muestran un “trade-off” (compensación) en el frijol común. Estos compromisos deben ser considerados con la mayor seriedad conforme los efectos de las altas temperaturas se exacerbaban en el futuro cercano debido al cambio climático global.

Un ideotipo de frijol común tolerante a la sequía debe incluir una combinación de caracteres morfo-fisiológicos que involucran la copa, el hábito de crecimiento, la fenología, e incrementos en la relación raíz:tallo a través de un sistema radical dimórfico y profundo (Markhart, 1985; White y Castillo, 1988). Los cultivares precoces tienen la oportunidad de reproducirse antes de la incidencia de la sequía, de la cual escapan, pero si la sequía incide sobre el cultivo, el crecimiento indeterminado permitiría reasumirse y reanudar la reproducción cuando el estrés ha sido aliviado. La tolerancia a la sequía es una consecuencia de la plasticidad y el potencial de aclimatación de los genotipos, que permite reducir rápidamente la pérdida de agua a través de la producción de ABA y la alta capacidad de respuesta estomática.

El estrés biótico debido a las plagas, los patógenos y las interacciones con las malezas o plantas arvenses, es considerable también, y afecta la calidad de las semillas de varias maneras, nutricional, sanitaria y fisiológica, porque causa la asignación de más recursos a la defensa, en detrimento de las actividades vegetativas y reproductivas. Esto puede implicar mayores pérdidas respiratorias asociadas con las reacciones de hiper-sensibilidad y la producción de metabolitos secundarios involucrados en la defensa contra patógenos y plagas, como fitoalexinas, antocianinas, y otras sustancias fenólicas que pueden tener efectos sobre la digestibilidad y el tiempo de cocción de los granos destinados al consumo humano. El problema de las malezas es excepcional porque compiten por los mismos recursos limitados necesarios para el crecimiento del frijol, como la luz, el agua, los nutrientes minerales, y se extiende al espacio y a los polinizadores. En el trópico, las pérdidas del rendimiento debidas a las malezas varían alrededor del 13 %, pero en algunos cultivos de subsistencia las pérdidas pueden ser totales (Cobb y Reade, 2010).

Las consecuencias de diferentes tipos de estrés sobre la calidad de las semillas del frijol son muy variadas, y operan principalmente a través de cambios en la partición de los asimilados hacia diferentes sumideros y hacia diferentes fracciones químicas. Esto afecta el peso de las semillas en relación con la biomasa total (el índice de cosecha), su viabilidad, vigor, composición química, calidad nutricional y tiempo de cocción, cualidades muy importantes de la producción de grano para consumo humano. Estos efectos son mediados por procesos que pueden afectar la cubierta seminal, los cotiledones, y el eje embrionario en diversas formas y en diferentes momentos durante el desarrollo de las semillas.

## El rendimiento del frijol común: un caso de senectud monocárpica

La senectud de la planta de frijol común es monocárpica, porque los individuos reproductivos producen una única cosecha de frutos y mueren. Así, la reproducción termina el ciclo de vida. Las tasas de elongación de los frutos y del crecimiento de las semillas del frijol son muy altas, y la rápida senectud de la planta está estrechamente asociada con el llenado de las semillas que demandan la movilización masiva de carbono, nitrógeno, agua, y otros recursos minerales y orgánicos provenientes de los órganos vegetativos aéreos y de la raíz. Las semillas producen ABA y otras sustancias que actúan como hormonas de la senectud, y regulan el desmantelamiento del andamio vegetativo y la re-translocación masiva de los sustratos solubles hacia los frutos y las semillas en desarrollo. Literalmente, “las semillas cometen un matricidio”.

El crecimiento de las hojas cesa y disminuye el contenido de azúcares y proteínas solubles durante la senectud. El crecimiento de las raíces también se reprime, se reducen la absorción de agua y el contenido de minerales en la savia, y los nódulos entran en senectud, lo que causa el escape de *Rhizobium* hacia el suelo y la formación de esporas latentes en el caso de los hongos micorrízicos (Denison y Kiers, 2011). La producción de citoquininas (retardadoras del envejecimiento) decrece también. La senectud de las hojas comienza en los nudos basales y progresa hacia arriba y a lo largo de las ramas, declinan la actividad estomática y la fotosíntesis, y aparece un amarillamiento progresivo, consecuencia de la remoción del nitrógeno de la clorofila y de las proteínas responsables de la fotosíntesis.

El patrón de senectud puede ir en detrimento de la calidad de las semillas porque la duración del periodo de llenado guarda una relación directa con el peso de las mismas, y depende en gran medida de la longevidad y de la fotosíntesis actual de las hojas. Así, un incremento en la duración del área foliar (DAF), un componente clave del análisis del crecimiento de los cultivos, podría resultar en mayores rendimientos porque aumenta la duración del periodo de llenado de las semillas. Si esto se combina con un incremento del número de nudos por área cultivada, se estaría incrementando tanto la duración de la vida de las fuentes como la actividad de los sumideros.

La DAF puede aumentarse manteniendo la sanidad de las hojas y mediante fertilización foliar especializada dirigida a contrarrestar su senectud, compensando el traslado de nutrientes esenciales para la fotosíntesis como N, P, y otros micronutrientes. Algunos agroquímicos como los bio-estimulantes, los antidotos contra los herbicidas y algunos insecticidas mejoran el rendimiento y su calidad porque retrasan la senectud de las hojas y prolongan el periodo efectivo de llenado.

## Literatura citada

- Adams, MW. 1982. Plant architecture and yield breeding. Iowa State Journal of Research 56: 225-254.
- Altamirano-Hernández, J., MG. López, JA. Acosta-Gallegos, R. Farías-Rodríguez, and JJ. Peña-Cabriales. 2007. Influence of soluble sugars on seed quality in nodulated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Science 47: 1193-1205.
- Araya, R., y W. González. 1992. La historia y futuro del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tapado en Costa Rica. Boletín Técnico, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno 25(2): 107-113.
- Atkins, CA., and PMC. Smith. 2007. Translocation in legumes: assimilates, nutrients, and signaling molecules. Plant Physiology 144: 550-561.
- Bago, B., PE. Pfeffer, and Y. Shachar-Hill. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. Plant Physiology 124: 949-957.
- Bethlenfalvay, GJ., MG. Reyes-Solis, SB. Camel, and R. Ferrera-Cerrato. 1991. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal mycelium. Physiologia Plantarum 82: 423-432.
- Borch, K; Bouma, TJ; Lynch, JP. and Brown, KM. 1999. Ethylene: a regulator of root architectural responses to soil phosphorus availability. Plant, Cell and Environment 22: 425-431.
- Cakmak, I; Hengeler, C., and Marschner, H. 1994. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. Journal of Experimental Botany 45(278): 1251-1257.
- Carmi, A., and Heuer, B. 1981. The role of roots in the control of bean shoot growth. Annals of Botany 48: 519-527.
- Chaves N., y Araya C. 2014. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del frijol. Editorial Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 127 p.
- Cobb, AH., and Reade, JPH. 2010. Herbicides and plant physiology. 2 ed. Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom. 296 p.
- Cuellar-Ortiz, SM; Arrieta-Montiel, M; Acosta-Gallegos, J., and Covarrubias, A. 2008. Relationship between carbohydrate partitioning and drought resistance in common bean. Plant, Cell and Environment 31: 1399-1409.
- David HT., Smith M., Abawi G., y Kears S. (Edt.) 1994. Tapado: los sistemas de siembra con cobertura. CATIE / CIIFAD. 329 p.
- Debouck, DG., y Hidalgo, R. 1984. Morfología de la planta de frijol común. 2 ed. CIAT. Cali, Colombia. 49 p.
- Denison, RF., and Kiers, ET. 2011. Life histories of symbiotic rhizobia and mycorrhizal fungi. Current Biology 21(18): 775-785.
- Duncan, WG. 1986. Planting patterns and soybean yields. Crop Science 26:584-588.
- Egli, DB., and Bruening, WP. 2006. Fruit development and reproductive survival in soybean: position and age effects. Field Crops Research 98: 195-202.

- Ehleringer, JR. 1990. Correlations between carbon isotope discrimination and leaf conductance to water vapor in common beans. *Plant Physiology* 93: 1422-1425.
- Ella M. Brear, David A. Day y Penelope M. C. Smith. 2013. Iron: an essential micronutrient for the legume–Rhizobium symbiosis. *Fronteras in Plant Science* 4:1-15.
- Fan, M; Zhu, J; Richards, C; Brown, KM., and Lynch, JP. 2003. Physiological roles for aerenchyma in phosphorus-stressed roots. *Functional Plant Biology* 30: 493-506.
- Fernández-Luqueño, F., L. Dendooven, A. Munive, L. Corlay-Chee, LM. Serrano-Covarrubias, and D. Espinosa-Victoria. 2008. Micro-morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules undergoing senescence. *Acta Physiologiae Plantarum* 30: 545-552.
- Fraser, DE., and Bidwell, RGS. 1974. Photosynthesis and photorespiration during the ontogeny of the bean plant. *Canadian Journal of Botany* 52: 2561-2570.
- Fu, QA., and Ehleringer, JR. 1989. Heliotropic leaf movements in common beans controlled by air temperature. *Plant Physiology* 91: 1162-1167.
- Gepts, P. 2001. *Phaseolus vulgaris* (Beans). University of California, Davis, USA. 2 p.
- Hacisalihoglu, G., ER. Duke, and Longo, LM. 2005. Differential response of common bean genotypes to mycorrhizal colonization. *Florida State Horticultural Society* 118: 150-152.
- Harrison, MJ. 1999. Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiology*. 50: 361-389.
- Hawes, MC., LA. Brigham, F. Wen, HH. Woom, and Y. Zhu. 1998. Function of root border cells in plant health: Pioneers in the rhizosphere. *Annual Review of Phytopathology* 36: 311–327.
- Ho, MD., JC. Rosas, KM. Brown, and JP. Lynch. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology* 32: 737-748.
- Hocking, PJ., and JS. Pate. 1977. Mobilization of minerals to developing seeds of legumes. *Annals of Botany* 41: 1259-1278.
- Holste, EK., MJ. Jerke, and SL. Matzner. 2006. Long-term acclimatization of hydraulic properties, xylem conduit size, wall strength and cavitation resistance in *Phaseolus vulgaris* in response to different environmental effects. *Plant, Cell and Environment* 29: 836-843.
- Kiers, ET., M. Duhamel, Y. Beesetty, MJA. ensah, O. Franken, E. Verbruggen, CR. Fellbaum, GA. Kowalchuk, MM. Hart, A. Bago, TM. Palmer, SA. West, P. Vandenkoornhuyse, J. Jansa, and H. Bücking. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science* 333: 880-882.
- Kobae, Y., and as. Hata. 2010. Dynamics of periarbuscular membranes visualized with a fluorescent phosphate transporter in arbuscular mycorrhizal roots of rice. *Plant Cell Physiology* 51(3): 341-353.
- Laing, DR., PJ. Kretchmer, S. Suluaga, and Jones, PG. 1983. Field bean. In: Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute. Laguna: Philippines. p. 227-248.
- Layzell, DB., and TA. LaRue. 1982. Modeling C and N transport to developing soybean fruits. *Plant Physiology* 70: 1290-1298.

- Li, Y., W. Ran, R. Zhang, S. Sun, and G. Xu. 2009. Facilitated legume nodulation, phosphate uptake and nitrogen transfer by arbuscular inoculation in an upland rice and mung bean intercropping system. *Plant Soil* 315: 285-296.
- Lizana, C., M. Wentworth, JP. Martínez, D. Villegas, R. Meneses, EH. Murchie, C. Pastenes, B. Lercari, P. Vernieri, P. Horton, and Pinto, M. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 57(3): 685-697.
- Lynch, JP., and km. Brown. 2001. Topsoil foraging – an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237: 225-237.
- Manrique, A., K. Manrique, and J. Nakahodo. 1993. Yield and biological nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Peru. *Plant and Soil* 152: 87-91.
- Markhart, AH. 1985. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiology* 77: 113-117.
- Martínez-Romero, E. 2003. Diversity of *Rhizobium-Phaseolus vulgaris* symbiosis: overview and perspectives. *Plant and Soil* 252: 11-23.
- McCully, ME. 1999. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 695–718.
- Mittler, R., and E. Blumwald. 2010. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annual Review of Plant Biology* 61: 443–462.
- Monge, J.M., R. Araya, y W. González. 1987. Evaluación del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo el sistema “ tapado” en San José, Costa Rica. *Boletín técnico, Estación Experimental Fabio Baudrit M.* 20 (3): 1-11.
- Muasya, RM., WJM. Lommen, And PC. Struik. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop. I. Seed growth and maturity. *Field Crops Research* 75: 63-78.
- Muasya, RM., WJM. Lommen, and PC. Struik. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop. II. Seed viability and vigour. *Field Crops Research* 75: 79-89.
- Norman, MJT., CJ. Pearson, and PGE. Searle. 1984. *The ecology of tropical food crops.* Cambridge University Press. Great Britain. 369 p.
- O’Brian, MR., and CP. Vance. 2007. Legume Biology: Sequence to Seeds. *Plant Physiology* 144: 537.
- Oldroyd, GED., and JA. Downie. 2008. Coordinating nodule morphogenesis with rhizobial infection in legumes. *Annual Review of Plant Biology* 59: 519-546.
- Oriani, MA., and FM. Lara. 2000. Oviposition preference of *Bemisia tabaci* (Genn.) Biotype B (Homoptera: Aleyrodidae) for bean genotypes containing arcelin in the seeds. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 29(3): 565-572.
- Pastenes, C., P. Pimentel, and J. Lillo. 2005. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. *Journal of Experimental Botany* 56(411): 425-433.

- Pate, JS., PJ. Sharkey, and CA. Atkins. 1977. Nutrition of a developing legume fruit. *Plant Physiology* 59: 506-510.
- Paul, EA., and RMN. Kucey. 1981. Carbon flow in plant microbial associations. *Science* 213: 473-474.
- Peña-Valdivia, CB., and ML. Ortega-Delgado. 1991. Non-structural carbohydrate partitioning in *Phaseolus vulgaris* after vegetative growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 55(4): 563-577.
- Ramírez, I., y R. Araya. 1986. Evaluación de cultivares y densidades de siembra en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo el sistema tapado en Valverde Vega. *Boletín Técnico. Estación Experimental Fabio Baudrit*, 19 (2): 19.
- Rondon, MA., J. Lehmann, j. Ramírez, and M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 699-708.
- Sale, PJM. 1975. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input. IV. Field chamber measurements on french beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and cabbages (*Brassica oleracea* L.). *Plant Physiology* 2: 461-470.
- Samac, DA., and MA. Graham. 2007. Recent advances in legume-microbe interactions: recognition, defense response, and symbiosis from a genomic perspective. *Plant Physiology* 144: 582-587.
- Santos, MG., RV. Ribeiro, EC. Machado, and C. Pimentel. 2009. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. *Biologia Plantarum* 53(2): 229-236.
- Seemann, JR., TD. Sharkey, J. Wang, and CB. Osmond. 1987. Environmental effects on photosynthesis, nitrogen-use efficiency, and metabolite pools in leaves of sun and shade plants. *Plant Physiology* 84: 796-802.
- Selosse, MA., and F. Rousset. 2011. The plant fungal marketplace. *Science* 333: 828-829.
- Serraj, R., TR. Sinclair, and LC. Purcell. 1999. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. *Journal of Experimental Botany* 50 (331): 143-155.
- Sharkey, PJ., and JS. Pate. 1976. Translocation from leaves to fruits of a legume, studied by a phloem bleeding technique: diurnal changes and effects of continuous darkness. *Planta* 128: 63-72.
- Smith, SE., I. Jakobsen, M. Gronlun, and FA. Smith. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology* 156: 1050-1057.
- Snapp, S., R. Koide, and J. Lynch. 1995. Exploitation of localized phosphorus-patches by common bean roots. *Plant and Soil* 177: 211-218.
- Sprent, JI., and EK. James. 2007. Legume evolution: where do nodules and mycorrhizas fit in? *Plant Physiology* 144: 575-581.
- Verbruggen, E., MGA. van der Heijden, MC. Rillig, and ET. Kiers. 2012. Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. *New Phytologist* 197: 1104-1109.

- Walsh, KB., JK. Vessey, and DB. Layzell. 1987. Carbohydrate supply and N<sub>2</sub> fixation in soybean. *Plant Physiology* 85: 137-144.
- Wang, TL., C. Domoney, CL. Hedley, R. Casey, and MA. Grusak. 2003. Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *Plant Physiology* 131: 886-891.
- Weber, H., B. Ljudmilla, and U. Wobus. 2005. Molecular physiology of legume seed development. *Annual Review of Plant Biology* 56: 253-279.
- Weitbrecht, K., K. Müller, and G. Leubner-Metzger. 2011. First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany* 62(10): 3289-3309.
- Wentworth, M., EH. Murchie, JE. Gray, D. Villegas, C. Pastenes, M. Pinto, and P. Horton. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. II. Acclimation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 57(3): 699-709.
- Westermann, DT., LK. Porter, and WA. O'Deen. 1985. Nitrogen partitioning and mobilization patterns in bean plants. *Crop Science* 25: 225-229.
- White, JW., and JA. Castillo. 1988. Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. *Crop Science* 29(2): 360-362.
- White, JW., and DR. Laing. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Field Crops Research* 22: 113-128.
- Wilson, KJ., MB. Peoples, and RA. Jefferson. 1995. New techniques for studying competition by rhizobia and for assessing nitrogen fixation in the field. *Plant and Soil* 174: 241-253.
- Yadegari, M., HA Rahmani, G. Noormohammadi, and A. Ayneband. 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Nutrition* 33: 1733-1743.
- Zhu, XG., SP Long, and DR. Ort. 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annual Review of Plant Biology* 61: 235-261.



## CAPÍTULO 3

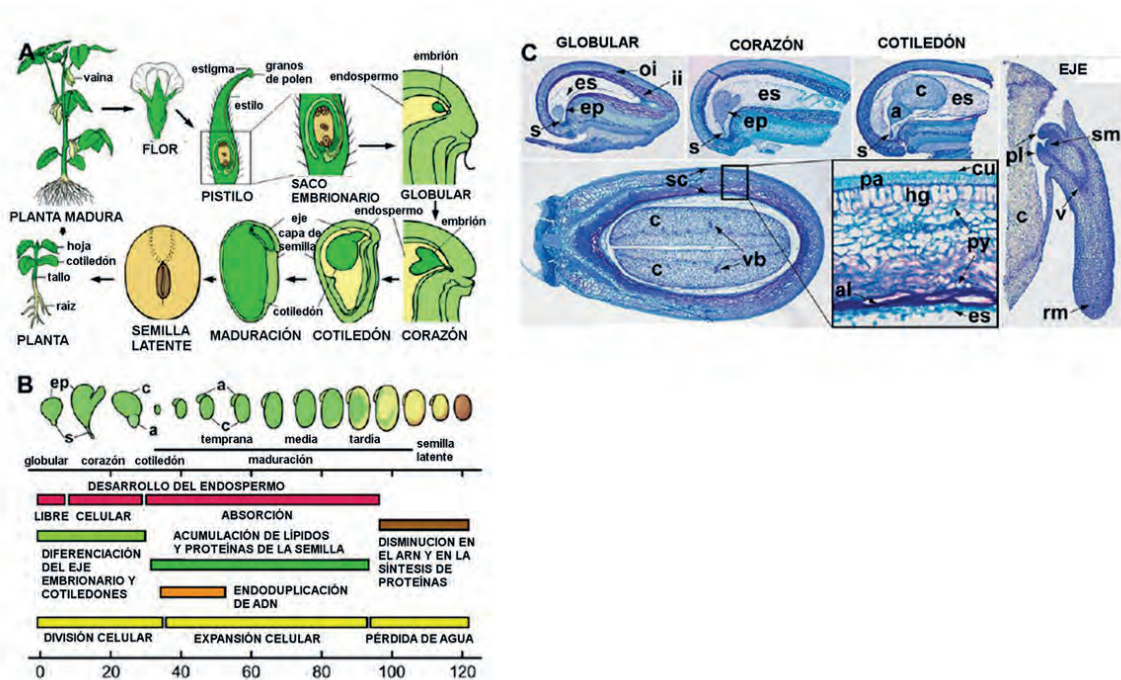
# MORFOGÉNESIS, COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS SEMILLAS DEL FRIJOL COMÚN

*Marco Vinicio Gutiérrez Soto*

### Introducción

Un adecuado proceso de producción del frijol en el campo concluye exitosamente con la obtención de semillas de alta calidad. Los atributos genéticos y fisiológicos que definen la alta calidad se encuentran concentrados en las semillas, a las que podemos considerar como estructuras reproductivas “con alto valor agregado”, tanto desde el punto de vista biológico como técnico y económico. En este capítulo se describe la morfología, la estructura, y la composición química de las semillas del frijol común. La formación de estas es un proceso morfogenético complejo, por lo que se proveen los elementos estructurales y funcionales necesarios para comprender la determinación de los componentes de la calidad y la pérdida del vigor y la viabilidad. El conocimiento de la morfología, la estructura y la composición química es esencial para comprender los mecanismos por los cuales diversos factores afectan su calidad. Estos incluyen componentes genéticos, físicos, fisiológicos, ambientales y fitosanitarios, como la pureza física y varietal, la germinación, el vigor, el deterioro y la sanidad, entre otros. En este capítulo se destaca la función de diferentes partes de las semillas, algunas con diferente composición genética, en el control de la dormancia y de la germinación, y se mencionan las técnicas disponibles para la modificación del valor nutricional y la producción de alimentos bio-fortificados.

Existe una gran diversidad en el tamaño de las semillas y la morfología del embrión entre las tribus de las leguminosas, especialmente en la proporción relativa del embrión propiamente dicho y el suspensorio que lo mantiene unido a la pared del saco embrionario. La formación de las semillas de frijol requiere de la actividad de un amplio espectro de genes, algunos de los cuales se expresan exclusivamente en estados específicos (desarrollo del endospermo, latencia, o germinación). Estos complejos genéticos incluyen: a) genes activos en compartimentos de diferente origen genético (cubierta seminal, embrión, endospermo) y en diferentes estados del desarrollo, b) genes involucrados en la especificación del destino celular, la diferenciación, y la morfogénesis en las semillas en desarrollo, c) genes involucrados en las funciones de los diferentes compartimentos y de las redes reguladoras dentro de cada compartimento, d) genes que controlan la maduración, la dormancia y la desecación, y e) genes que interconectan las redes génicas anteriores para formar la semilla.



**Figura 1.** Desarrollo de las semillas de las leguminosas de grano, tomando como ejemplo la soja (traducida de Le et al., 2007). **A**, ciclo de vida de una leguminosa anual. **B**, representación esquemática del desarrollo de una semilla (modificado de Goldberg et al., 1989). **C**, secciones transversales de semillas en diferentes estados de desarrollo (globular, corazón, cotiledón, semillas jóvenes, y detalles de la cubierta seminal). El embrión corresponde a una semilla joven.

## La formación de las semillas

Una cosecha de frijoles está típicamente compuesta por 15-25 % frutos y 85-75 % semillas. Las vainas miden unos 12 cm y pueden contener hasta 6-7 semillas. Las semillas tienen un alto costo metabólico de construcción, y están constituidas por 50-70 % carbohidratos, 16-30 % proteínas, 1-3 % lípidos, 7 % lignina, 4 % ácidos orgánicos y 3-5 % minerales, más un % promedio de humedad a la cosecha de 11 % (Penning de Vries et al., 1983). Las semillas maduras del frijol común están compuestas por la testa (9 %), el hilum, el micropilo, la rafe y el eje embrionario (1 %), el cual está formado por la plúmula, dos hojas primarias, el hipocótilo, dos cotiledones (90 %), y la radícula (Debouck e Hidalgo, 1984). El peso a 14 % humedad varía entre 18 y 22 g por cien semillas en las variedades mesoamericanas liberadas a nivel comercial. Cada semilla pesa en promedio 1,5 g, y su desarrollo se completa en unos 30 días. El valor nutricional de las semillas del frijol común se deriva de su alto contenido de proteínas, minerales (Fe, P, Zn, Mg, K), vitaminas (tiamina, ácido fólico), y fibra, y su complementariedad con cereales de alto contenido de carbohidratos disponibles como el maíz y el arroz.

Bajo condiciones favorables, el desarrollo de la semilla de frijol ocurre de acuerdo a un patrón sigmoideo dentro del cual se pueden identificar varios eventos clave (Figura 2). Cada saco embrionario contiene un óvulo, una célula madre del endospermo, dos células sinérgidas y tres antípodas. Durante la fertilización, dos tubos polínicos liberan dos núcleos espermáticos (doble fertilización), uno de los cuales fertiliza el óvulo, y el otro se fusiona con las dos células madres del endospermo

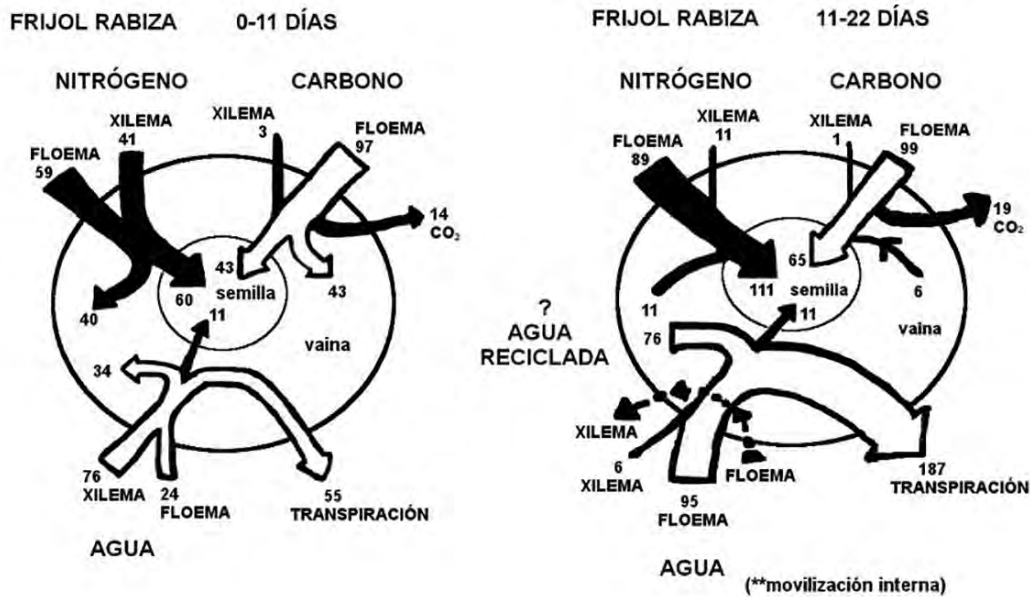
para producir un tejido 3N a través de rápidas divisiones celulares y endo-reduplicación. Las fases tempranas definen el crecimiento expansivo y el establecimiento de los frutos, la cubierta seminal, y la diferenciación del eje embrionario y sus cotiledones. Predomina la división celular. El cese de las divisiones celulares marca el inicio de la deposición de las reservas nutritivas, las mayores demandas nutricionales, la máxima síntesis de almidón y proteínas, y la endo-reduplicación del ADN (Figura 2).



**Figura 2.** Embriogénesis de las leguminosas (traducida de Dure, 1975).

Esta etapa de acumulación de reservas determina la asignación de las moléculas precursoras a las diferentes fracciones químicas, y se acumulan los lípidos y las proteínas de almacenamiento. A la madurez fisiológica y a un alto contenido de humedad (>55 %), se alcanza el máximo peso seco, viabilidad y vigor (Muasya et al., I y II\_2002). La mejor calidad se obtiene cuando el contenido de humedad ha permanecido alto el mayor tiempo posible durante la formación de las semillas (Sanhewe y Ellis I y II\_1996).

El desarrollo de los frutos del frijol y otras leguminosas de grano con rápido crecimiento es sustentado por un intenso intercambio de energía y materiales a través de los conductos vasculares y la pared del fruto. Una primera fase expansiva permite la expansión del fruto, y se invierten cantidades considerables de C, N y agua en su construcción y crecimiento (Figura 3). La mayoría del C es suplido vía floema, mientras que el xilema y el floema comparten importancia en el suministro de N, y el xilema provee la mayor parte del agua estructural y transpirada. Una proporción importante del C y N es dedicada a la formación de las semillas. En una segunda fase, el floema suple la mayor parte de C, N y agua, y ocurre un traslado sustancial de materiales del fruto y de las hojas hacia las semillas. La inactividad del xilema en este estado causa el desarrollo de balances hídricos negativos en los frutos, cuya deshidratación conduce finalmente a la desecación de las semillas.



**Figura 3.** Resumen del abastecimiento y distribución de agua, azúcares y compuestos nitrogenados (aminoácidos) en dos etapas del desarrollo de los frutos y las semillas del frijol rabiza (*Vigna unguiculata*). Los balances de nitrógeno, carbono y agua de los 0 a los 11 y de los 11 a 22 días están expresados en términos de 100 unidades (traducida de Pate et al, 1977).

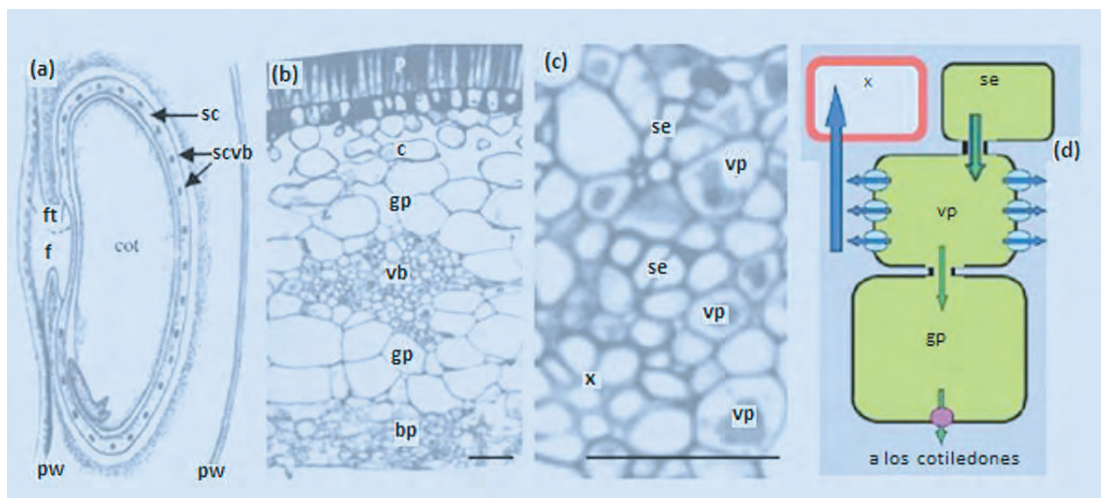
Para llegar a esto, el embrión atraviesa una secuencia de eventos del desarrollo que lo transforman de una estructura globular a otra en forma de corazón al momento de la diferenciación de los cotiledones, y culmina con la maduración y la dormancia en algunas especies de leguminosas. El desarrollo del endospermo se extiende durante toda la ontogenia de las semillas, y pasa desde un estado inicial celular libre, rico en nutrientes, hasta su re-absorción completa por parte de los cotiledones. En las semillas de frijol, el endospermo es un tejido con reservas alimenticias transitorias, que amortigua las fluctuaciones en el suministro de recursos y finalmente cede el espacio para el crecimiento del embrión. Esta homeostasis es necesaria para la embriogénesis (Melkus et al., 2009).

El costo de construcción de las semillas de frijol se puede expresar como el “valor de producción”, determinado por el costo energético de la síntesis de los compuestos orgánicos nitrogenados, carbohidratos, lípidos, fenoles y ligninas, y ácidos orgánicos contenidos en las semillas, que es de 0,62, 0,85, 0,35, 0,48 y 1,1 gramos/gramo de glucosa, respectivamente (Penning de Vries et al., 1983; Sinclair y deWit, 1975). Debido a las diferencias en su composición química, las semillas oleaginosas (palma aceitera, maní, soya) tienen el más alto costo de producción entre las especies cultivadas (apenas 0,4-0,5 gramos de semilla/gramo de glucosa invertida), mientras que los cereales (arroz) tienen un costo menor (0,75) porque almacenan mayormente carbohidratos; las leguminosas con alto contenido proteico como el frijol común ocupan un lugar intermedio (0,5-0,6 gramos de semilla/gramo de glucosa invertida).

En las leguminosas de grano, las semillas están unidas alternadamente a dos haces vasculares mayores que penetran el fruto. Un solo haz vascular distribuye asimilados al interior de las semillas, penetrando la cubierta seminal en la calaza, a través del funículo. Los nutrientes son importados al interior del fruto en flujo en masa por el floema. La comunicación hidráulica vía xilema es muy

reducida y virtualmente se interrumpe en la base del suspensor, lo que prepara la semilla para la desecación. Los asimilados son rápidamente distribuidos de manera circunferencial alrededor de la cubierta seminal, seguido por una distribución más radial sobre la superficie completa de los cotiledones, a través de abundantes plasmodesmos y una venación reticular (Patrick y Offler, 2001; Melkus et al., 2009; Thorne, 1985; Zhou et al., 2007).

Los embriones están simplásticamente aislados de las cubiertas seminales, es decir, no existen conexiones vasculares directas entre la planta y las semillas, por lo que los nutrientes son secretados por células de transferencia maternas desde las cubiertas al “espacio libre”, o aploplasto, entre los cotiledones y la cubierta seminal, desde donde son absorbidos por los cotiledones por medio de células de transferencia de origen embrionario, ricas en transportadores de azúcares y aminoácidos (Figura 4). Este espacio libre no ocupa un gran volumen de la semilla, pero contiene altas cantidades de azúcares, minerales (K) y agua, y es importante en el mantenimiento hidrostático del fruto, en lo que también participa un sistema muy dinámico de acuaporinas (como las LEA, Patrick y Offler, 2001; Melkus et al., 2009; Thorne, 1985; Zhou et al., 2007).



**Figura 4.** Morfología y anatomía de las semillas del frijol común en desarrollo, y un modelo que ilustra las vías celulares para el transporte de agua y nutrientes en las cubiertas seminales (sc). (a) representación de la morfología de una semilla en desarrollo mostrando las interrelaciones entre varios órganos (cot: cotiledón, f: funículo, ft: traza funicular) y los sistemas vasculares asociados (scvb), encerrados por la pared del fruto (pw, el dibujo no está a escala). (b) micrografía de luz del corte transversal de una cubierta de una semilla en desarrollo. (c) detalles de los haces vasculares mostrados en (b). (d) modelo de los flujos de agua y nutrientes en la cubierta seminal. Las barras son 34 um. Otros símbolos: bp, parénquima ramificado, c: colénquima, gp: parénquima, h: hipodermis, p: empalizada, se: elemento criboso del floema, vb: haz vascular, vp: parénquima vascular, x: elementos del xilema. Flujos de agua y de nutrientes: Acuaporinas y transportadores de nutrientes (Adaptada de Patrick y Offler, 2001; Melkus et al., 2009; Thorne, 1985; Zhou et al., 2007).

El color de las semillas es determinado por el contenido relativo de diferentes tipos de flavonoides en la cubierta seminal (antocianinas, antocianidinas, taninos hidrolizados y condensados, quercitinas y kempferoles, y otros compuestos fenólicos), y se define a partir de R8 al iniciarse la defoliación de las plantas. Las astragalinas son los pigmentos más abundantes en los genotipos amarillos y rojos, mientras que las antocianidinas glucosidadas predominan en los genotipos negros. Estos

flavonoides están contenidos en las vacuolas y son potentes antioxidantes que pueden afectar adversamente la digestión y la nutrición. Las proantocianidinas pueden presentarse como polímeros que se enlazan por oxidación a las paredes celulares durante la maduración de las semillas, produciéndose cubiertas seminales más gruesas, que ofrecen mayor resistencia mecánica y reducida permeabilidad al agua, los gases y las hormonas.

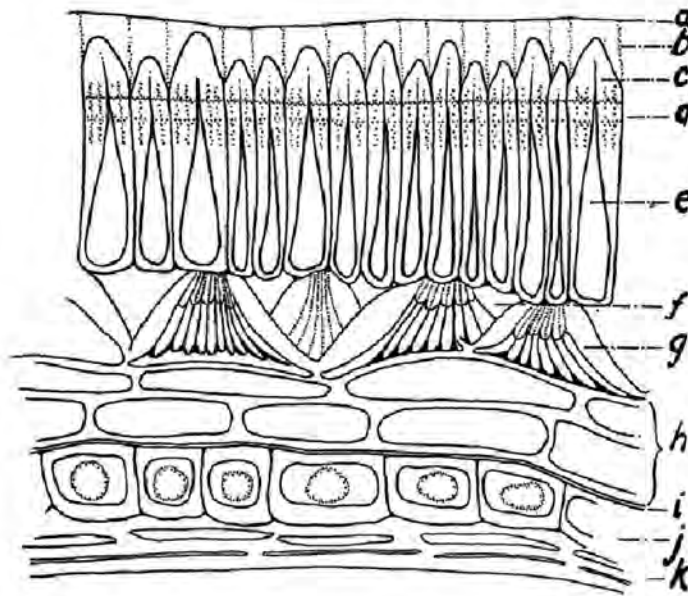
Como efectivos antioxidantes, los flavonoides pueden reducir la disponibilidad de oxígeno, el metabolismo y la degradación oxidativa del ABA, necesaria para la post-maduración y la germinación. Los flavonoides de la testa afectan la sensibilidad a la luz y la temperatura de las semillas, confieren defensas contra los microbios y los herbívoros, y están implicados con el tiempo de cocción de los granos y con otras propiedades organolépticas y culinarias de los cultivares. La dormancia puede estar relacionada con el color de las semillas, y las más oscuras en general muestran más dormancia (Finkelstein et al., 2008).

La madurez fisiológica es seguida por una fase de desecación durante la cual decrece la síntesis de ácidos nucleicos y de proteínas, se desactiva la maquinaria biosintética, se acumulan ABA y otras sustancias inhibitoras, y ocurre la inyección de la dormancia en las semillas de muchas especies de leguminosas. Esta fase de desecación incluye la síntesis de hidrofilinas y otras proteínas chaperonas de protección contra el estrés, y concluye con la formación de la cubierta seminal y la coloración final de la semilla.

El vigor de las semillas sigue siendo afectado por las condiciones ambientales en el campo porque depende del contenido de reservas alimenticias, y del tiempo transcurrido entre la madurez fisiológica y la cosecha, el daño mecánico, los tratamientos químicos, las condiciones de temperatura y humedad durante el secado y el ambiente de almacenamiento (Ospina y Acosta, 1980).

En el frijol común y otras leguminosas domesticadas, la dormancia de las semillas ha sido removida de la mayoría de los cultivares modernos por selección genética. La dormancia puede afectar la longevidad, el dinamismo del banco de semillas del suelo y el escalonamiento de la germinación, los atributos culinarios como el tiempo de cocción y las propiedades del caldo, y el almacenamiento de las semillas. La remoción de la latencia ha sido la causa principal del “viviparismo” (capacidad para germinar en la vaina) de muchas semillas de plantas cultivadas (Weitbrecht et al., 2011) como el frijol y el maíz.

En las semillas de algunas leguminosas, la dormancia es el resultado de un compleja y dinámica maquinaria molecular y fisiológica que comienza con la inyección de la dormancia durante la deshidratación, y a lo largo de la cual el control hormonal por parte de promotores (giberelinas) y represores (ABA), y la deposición de metabolitos secundarios en la cubierta seminal desempeñan importantes funciones. La dormancia mediada por la cubierta seminal (Figura 5) tiene que ver mayormente con la impermeabilidad de las testas, y no con su dureza (Rolston, 1978). Las cubiertas duras como las de las nueces deben su rigidez y carácter pétreo a la presencia de abundante esclerénquima y a su lignificación extensiva; estas cubiertas pueden ser debilitadas, quebradas o agrietadas para inducir la germinación. En muchas leguminosas, por el contrario, la dormancia de las semillas, definida como su incapacidad para germinar cuando se proveen todos los requisitos ambientales (incluida el agua) para que esto ocurra, es debida a cubiertas impermeables.



**Figura 5.** Sección radial de la cubierta seminal de una semilla de leguminosa de grano, donde a: cutícula, b: capa sub-cuticular, c: capas de células Malpighianas, d: línea de luz, e: lumen de las células Malpighianas, f: espacios intercelulares, g: osteoesclereidas, h: capa nutritiva, i: espacio apoplasto entre la cubierta seminal y los cotiledones, j: aleurona, k: capas internas del endospermo. X1613 (traducida de Hamly, 1932; Rolston, 1978).

La impermeabilidad de la testa es un tipo de latencia física exógena, que puede o no combinarse con otros mecanismos de latencia (Amen, 1968). Esta propiedad es conferida por una cutícula cerosa depositada sobre una sub-cutícula suberizada, bajo la cual se localizan macroesclereidas lignificadas que contienen taninos. Una segunda capa de osteoesclereidas puede desarrollarse antes de la interface con el endospermo, junto con abundantes espacios aéreos. Estas cubiertas pueden ser debilitadas por el calentamiento, el fuego, la escarificación química, o simplemente perforando la cutícula cerosa que impide la imbibición.

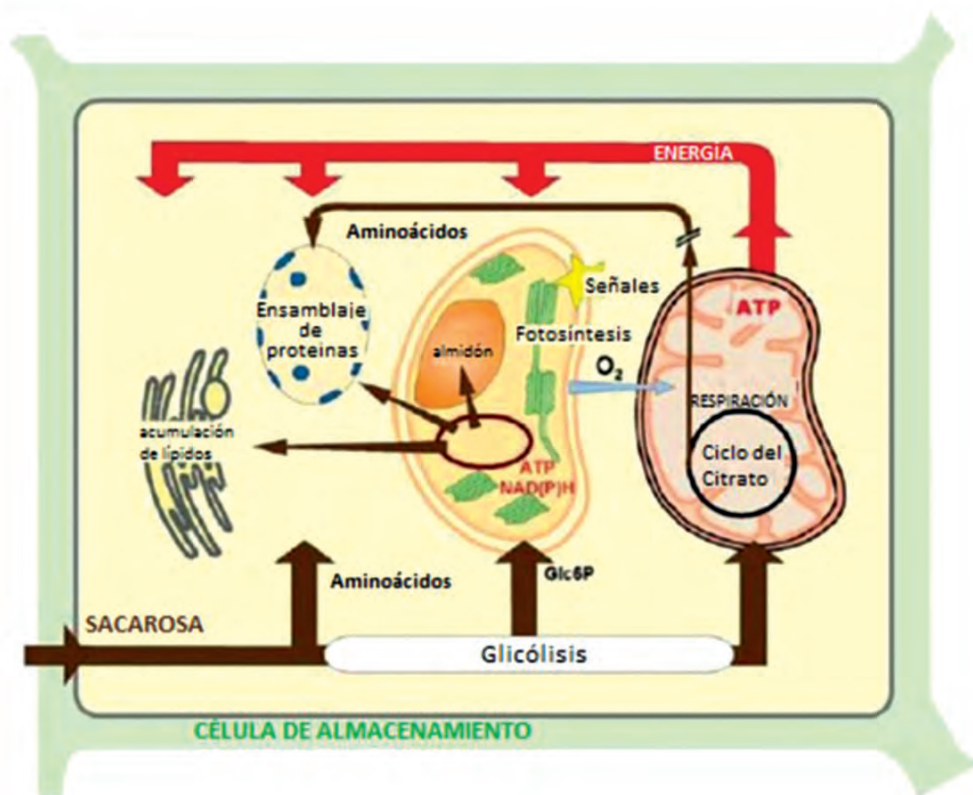
## Contribución de la fotosíntesis del fruto a la formación de las semillas

Dentro del proceso de la nutrición de las semillas, además de la absorción de agua, minerales y solutos a través del floema y el xilema, la asimilación fotosintética de carbono por parte de los frutos puede ser de gran importancia (Layzell y LaRue, 1982), aunque esto depende de la edad del fruto, la radiación solar, y la concentración de  $\text{CO}_2$  (Harvey et al., 1976). En el caso del frijol común, la concentración de la enzima carboxilante RuBisCO en las vainas es solo 40 % de la medida en las hojas, y muestra una fijación de carbono correspondiente al 59 % por unidad de área de la medida en las hojas. Pareciera entonces que el fruto no puede ser considerado una fuente importante de carbono para las semillas en desarrollo, pero si se considera su contribución en la re-fijación del  $\text{CO}_2$  respirado por las semillas, el aporte al peso seco de la cosecha es de hasta un 26 % (Crookston et al., 1974).

La observación de que el espacio aéreo del fruto del lupino contiene altos niveles de  $\text{CO}_2$  (1,2-1,6 % por volumen) sugiere que la pared del fruto actúa como una efectiva barrera contra la salida del

CO<sub>2</sub> respirado por las semillas, permitiendo su reutilización fotosintética, por lo que puede ser de gran valor agronómico seleccionar cultivares cuyos frutos permanezcan verdes e iluminados por el mayor tiempo posible durante el desarrollo de las semillas (Pate et al., 1977). En coincidencia con los resultados obtenidos con otras especies de leguminosas, la fotosíntesis del fruto del lupino es responsable de la re-fijación del 50 %-70 % del CO<sub>2</sub> respirado por las semillas.

En los frutos en desarrollo de la soya se registran tasas de fotosíntesis netas inferiores en seis o siete veces a las de las hojas, que incluso llegan a ser negativas conforme aumenta la edad del fruto. Aunque la eficiencia fotoquímica se mantiene constante, la resistencia a la difusión del CO<sub>2</sub> en los frutos se incrementa en 2-3 veces en comparación con la de las hojas (Sambo et al, 1977). En las vainas de la arveja, a partir de los 30 días y hasta su madurez el fruto experimenta pérdidas netas de CO<sub>2</sub> incluso durante el día. Es posible detectar actividad de la PEP carboxilasa en todos los tejidos del fruto, funcionando a niveles semejantes a los observados en hojas de maíz (Hedley et al., 1975). Por lo tanto, parece recomendable considerar el metabolismo de las semillas como foto-heterótrofo (Figura 6), es decir, estas son sumideros muy fuertes para los que la vascularización, la nutrición y la señalización provistas por la planta madre son ingredientes esenciales para la producción de semillas de alta calidad.



**Figura 6.** Metabolismo foto-heterótrofo de las semillas. El flujo de carbono es indicado por flechas café y se distinguen la importación de sacarosa, la glucólisis y el ciclo de Krebs, que facilitan la síntesis de proteínas y lípidos. Los plastidios foto-heterótrofos importan azúcares pero son fotosintéticamente activos y producen oxígeno (azul) y señales derivadas de la actividad fotosintética (amarillo). El ATP (flechas rojas) es suplido a través de la respiración mitocondrial (traducida de Weber et al., 2005).



## **Control agronómico de la calidad de las semillas del frijol común**

El manejo agronómico del frijol común orientado hacia la producción de semillas de alta calidad debe procurar la tolerancia a una amplia gama de condiciones de estrés que ocurren de múltiples formas en el campo. Incluye el estrés de naturaleza biótica y abiótica y sus interacciones, como la predisposición y la competencia, y debe considerarlas en relación con el suelo y la atmósfera. Esta tolerancia debe contemplar el mantenimiento de un alto índice de cosecha en agro-ecosistemas con suelos de baja fertilidad y productividad, con deficiencias de N y P, acidez y excesos de Fe, Mn y Al, y sujetos a déficits y excesos de agua frecuentes e impredecibles durante las sequías y los temporales, por ejemplo.

Las prácticas agronómicas dirigidas a mejorar la producción de semillas de alta calidad pueden ser formuladas a través de la modificación genética realizada por el fito-mejoramiento tradicional y la biotecnología moderna, la selección a favor del índice y la duración del área foliar, la protección contra el estrés durante el periodo efectivo de llenado, el mantenimiento de condiciones de humedad y temperatura óptimas alrededor de las semillas, la fertilización foliar acompañada por el riego, el alivio del estrés, y aspectos post-cosecha que mejoren las condiciones del almacenamiento temporal en el campo. El raleo selectivo de sumideros como frutos y ramas, y la cosecha adelantada de las vainas más precoces puede cambiar los patrones de partición de biomasa. La fertilización del perfil del cultivo con CO<sub>2</sub> mediante adiciones bien programadas de materia orgánica con alta actividad microbiana, y hasta la infusión de soluciones nutritivas que mejoran el establecimiento de los frutos y el desarrollo de las semillas, son prácticas promisorias también.

El diseño de ideotipos aptos para el cultivo bajo estrés debe contemplar la arquitectura de la raíz y la resistencia al volcamiento (“lodging”), una causa frecuente de las pérdidas de la cosecha y de la contaminación de las semillas con inóculos del suelo. Estos serían ideotipos de rendimiento estable, aptos para diferentes ambientes y sistemas de producción. Es importante abordar también la selección de cultivares con altas tasas fotosintéticas combinadas con un alto índice de cosecha (ver el caso de la soya, Jin et al., 2010). Otras prácticas hortícolas post-cosecha dirigidas a mejorar las condiciones de almacenamiento de las semillas, y a controlar la imbibición para restaurar el vigor y mejorar su germinación, se describen en los siguientes capítulos.

## Literatura citada

- Amen, RD. 1968. A model of seed dormancy. *The Botanical Review* 34(1): 1-31.
- Crookston, RK., J. O'Toole, and JL. Ozbun. 1974. Characterization of the bean pod as a photosynthetic organ. *Crop Science* 14: 708-712.
- Debouck, DG., y R. Hidalgo. 1984. *Morfología de la planta de frijol común*. 2 ed. CIAT. Cali, Colombia. 49 p.
- Dure, LS. 1975. Seed formation. *Annual Review of Plant Physiology* 26: 259-278.
- Finkelstein, R., W. Reeves, and T. Ariizumi, C. Steber. 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology* 59: 387-415.
- Goldberg, RB., SJ. Barker, and Perez-Grau, L. 1989. Regulation of gene expression during plant embryogenesis. *Cell* 56: 149-160.
- Hamly, DH. 1932. Softening of the seeds of *Melilotus alba*. *The Botanical Gazette* 93(4): 345-375.
- Harvey, YDM., CL. Hedley, and RJ. Keely. 1976. Photosynthetic and respiratory studies during pod and seed development in *Pisum sativum* L. *Annals of Botany* 40(5): 993-1001.
- Hedley, CL., DM. Harvey, and RJ. Keely. 1975. Role of PEP carboxylase during seed development in *Pisum sativum*. *Nature* 258:352-354.
- Jin, J., X. Liu, G. Wang, L. Mi, Z. Shen, X. Chen, and SJ. Herbert. 2010. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Research* 115: 116-123.
- Layzell, DB., and TA. LaRue. 1982. Modeling C and N transport to developing soybean fruits. *Plant Physiology* 70: 1290-1298.
- Le, BH., JA. Wagmaister, T. Kawashima, AQ. Bui, JJ. Harada, and RB. Goldberg. 2007. Using genomics to study legume seed development. *Plant Physiology* 144: 562-574.
- Melkus, G., H. Rolletschek, R. Radchuk, J. Fuchs, T. Ruten, U. Wobus, T. Altmann, P. Jakob, and L. Borisjuk. 2009. The metabolic role of the legume endosperm: a noninvasive imaging study. *Plant Physiology* 151: 1139-1154.
- Muasya, RM., WJM. Lommen, and PC. Struik. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop. I. Seed growth and maturity. *Field Crops Research* 75: 63-78.
- Muasya, RM., WJM. Lommen, and PC. Struik. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop. II. Seed viability and vigour. *Field Crops Research* 75: 79-89.
- Ospina, H., y Acosta, A. 1980. *Semilla de frijol de buena calidad*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 37 p.
- Pate, JS., PJ. Sharkey, and CA. Atkins. 1977. Nutrition of a developing legume fruit. *Plant Physiology* 59: 506-510.
- Patrick, JW., Offler, CE. 2001. Compartmentation of transport and transfer events in developing seeds. *Journal of Experimental Botany* 52(356): 551-564.

- Penning de Vries, FW., HH. Van Laar, and MC. Chardon. 1983. Bioenergetics of growth of seeds, fruits and storage organs. In: Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute. Laguna. Philippines. p. 37-60.
- Rolston, MP. 1978. Water impermeable seed dormancy. *The Botanical Review* 44(3): 365-396.
- Sambo, EY., J. Moorby, and FL. Milthorpe. 1977. Photosynthesis and respiration of developing soybean pods. *Australian Journal of Plant Physiology* 4: 713–721.
- Sanhewe, AJ., and Ellis, RH. 1996. Seed development and maturation in *Phaseolus vulgaris*. I. Ability to germinate and to tolerate desiccation. *Journal of Experimental Botany* 47(300): 949-958.
- Sanhewe, AJ., and RH. Ellis. 1996. Seed development and maturation in *Phaseolus vulgaris*. II. Post-harvest longevity in air-dry storage. *Journal of Experimental Botany* 47(300): 959-965.
- Sinclair, TR., and CT. deWit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* 189: 565-567.
- Thorne, JH. 1985. Phloem unloading of C and N assimilates in developing seeds. *Annual Review of Plant Physiology* 36: 317-343.
- Weber, H., L. Borisjuk, and U. Wobus. 2005. Molecular physiology of legume seed development. *Annual Review of Plant Biology* 56: 253-279.
- Weitbrecht, K., K. Müller, and G. Leubner-Metzger. 2011. First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany* 62(10): 3289-3309.
- Zhou, Y., N. Setz, C. Niemietz, H. Qu, CE. Offler, SD. Tyerman, and JW. Patrick. 2007. Aquaporins and unloading of phloem-imported water in coats of developing bean seeds. *Plant, Cell and Environment* 30: 1566-1577.

## CAPÍTULO 4

### EL DETERIORO Y LA PÉRDIDA DEL VIGOR Y LA VIABILIDAD DE LAS SEMILLAS POSIBILIDADES DE REVITALIZACIÓN

*Marco Vinicio Gutiérrez Soto*

#### **Introducción**

El deterioro de las semillas conduce a la pérdida del vigor y de la viabilidad (Harrison y Perry, 1976). En post-cosecha, casi cualquier combinación de tiempo, temperatura y contenido de humedad que lleve a la pérdida del vigor durante su almacenamiento, conduce a una cantidad predecible de cambios genéticos con efectos acumulativos, que resultan finalmente en la pérdida de la viabilidad.

La reducción en el rango de condiciones ambientales bajo las cuales la germinación puede ocurrir es un indicador temprano de la pérdida del vigor. Además, el deterioro puede estar acompañado por la emisión de sustancias volátiles producidas en las semillas secas a través de la fermentación alcohólica y de reacciones no enzimáticas (reacciones de Amadori y Maillard) (Murthy y Sun, 2000; Colville et al., 2012). Algunos de estos cambios son reversibles si las semillas son hidro-tratadas y desecadas nuevamente de forma controlada, estratégicamente durante el almacenamiento.

A nivel celular, la pérdida del vigor en las semillas se ha atribuido a una desorganización del ADN nuclear provocada por nucleasas endógenas (Ching, 1973), asociada con reducciones en la actividad de muchas enzimas (Ching, 1973, Anderson, 1973), el deterioro de la integridad de las membranas (Abdul-Baki y Baker, 1973), y aumentos en la incidencia de anormalidades cromosómicas (Gunthardt, 1953; Abdul-Baki y Baker, 1973; Bewley y Black, 1982). Diversas observaciones en células de la radícula de los embriones de muchas especies (Bewley y Black, 1982; Roberts, 1981) indican que el deterioro celular en las semillas incluye la desorganización de la estructura del plasmalema y su separación de la pared celular por contracción, la fragmentación del retículo endoplasmático, la separación de los ribosomas y su dispersión al azar en el citoplasma, dictiosomas ausentes o indistinguibles, desintegración de los proplastidios y de las mitocondrias, condensación de la cromatina en el núcleo y fusión de gotas lipídicas en cuerpos más grandes.

Estos cambios provocan múltiples y profundas alteraciones del metabolismo, y si tales lesiones ocurren en un número crítico de células embrionarias, la germinación y el crecimiento son retrasados o anulados del todo (Banerjee, 1978; Bewley y Black, 1982). Finalmente, la ruptura de los lisosomas causa la liberación de enzimas hidrolíticas (ribonucleasas, fosfatasa ácida) que acaban con la integridad celular (Bewley y Black, 1982).

#### **Cambios en las membranas durante el deterioro**

Las membranas sufren reducciones en la cantidad de fosfolípidos y la hidrólisis de importantes componentes que no pueden ser reemplazados o reparados, a causa principalmente de una deficiente actividad de los mecanismos biosintéticos responsables. El aumento en la permeabilidad de las

membranas causa la pérdida de iones y electrolitos (Abdul-Baki y Baker, 1973), y descensos de la actividad fosforilativa de las mitocondrias (Anderson, 1973). En las semillas con poco vigor y con los mecanismos de reparación ausentes o deficientes, estos cambios degenerativos en las membranas resultan en una destrucción casi completa de las organelas (Bewley y Black, 1982).

Las oxidaciones enzimáticas espontáneas pueden generar el radical libre superóxido, el cual es citotóxico y capaz de inducir considerable destrucción, particularmente de los grandes polímeros celulares (Bewley y Black, 1982). La formación de radicales libres resulta en la inactivación progresiva y la desnaturalización de enzimas y otras proteínas y en la pérdida de la integridad de los ácidos nucleicos. Las membranas se tornan más permeables y se inhiben la síntesis enzimática y la división y la elongación celulares (Bewley y Black, 1982; Harrison y Perry, 1976; Roberts, 1981). Los síntomas de poco crecimiento, crecimiento anormal, o ausencia total del mismo, manifestaciones típicas de la pérdida del vigor, pueden resultar de cambios fundamentales en las membranas y otras macromoléculas (Bewley y Black, 1982).

## **Cambios en las mitocondrias**

Una característica común de los embriones de varias especies (centeno, arroz, maíz) incapaces de germinar es la apariencia hinchada y desorganizada de las mitocondrias, las cuales colapsan completamente durante la imbibición, resultando en su completa lisis después de dos o tres días, al tiempo que se registra una extensiva desorganización del citoplasma (Bewley y Black, 1982). La pérdida de las mitocondrias causa la incapacidad de realizar la respiración aeróbica y de proveer los sustratos energéticos requeridos para impulsar la germinación y el crecimiento.

## **Alteraciones cromosómicas**

En embriones de arveja, frijol rabiza, cebada y otras especies, se ha observado un incremento en las aberraciones cromosómicas conforme aumenta el periodo de almacenamiento, lo cual culmina en la ruptura de los cromosomas durante las divisiones celulares que ocurren en el embrión al inicio de la germinación (Gunthardt, 1953). En lotes de semillas deterioradas, la acumulación de lesiones cromosómicas es finalmente letal (Bewley y Black, 1982). Se supone que las semillas pueden acumular cambios cromosómicos durante el deterioro que conducen a la pérdida del vigor, y cuando la frecuencia de células afectadas excede un valor crítico, el embrión no puede germinar. Las lesiones citoplasmáticas se acumulan al mismo tiempo, y ya sea independientemente o en interacción con las lesiones nucleares pueden constituir los cambios fatales. La activación de ADN-nucleasas durante el proceso de deterioro produce moléculas de ADN parcialmente degradadas, a lo que se suma la acumulación de compuestos químicos mutagénicos producidos durante el deterioro (Bewley y Black, 1982).

## **Síntesis de ARN y proteínas**

En centeno, arveja y soya la pérdida del vigor y de la capacidad para sintetizar proteínas es consecuencia de un desacoplamiento en el mecanismo de transcripción y de los daños acumulados en el ADN nuclear. La síntesis de proteínas es también desacoplada a nivel de traducción (Bewley y Black, 1982) lo que sugiere que la reducida actividad biosintética es resultado de modificaciones estructurales en los ribosomas y de la pérdida de una o más especies de ARN.

## **Cambios en las reservas alimenticias y pérdida del vigor**

La pérdida de la viabilidad no es usualmente causada por cambios dramáticos en las reservas nutritivas, pero sus pérdidas reducen el vigor de las semillas (Bewley y Black, 1982). A menudo, la hidrólisis de los compuestos nutritivos bajo condiciones de almacenamiento desfavorables es una consecuencia de ataques fungosos (Harrington, 1973), y de la activación de enzimas endógenas (fitasas, lipasas, proteasas, etc.) (Bewley y Black, 1982). Las consecuencias comunes del deterioro de las reservas son la hidrólisis de los lípidos, la fusión de cuerpos lipídicos, la producción de ácidos grasos libres que afectan el funcionamiento de las mitocondrias y la síntesis de enzimas clave durante la germinación, como la alfa amilasa (Anderson, 1973; Bewley y Black, 1982).

La fermentación alcohólica y otras reacciones no enzimáticas pueden operar en las semillas secas, causando la hidrólisis de los azúcares (reacción de Maillard) y la peroxidación de los lípidos (reacción de Amadori), produciendo una variedad de especies de oxígeno reactivas (“ROS”) y de compuestos secundarios, algunos tóxicos como el acetaldehído y el metanol, y otros volátiles (alcoholes y aldehídos), cuya producción y abundancia podrían ser utilizados como indicadores (“biomarkers”) del deterioro. Los productos de las reacciones de Maillard y Amadori pueden contribuir al deterioro de las semillas mediante la alteración química de las proteínas, reprimiendo la actividad metabólica y la capacidad para reducir la producción de radicales libres, así como la reparación de los daños metabólicos durante la germinación (Murthy y Sun, 2000; Colville et al., 2012).

## **Posibilidades de reparación y revitalización de las semillas**

Si consideramos la semilla como un órgano portador de un legado genético que se transmite en el tiempo y en el espacio, como un núcleo de energía o como una estructura portadora de un embrión en estado quiescente, con toda la maquinaria química para fabricar células y tejidos, es de suma importancia considerar su vitalidad y su posible comportamiento durante el almacenamiento.

El mantenimiento de la viabilidad y el vigor de las semillas en almacenamiento, particularmente bajo las condiciones tropicales de alta temperatura y humedad, es un problema que no se comprende completamente. Las semillas envejecen naturalmente y su exposición a condiciones de almacenamiento desfavorables conduce al deterioro, cuyos síntomas aparecen en forma gradual. Las primeras manifestaciones de deterioro son la germinación retardada, lento desarrollo de las plántulas, incapacidad para germinar en condiciones desfavorables, mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos y aparición de plántulas anormales. En estados avanzados del deterioro, se notan reducciones en la longitud de la radícula e incapacidad de los cotiledones para emerger a través de la cubierta seminal, hasta llegar a un estado en el que no se observa crecimiento de ninguna estructura, o lo que es lo mismo para fines prácticos, la semilla se clasifica como muerta (Delouche et al., 1962).

El deterioro de la semilla se inicia en el ápice de la radícula y progresa hasta el mesocótilo (Banerjee (1978). La región del mesocótilo incluye la raíz y el vástago, que constituyen órganos y tejidos clave en la determinación de su viabilidad. La prueba del tetrazol (Delouche et al., 1962) puede ser fácilmente implementada para diagnosticar la viabilidad, y se basa en la tinción de una muestra de semillas con una sustancia indicadora de oxidación-reducción, capaz de detectar la viabilidad interfiriendo con las deshidrogenasas respiratorias, reduciéndose y formando una formazana, un precipitado insoluble de color rojo, en los tejidos vivos y metabólicamente activos. Comparando

contra patrones de tinción que consideran la importancia de las partes de la semilla, especialmente la integridad del embrión, se clasifican estas como viables y capaces de producir una plántula en el campo, o no.

## Posibilidades de revertir el deterioro de las semillas

Las técnicas hortícolas del osmo-condicionamiento están fundamentadas en la activación de los mecanismos sub-celulares de reparación naturales, a través de la imbibición controlada de las semillas. La imbibición es un tipo particular de difusión del agua, que ocurre según la magnitud de las diferencias (gradientes hidrostáticos) de potencial hídrico entre las semillas y su sustrato (Bradford, 1984; Rajjou et al., 2012). La imbibición como proceso puramente físico ocurre en semillas vivas y muertas por igual, por lo que no puede utilizarse como indicador de la viabilidad. La cinética de la imbibición puede reflejar daños y fuga de electrolitos, y puede utilizarse como un indicador del tiempo de cocción de los granos para consumo humano.

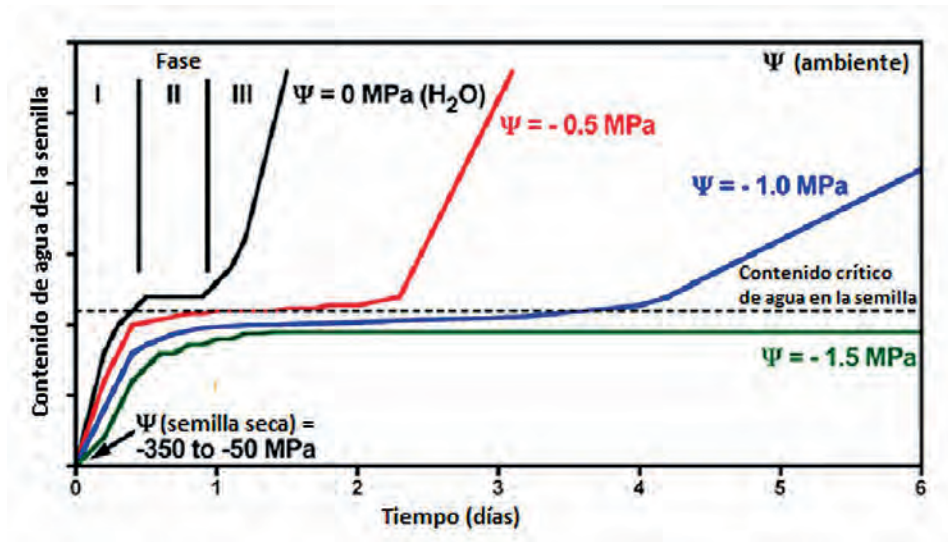
La dinámica de la absorción del agua por imbibición en semillas secas colocadas en un sustrato húmedo muestra varias fases a lo largo de las cuales cambia la importancia de las diferentes partes de la semilla (Figura 1).



**Figura 1.** Dinámica de la imbibición de las semillas. Se distinguen tres fases, la I es osmótica y conduce a la rápida hidratación y la activación del metabolismo, la fase II ocurre a un contenido alto y estable de agua y conduce a la digestión de las reservas y su re-translocación, y en la fase III emerge la radícula, se aceleran la división celular y el crecimiento expansivo, y la absorción de agua se incrementa incesantemente (adaptada de Bewley y Black, 1982).

La imbibición de las semillas se puede controlar mediante el uso de agentes osmóticos que permiten realizar el osmo-condicionamiento (“priming” en inglés) (Figura 2). Entre los solutos más usados figuran el poli-etilenglicol (PEG) y el  $\text{KNO}_3$ , empleados en el osmo-acondicionamiento de semillas de hortalizas como zanahoria, repollo, lechuga, apio, cebolla, chila, tomate, melón y maíz dulce entre otros, por periodos de 1-2 semanas (Bradford, 1984) a temperaturas moderadas (15-20 °C). Este procedimiento permite su hidratación sin alcanzar los contenidos de agua míni-

mos requeridos para desencadenar irreversiblemente la germinación. Esta imbibición controlada permite la activación transitoria del metabolismo y de los mecanismos de reparación naturales, lográndose su revitalización y la recuperación del vigor. El “priming” es un componente de varios tratamientos de acondicionamiento que se pueden aplicar a las semillas, como el peletizado y el hidro-acondicionamiento.



**Figura 2.** Control osmótico de la imbibición (Fases I, II y III) y del contenido de agua de semillas colocadas en sustratos con varios niveles de disponibilidad de agua, medido como el potencial hídrico ( $\psi$ , MPa), y como una función del tiempo de exposición a los tratamientos de osmo-condicionamiento. La germinación ocurre si el contenido de agua supera el nivel crítico (adaptada de Bewley y Black, 1982).

La revitalización se logra mediante varios medios como el control de la duración y las condiciones de la imbibición (como la pre-germinación del arroz), la hidratación a través de la mezcla de las semillas con polímeros hidrofílicos, la hidro-siembra, y la pre-germinación para inducir tolerancia a la desecación (Benech-Arnold y Sánchez, 2004). Estas prácticas pueden resultar en reducciones del tiempo requerido para la germinación y en aumentos del número de semillas germinadas y de la calidad de las plántulas. Además pueden ser más importantes en ambientes semi-áridos y áridos donde la germinación bajo estrés es la regla, y donde se han implementado métodos participativos en cultivos como maíz, arroz y garbanzos (Harris et al., 1999).

Este acondicionamiento revitalizador también puede tomar la forma de una inducción sistémica de resistencia (“vacunación”), a través de la exposición de las semillas en formación, a señales y estímulos que activan los mecanismos de respuesta al estrés, y mejoran la resistencia al estrés abiótico y biótico causado por patógenos y herbívoros en las futuras generaciones de plantas (Rasmann et al., 2012; Slaughter et al., 2012).



## Literatura citada

- Abdul-Baki, AA., JE. Baker. 1973. Are changes in cellular organelles or membranes related to vigor loss in seeds? *Seed Science and Technology* 1: 89-125.
- Anderson, JD. 1973. Metabolic changes associated with senescence. *Seed Science and Technology* 1: 401-416.
- Banerjee, SK. 1978. Observations on the initiation of seed deterioration and its localization in barley and onion. *Seed Science and Technology* 6: 1025-1028.
- Benech-Arnold, RL., and RA. Sánchez. 2004. *Handbook of seed physiology: applications to agriculture*. Food Products Press. New York. 480 p.
- Bewley, JD., and M. Black. 1982. *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*. Vol 2. Viability, dormancy and environmental control. Berlin, Springer-Verlag. p. 1-55.
- Bradford, KJ. 1984. Seed priming: Techniques to speed seed germination. *Proceedings of the Oregon Horticultural Society* 25: 227-233.
- Ching, TM. 1973. Biochemical aspects of seed vigor. *Seed Science and Technology* 1:73-88.
- Colville, L., EL. Bradley, HW. Lloyd, L. Pritchard, Castle, and I. Kranner. 2012. Volatile fingerprints of seeds of four species indicate the involvement of alcoholic fermentation, lipid peroxidation, and Maillard reactions in seed deterioration during ageing and desiccation stress. *Journal of Experimental Botany* 63(18): 6519-6530.
- Delouche, JC., TW. Still, M. Raspet, and M. Lienhard. 1962. The tetrazolium test for seed viability. Mississippi State University, Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin 51: 1-63.
- Gunthardt, H., L. Smith, ME. Haferkamp, and RA. Nilan. 1953. Studies on aged seeds. II. Relation of age of seeds to cytogenetic effects. *Agronomy Journal* 45: 438-441.
- Harrington, JF. 1973. Biochemical basis of seed longevity. *Seed Science and Technology* 1:453-461.
- Harris, D., A. Joshi, PA. Khan, P. Gothkar, and PS. Sodhi. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture* 35: 15-29.
- Harrison, JG., and DA. Perry. 1976. Studies on the mechanisms of barley seed deterioration. *Annals of Applied Biology* 84:57-62.
- Murthy, UMN., and WQ. Sun. 2000. Protein modification by Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany* 51(348): 1221-1228.
- Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job, and D. Job. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63(3): 1-27.
- Rasmann, S., M. De Vos, CL. Casteel, D. Tian, R. Halitschke, JY. Sun, AA. Agrawal, GW. Felton, and G. Jander, 2012. Herbivory in the previous generation primes plants for enhanced insect resistance. *Plant Physiology* 158: 854-863.
- Roberts, EH. 1981. Physiology on ageing and its application to drying and storage. *Seed Science and Technology* 9:359-372.
- Slaughter, A., X. Daniel, V. Flors, E. Luna, B. Hohn, and B. Mauch-Mani. 2012. Descendants of primed *Arabidopsis* plants exhibit resistance to biotic stress. *Plant Physiology* 158: 835-843.

## CAPÍTULO 5

### PATÓGENOS QUE REDUCEN LA CALIDAD DE LA SEMILLA

*Carlos Manuel Araya Fernández*

#### **Enfermedades de las plantas**

Todas las plantas, ya sea cultivadas o creciendo en condiciones silvestres, están expuestas al ataque de agentes que les causan alteraciones en sus funciones fisiológicas, y que finalmente resultan en anomalías del crecimiento y el desarrollo. El ataque de esos organismos patogénicos puede producir síntomas en toda la planta o partes de la misma, hasta causar la muerte de tejidos, órganos o de la planta completa. En términos de producción agrícola, los efectos pueden ser devastadores y destruir el cultivo, o bien alcanzar severidad intermedia pero con reducción significativa en el rendimiento y su calidad.

Una planta sana lleva a cabo todas sus funciones vitales: absorbe agua y nutrientes del suelo; los transporta a todas las partes aéreas; realiza fotosíntesis y los productos de ésta son transportados, metabolizados o almacenados; y produce frutos y semillas para su reproducción y supervivencia. Cuando uno o varios de esos procesos son alterados por un organismo o por un factor ambiental adverso, las actividades de las células son afectadas, reducidas o inhibidas, lo que puede conducir a la muerte de la célula, y se dice que la planta está enferma. Al principio ese daño es muy reducido, casi invisible y afecta a pocas células, pero luego se extiende a más células y tejidos, lo que genera los síntomas, evidentes a simple vista. Así, las enfermedades en las plantas se pueden conceptualizar como respuestas visibles de los tejidos al ataque de un organismo o a los efectos de un factor ambiental, que resultan en cambios adversos en la forma, función o integridad de la planta, que puede llevar a una disfunción parcial o muerte de la planta o sus partes, que tiene consecuencias en el rendimiento del cultivo y, por ende, en el ámbito económico.

Las enfermedades de origen biótico son causadas por organismos patogénicos vivos tales como hongos, bacterias, virus, micoplasmas o plantas parásitas, lo que significa que el término enfermedad excluye a otros organismos como insectos o malas hierbas. Las enfermedades de las plantas son causadas, principalmente, por los microorganismos citados cuando actúan como agentes fitopatógenos (*phytos* = planta, *pathos* = enfermedad).

El primer paso para que ocurra una enfermedad es el contacto entre el patógeno y la planta susceptible; cuando este contacto se da y siguen días secos, soleados o con temperatura extrema, la enfermedad no se presenta. Esto significa que, además del patógeno y la planta, las condiciones ambientales favorables son esenciales para el desarrollo de la enfermedad. Esta condición es conocida como el triángulo de la enfermedad, donde se presentan simultáneamente un hospedante susceptible, un patógeno virulento, y condiciones ambientales favorables. Solo cuando están presentes los tres componentes puede desarrollarse la enfermedad.

En el campo se pueden presentar factores que predisponen a los cultivos para el desarrollo violento de las enfermedades. Por ejemplo en frijol (hospedante), son factores predisponentes: las altas temperaturas, la falta de luz, la siembra de variedades susceptibles a patógenos, el uso de altas den-

sidades de siembra, o de semilla contaminada. En relación con el patógeno, la presencia de razas, el ciclo de reproducción sexual, o mecanismos eficientes de supervivencia, favorecen el desarrollo de la enfermedad. Las siembras en condiciones de tiempo lluvioso, la alta humedad relativa, o siembras en suelos arcillosos mal drenados, son condiciones que predisponen a las plantas para la infección de patógenos.

## **Transmisión de patógenos por la semilla**

Las semillas constituyen el órgano de reproducción de las plantas encargado de preservar las especies y, como en el caso del frijol, también representa una importante fuente de proteína y otros elementos nutritivos en la dieta de las personas. Sin embargo, las semillas pueden actuar como medios eficientes de transmisión, diseminación y supervivencia de algunos microorganismos causantes de enfermedades en el frijol.

Aproximadamente el 50 % de los patógenos que atacan al frijol son transmitidos por semilla. Al sembrar una semilla infectada, se inicia un foco del patógeno desde el cual la enfermedad se disemina a otras plantas vecinas, que bajo condiciones ambientales favorables puede atacar al resto de la población y causar pérdidas en el rendimiento. Cuando el patógeno afecta desde el momento de la germinación, causa pérdida de plantas y reducción importante de su población, lo que incide en la densidad de siembra, el índice de área foliar y, finalmente en el rendimiento. Además, algunos de esos patógenos tienen la capacidad de sobrevivir en los residuos de cosecha, por lo que la semilla infectada que se sembró también sirvió para contaminar el suelo o introducir la enfermedad en una región o país, hasta entonces libre de ese patógeno.

La incidencia y severidad de las enfermedades transmitidas por semilla dependen de factores tales como de la cantidad de semillas infectadas ( % de infección del lote de semilla), la eficiencia de transmisión del patógeno, la etapa de desarrollo de la planta en que es susceptible, y la capacidad de diseminación de la enfermedad en el campo. Los programas de producción de semilla de alta calidad que abastecen a los productores de una organización o a toda una región, deben centrarse en la probabilidad de infección, las condiciones ambientales durante el cultivo y, especialmente, al momento de la cosecha, y contar con métodos precisos y confiables para detectar los niveles mínimos de infección.

## **Infección de la semilla**

La infección de la semilla de frijol por patógenos ocurre en el campo durante la formación y llenado de las vainas. Si la infección se da durante la formación de la vaina, limita su formación y causa vaneos, mientras que si la infección se da en estado de llenado de vaina la infección puede llegar hasta la semilla y el patógeno se aloja en los tejidos del cotiledón o, más internamente, en los tejidos del eje embrionario.

La mayoría de los hongos que se transmiten en el interior de la semilla se localizan en la cubierta, no obstante, dependiendo de la enfermedad y del momento de infección, el hongo puede avanzar e infectar los cotiledones o el embrión. Infecciones durante el estado de formación de vaina afectan la formación del grano o estos son deformes. Infecciones más tardías, en estado de llenado de vaina, afectan la coloración del tegumento y el patógeno puede alcanzar los cotiledones.

Una vez que el patógeno está dentro los tejidos puede causar decoloración, malformación o arru-

gamiento de la semilla. Estos síntomas se hacen más evidentes en variedades con tegumento claro, no así en variedades de color oscuro, lo que aumenta el riesgo de introducir un patógeno a la plantación por la siembra de variedades de color oscuro, que no han pasado por los filtros estrictos de la certificación de la semilla.

La siembra de semilla infectada es una forma de introducir nuevos patógenos a un terreno o de aumentar la población de un patógeno en un campo donde ya se encontraba. Otra consecuencia de gran importancia es la reducción significativa de la germinación, ya que algunos patógenos no permiten completar la emergencia de la plántula y la población de plantas (densidad de siembra) se ve reducida, o bien hay emergencia pero las plántulas no tienen el vigor del resto de la población. Las plantas de menor vigor producen semilla de baja calidad que inciden en el rendimiento y posteriormente en la tolerancia a factores abióticos limitantes.

### Importancia en la diseminación de patógenos

Una vez que la semilla es sembrada y entra en contacto con la humedad del suelo, la imbibición inicia el proceso de germinación. En semilla infectada se activa el patógeno simultáneamente e infecta los nuevos tejidos de la plántula, que continúan su desarrollo y la infección puede avanzar hacia los tejidos aéreos. Dependiendo del patógeno, esta planta infectada puede actuar como fuente de inóculo para otras plantas, así que en condiciones ambientales favorables la enfermedad puede desarrollarse a niveles epifitóticos (epidémicos). Esto puede ocurrir tanto en un campo vecino como en plantaciones a miles de kilómetros, donde utilizaron semilla contaminada del mismo lote.

La semilla es responsable de la diseminación de patógenos a larga distancia por la facilidad con que puede ser llevada, especialmente por los técnicos en su búsqueda de nuevos materiales con características agronómicas superiores, sin respetar la legislación de ingreso de materiales de origen vegetal en las aduanas internacionales. Los agricultores también pueden diseminar o agravar la severidad de una enfermedad cuando intercambian semillas para sus siembras, sin que medie algún sistema de control de sanidad.

### Importancia para la supervivencia de patógenos

La supervivencia del patógeno depende de la humedad en la semilla al momento de la cosecha: mayor al 20 % o cosecha en condiciones de lluvia favorece la infección de patógenos y su posterior supervivencia durante el tiempo de almacenamiento. Los hongos sobreviven más tiempo que las bacterias. Se ha determinado que *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causal de la antracnosis del frijol, puede sobrevivir hasta por 15 años en semillas almacenadas. Los virus transmitidos por semillas son los agentes patógenos que han mostrado menor capacidad de supervivencia, con un máximo de cuatro años. Las condiciones deficientes de almacenamiento también inciden en la presencia de hongos en la semilla, tales como locales húmedos, que favorecen el crecimiento de hongos propios portados en la testa de la semilla.

### Enfermedades causadas por hongos

Para su análisis particular, los patógenos del frijol transmitidos por semilla se han ordenado de acuerdo con el momento de ataque y su agente causal: primero pudriciones radicales, luego enfer-

medades de las partes aéreas de plantas adultas. En relación con los patógenos, se discuten primero las enfermedades causadas por hongos, luego las causadas por bacterias y, finalmente, los principales virus.

## Pudriciones radicales

Las pudriciones radicales son enfermedades que pueden ser causadas por hongos habitantes del suelo como *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotium* o *Macrophomina*. Cuando el ataque de estos hongos se produce en los primeros días después de la siembra se reduce la emergencia de las plántulas. Ataques más tardíos causan pudrición de las raíces. En plantas infectadas se observa disminución de la tasa de crecimiento, marchitez y amarillamiento del follaje (Figura 1).



**Figura 1.** Síntomas del ataque de hongos del suelo en plantas de frijol.

Independientemente del patógeno responsable de la infección, las plantas muestran síntomas similares debidos al daño causado al sistema radical, que altera la absorción de agua y nutrientes, lo que repercute en la turgencia, la tasa de crecimiento y el vigor de la planta.

### ***Rhizoctonia solani***

*R. solani* es un patógeno de las raíces de un amplio espectro de hospedantes, que se encuentra ampliamente distribuido en todos los suelos agrícolas de las regiones tropicales. Produce pudrición de raíz, volcamiento de plántulas, lesiones rojizas en la base del tallo y pudrición de vainas. Los síntomas se inician en plántulas recién germinadas, donde se observa necrosis en las primeras raicillas, si el ataque es posterior a esta etapa se presentan estrías rojizas sobre la raíz y la base del tallo, que conforme progresan se convierten en lesiones hundidas de forma semiovalada de tono rojizo. Estas

lesiones hundidas pueden coalescer (unirse) y formar lesiones más grandes en el tallo o la raíz cerca de la superficie del suelo. En el campo las plantas se observan amarillentas, pequeñas y tienden a volcarse fácilmente.

Las vainas cercanas o en contacto con el suelo pueden infectarse, lo que causa lesiones extensivas, necróticas, de aspecto acuoso. Pequeños esclerocios café claro pueden producirse sobre estas lesiones. El hongo puede ser transmitido en la semilla (Figura 2)



**Figura 2.** Prueba de sanidad de un lote de semilla infectado por *Rhizoctonia solani*.

*Rhizoctonia solani* sobrevive en residuos de cosecha en forma de micelio o como esclerocios, estos últimos cumplen también el papel de estructuras de resistencia. Estas dos formas constituyen el inóculo primario en el campo, que pueden alcanzar las raíces o el tallo por medio del salpique de la lluvia. La severidad de la enfermedad es mayor en las primeras tres semanas del cultivo, especialmente bajo condiciones de alta humedad en el suelo y clima fresco (18 – 24 °C).

Las principales prácticas para el manejo y combate de la pudrición de las raíces causada por *R. solani* se enfocan a reducir el salpique de lluvia hacia las partes aéreas de la planta, por medio de coberturas y lomillos altos. Se recomienda además el tratamiento de la semilla con fungicidas.

### ***Fusarium***

La pudrición de raíces por *Fusarium* son causadas por dos especies de este hongo: *F. solani* f.sp. *phaseoli* (fsp) y *F. oxysporum* f.sp. *phaseoli* (fop).

En la pudrición causada por **fsp** se observa decoloración rojiza de la raíz principal. Esta decoloración aumenta en intensidad y extensión y puede cubrir toda la raíz principal o formar estrías hasta la base del tallo; con el desarrollo de la planta la coloración rojiza se torna marrón. Las raíces laterales son generalmente destruidas, a lo que la planta reacciona produciendo nuevas raíces en la zona arriba de la lesión, lo que le permite recuperar parcialmente la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Las plantas infectadas son de menor tamaño, puede mostrar marchitez en horas del día con altas temperaturas, y amarillamiento de las hojas.

Los síntomas iniciales de **fop** aparecen en las hojas bajas, que se marchitan y se tornan amarillentas, luego este síntoma aparece en hojas superiores. La planta puede presentar poco crecimiento, especialmente si la infección ocurre durante la germinación o la emergencia. Ataques severos pueden causar marchitez permanente y defoliación prematura. El diagnóstico más certero de la mar-

chitez de **fop** se ubica en el sistema vascular, que se observa descolorido o con tono rojizo, incluso antes de presentarse la marchitez. Las vainas presentan una lesión necrótica de aspecto acuoso.

Las pudriciones por *Fusarium* se combaten con métodos culturales o químicos. Rotación de cultivos, incorporación de residuos de cosecha y mejorar los sistemas de drenaje, son esenciales para reducir la población del patógeno. El tratamiento químico para toda la plantación no es rentable, por lo que se recomienda el tratamiento de la semilla. Algunos genotipos de frijol poseen resistencia al hongo, que se ha utilizado en programas de mejoramiento. Las semillas infectadas no germinan y, en condiciones de alta humedad, se observa el crecimiento de micelio blanco sobre la semilla (Figura 3).



**Figura 3.** Crecimiento del micelio de *Fusarium* sp., a partir de muestras de un lote de semillas.

*Sclerotium rolfsii* o *Macrophomina phaseolina* son patógenos que se presentan con mayor frecuencia en regiones con alta temperatura y períodos de sequía severos durante el ciclo del cultivo. La incidencia de ambas enfermedades ha aumentado significativamente en los últimos años por el aumento de la temperatura en algunas regiones productoras de frijol, muy probablemente asociado al cambio climático, ya que estos patógenos no eran frecuentes en frijol hasta hace unos años. *Sclerotium* no es transmitido por semilla, pero puede ser llevado como contaminante de los lotes de semilla.

### ***Sclerotium***

Los signos de la enfermedad se presentan en la parte inferior del tallo y se hacen evidentes hacia el final del ciclo del cultivo. El hongo inicia su infección en las raíces bajo la superficie del suelo, avanza por los tejidos internos del tallo y, bajo condiciones de alta humedad, un crecimiento blanco, algodonoso, en forma de estrías gruesas se observa sobre la base del tallo, que constituye el micelio del hongo. Sobre ese cuerpo fungoso se forman pequeños esclerocios blancos, redondos, que conforme maduran se tornan de color café a café oscuro. Esos esclerocios, que son estructuras de resistencia para el hongo, son los que contaminan el lote durante el trillado (Figura 4).

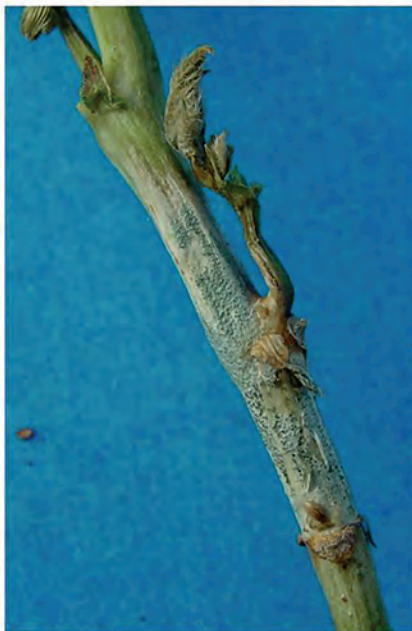


**Figura 4.** Esclerocios producidos por el hongo *Sclerotium rolfsii* en el campo.

Las plantas infectadas muestran síntomas característicos del funcionamiento deficiente de las raíces: clorosis, marchitez total de los folíolos, pero los pedúnculos mantienen su posición.

### ***Macrophomina***

La pudrición gris del tallo del frijol, causada por *Macrophomina phaseolina*, es una enfermedad cuya severidad también ha aumentado en los últimos años, probablemente por causa del aumento de la temperatura en las zonas productoras de frijol. El hongo infecta las raíces y avanza por el tallo, produce canchales hundidos y necrosis del tejido cerca de la superficie del suelo. Sobre el tejido infectado se producen diminutos esclerocios negros, que dan al tallo un aspecto ceniciento, de color gris (Figura 5). Las plantas atacadas se observan amarillentas. El hongo también ataca las vainas e infecta las semillas (Figura 6).



**Figura 5.** Microesclerocios de *Macrophomina phaseolina* en un tallo de frijol.



**Figura 6.** Semillas infectadas por *Macrophomina phaseolina*.



En términos del manejo agronómico de campos reproductores de semilla de frijol, independiente de la categoría que se produce, se recomienda la erradicación de todas las plantas que presentan síntomas del ataque de un patógeno radical. Esta medida reduce el riesgo de mezclar semilla proveniente de plantas enfermas, que tendrán problemas de vigor, baja viabilidad, y menor tamaño y peso.

El combate de las pudriciones radicales contempla el tratamiento de semilla, siembra en lomillos altos, favorecer el rápido drenaje de agua de lluvia, y densidad de siembra no mayor de 10 plantas por m<sup>2</sup>.

En términos generales, el mayor efecto de las pudriciones de raíces es sobre la densidad de plantas, su impacto directo sobre el desarrollo de la planta, la absorción de agua y nutrimentos para realizar funciones básicas de la planta, y el menor vigor de las semillas producidas.

## Enfermedades de follaje causadas por hongos

Los patógenos que afectan las partes aéreas de las plantas son, por lo general, diseminados por el viento o por el salpique de la lluvia. Las enfermedades foliares del frijol transmitidas por semilla que se presentan con mayor frecuencia son mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*), mancha angular (*Pseudocercospora griseola*), y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*).

### *Thanatephorus cucumeris*

La mustia hilachosa es la enfermedad más importante en regiones productoras de frijol ubicadas en zonas bajas y húmedas, donde se presentan temperaturas entre 25 y 28 °C y lluvias frecuentes. El salpique de lluvia y la turbulencia es el principal medio de diseminación de la enfermedad.

La mustia hilachosa infecta en cualquier estado de desarrollo de la planta. La enfermedad se puede iniciar por infección de basidiosporas de la fase sexual del hongo, que se produce en plantas voluntarias o en plantas de cultivos vecinos. El síntoma que se produce es conocido como “ojo de gallo”, son lesiones redondas, de 3 a 5 µm de diámetro, de centro color café claro, borde oscuro y halo amarillento, las cuales crecen, coalescen y desarrollan las lesiones necróticas de follaje más conocidas de la enfermedad.

Los síntomas característicos de la enfermedad en el follaje son lesiones de aspecto acuoso, de forma irregular, de color gris a café claro, rodeadas de borde oscuro. Bajo condiciones de alta humedad y temperatura las lesiones crecen rápidamente, se unen (coalescencia), y causan quema total de la lámina foliar (Figura 7). El micelio del hongo se desarrolla sobre las lesiones y adhiere hojas cercanas que luego también necrosa. En este estado las hojas se observan pegadas por hilos de micelio lo que le da un aspecto de telaraña. En este momento puede ocurrir caída de las hojas. El hongo también ataca las vainas, donde causa lesiones acuosas, oscuras, de borde indefinido, con un borde más oscuro, desde donde puede infectar las semillas y sobrevivir en ellas.



**Figura 7.** Síntomas foliares de mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*)

Sobre las hojas caídas, *Thanatephorus cucumeris* puede producir microesclerocios para la supervivencia en el suelo. Por medio del salpique de lluvia, estos esclerocios alcanzan las partes superiores de la planta e inician la infección, que rápidamente se extiende a las hojas y plantas vecinas y produce inóculo suficiente para el desarrollo violento de la enfermedad (Figura 8).



**Figura 8.** Microesclerocios de *Thanatephorus cucumeris* producidos sobre el follaje infectado.

El combate de la mustia se debe enfocar hacia la prevención. Se recomienda utilizar semilla sana, tratamiento a la semilla con fungicidas, eliminación de residuos de cosecha, rotación de cultivos, cultivo con labranza mínima, y uso de coberturas para reducir el salpique de lluvia. No existen variedades resistentes al patógeno; en Costa Rica los cultivares Guaymí, Bribrí, y Huetar han mostrado tolerancia a la mustia. Productos fungicidas como benomyl, carbendazim, oxiclóruo de cobre, mancozeb o maneb, han sido utilizados para el combate químico. Es recomendable la rotación de esos productos.

La norma de aprobación de campos reproductores de acuerdo con el “Reglamento técnico centroamericano” para mustia hilachosa, establece cero plantas o vainas infectadas por cada mil para semilla de categoría fundación, y una planta o vaina infectada por cada mil para semilla categoría certificada.

### ***Pseudocercospora griseola***

La mancha angular es una enfermedad que puede atacar en cualquier estado de desarrollo de la planta, principalmente a partir de la sexta semana de la siembra; es de importancia creciente en los últimos años y se encuentra distribuida en zonas productoras de altitud media con temperaturas moderadas (16 a 28 °C). A partir de la década de los 90, la mancha angular ha alcanzado niveles epidémicos, hasta convertirse en la enfermedad de mayor importancia en el campo. El viento es el principal medio de diseminación del hongo.

Los síntomas más definidos se encuentran en las hojas trifoliadas, se observan lesiones de color gris que toman figuras geométricas, porque el avance de la lesión es limitado por las nervaduras de la hoja, con borde definido; en ataques severos las hojas se tornan amarillentas y se caen (Figura 9). Las lesiones en pecíolos o tallo son alargadas, de color café rojizo con borde definido. El signo distintivo de la enfermedad es la presencia de pequeños bastoncitos de color gris (coremios) en el centro de la lesión, donde se producen los conidios que diseminan la enfermedad.



**Figura 9.** Síntomas de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) en el follaje.

Las vainas también son infectadas; en estados tempranos de desarrollo se observa una lesión ovalada o circular, de color café rojizo, mientras que en vainas maduras próximas a cosecha la lesión es de color gris con borde rojizo. La transmisión por semilla se favorece por el ataque a vainas, donde el hongo puede llegar al grano por medio del hilum y alojarse en los tejidos internos. Los coremios también se observan en el centro de las lesiones sobre las valvas de la vaina.

El manejo de la mancha angular en campos reproductores de semilla debe ser preventivo. En campos comerciales se recomienda el uso de semilla certificada, rotación de cultivos, rotación de terrenos, y la eliminación de residuos de cosecha. La aplicación de fungicidas debe iniciarse se presenta al menos 5 % de incidencia de la enfermedad; los productos más usados son benomyl, mancozeb, azoxistrobina, carbendazim, clorotalonil, mancozeb o tebuconazol.

Para la aprobación de campos reproductores de semilla certificada se acepta un máximo de 2 % de vainas infectadas.

### ***Colletotrichum lindemuthianum***

La antracnosis es uno de los patógenos del frijol de mayor importancia transmitido por la semilla. Es severa en zonas de temperaturas frescas (18 a 22 °C), en altitudes superiores a 1000 m y lluvias frecuentes; el hongo se disemina por salpique de lluvia con turbulencia, el paso de personas o animales entre plantas mojadas y, principalmente, por semilla.

*C. lindemuthianum* es un hongo que infecta desde la etapa de germinación, ataca la plántula y avanza en las etapas de producción de follaje; puede penetrar hasta la semilla a través de la infección de las vainas. En las hojas se presenta necrosis en la nervadura principal o secundaria, de color café oscuro. En las vainas las lesiones son circulares, hundidas, con el borde más oscuro y levantado; en el centro de estas lesiones se forman pequeñas estructuras de color salmón (acérvulos), que corresponden a la esporulación del hongo (Figura 10). En condiciones de tiempo seco los acérvulos se tornan de color oscuro y se observan como pequeños puntos negros en el centro de la lesión. El patógeno infecta las semillas a partir de las lesiones en la vaina, lo que causa deformación y decoloración de los granos o vaneo de la vaina.



**Figura 10.** Síntomas de antracnosis *Colletotrichum lindemuthianum* en vainas.

Este patógeno tiene alta capacidad de sobrevivencia en residuos de cosecha y en semilla, que a su vez representa la principal fuente de inóculo para iniciar el desarrollo violento de la enfermedad, bajo condiciones ambientales favorables.

La práctica de combate más efectiva contra la antracnosis es el uso de semilla certificada, producida en época de verano con riego y protegida con fungicidas durante todo el ciclo del cultivo. Fungicidas tales como azoxistrobina, benomyl, carbendazim, clorotalonil, mancozeb, propineb o tebuconazol han sido utilizados para el combate químico. También se recomienda la rotación de cultivos o terrenos por más de tres años.

En lotes reproductores de semilla no se permite la presencia de plantas infectadas por antracnosis en el campo.

## Enfermedades causadas por bacterias

Las bacterias son patógenos que atacan el follaje y las vainas del frijol y que tienen la capacidad de alojarse en los tejidos internos de las semillas. Son dos las enfermedades bacterianas que pueden ser transmitidas por semilla: la bacteriosis común (*Xanthomonas axonopodisi* pv *phaseoli*) y el añublo de halo (*Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola*). La primera es más frecuente en las siembras de frijol. Las bacterias patógenas pueden permanecer viables hasta por diez años en el interior de la semilla.

Las plantas infectadas presentan lesiones foliares de aspecto acuoso, que crecen y se unen entre ellas, bordeadas de un halo amarillento. Estos tejidos luego se necrosan y se hace evidente el contraste del tejido enfermo con el halo que lo rodea (Figura 11). La enfermedad puede causar defoliación. Las lesiones en las vainas también son manchas de aspecto acuoso, ligeramente hundidas, que con el tiempo se oscurecen. Las semillas afectadas se corrugan o se pudren.



**Figura 11.** Síntomas de tizón bacteriano en el follaje *Xanthomonas campestris* pv *phaseoli*.

La enfermedad es severa en zonas de altas temperaturas (mayores de 28 °C). La presencia de la bacteria se da tanto en los tejidos internos como externos de la semilla; internamente logra sobrevivir hasta por 25 años, mientras que la contaminación externa de la semilla se puede contrarrestar mediante el tratamiento con bactericidas.

Los residuos de cosecha infectados son la principal fuente de inóculo en el campo, por la capacidad de reproducción de la bacteria presente sobre o dentro de los tejidos de la planta. También puede sobrevivir en condición epífita en hospedantes alternos en el campo. La diseminación en el campo se da a través del salpique de lluvia, mientras que a largas distancias ocurre por medio del transporte de semillas infectadas.

## **Enfermedades causadas por virus**

Hasta el momento solo se conocen siete virus que se transmiten por semilla de frijol; el virus del mosaico común y el virus del mosaico sureño son los de mayor importancia económica. En general, los virus se transmiten en proporción alta pero variable en semillas provenientes de plantas enfermas, lo que a veces alcanza el 50 %. La eficiencia en la transmisión depende del cultivar, la etapa de desarrollo de la planta en que ocurrió la infección y la cepa del virus involucrada.

El virus del mosaico común es portado en el estilete de áfidos vectores, pero el combate químico de esos insectos no es efectivo ya que tanto la adquisición como la inoculación del virus ocurren en pocos segundos. La aplicación de insecticidas sí tiene mayor efectividad en el caso de virus transmitidos por coleópteros (vaquitas). Se han encontrado líneas de frijol susceptibles que transmiten el virus del mosaico común en menos de 1 % de las semillas. Otros virus transmitidos por semilla se consideran de poca importancia en condiciones tropicales.

La producción de semilla de frijol libre de virus requiere que los campos se encuentren en zonas libres de virus o de sus vectores. La erradicación de plantas enfermas se recomienda solo en campos en los que hay ausencia de insectos. La detección de infecciones virales actualmente es rápida, sencilla, y segura por la técnica de ELISA, a través del uso de antisueros para virus específicos. La mayoría de las variedades comerciales de frijol en América Central ya poseen el gen de resistencia al virus del mosaico común.

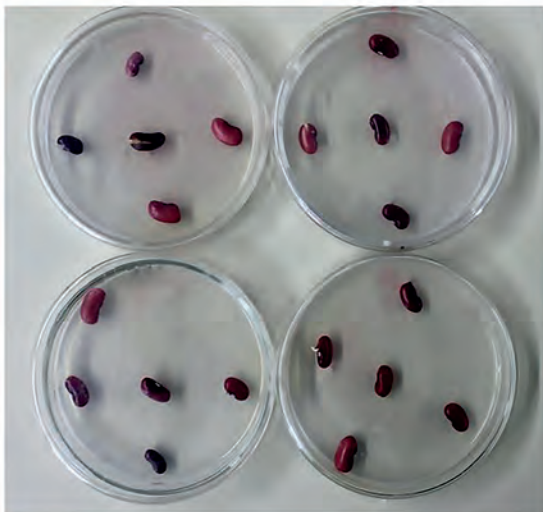
## **Pruebas de sanidad**

El objetivo de la prueba de sanidad de las semillas es evidenciar el estado sanitario de un lote de semilla antes de llevarlo al mercado. Se han implementado varias pruebas, unas más sencillas y baratas que otras, para determinar la sanidad de un lote de semillas. Por su facilidad, la prueba de papel toalla es la más usada; consiste en colocar láminas de papel toalla húmedas sobre papel periódico también húmedo. Luego se distribuyen 100 semillas de una muestra tomada al azar en un lote, se forman rollos con el papel húmedo y se guardan en un sitio fresco dentro de bolsas plásticas bien cerradas –se debe mantener el ambiente húmedo dentro de la bolsa. Al cabo de siete días se abren los rollos para cuantificar el porcentaje de germinación y la proporción con crecimiento de hongos sobre su superficie, o con crecimiento bacteriano (mucilaginoso) alrededor de las semillas. Esta prueba se hace con cuatro repeticiones para examinar un total de 400 semillas.

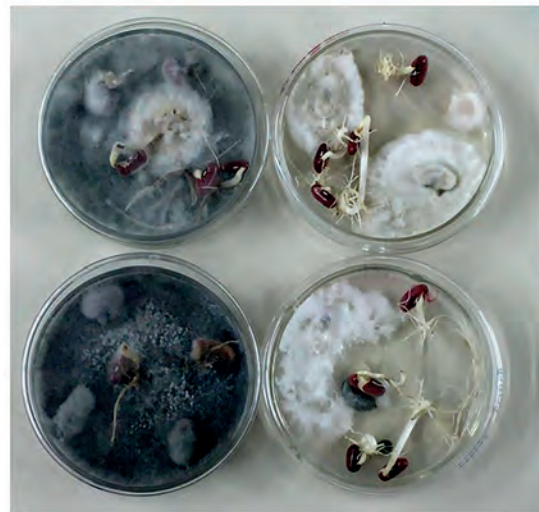
Otra prueba de sanidad es el uso de suelo esterilizado. En bandejas de madera o aluminio (60 x 60 x 10 cm), conteniendo al menos de suelo que cubre al menos 5 cm de la altura de la bandeja, se

siembran 100 semillas y se riegan. Las bandejas permanecen en un lugar fresco y oscuro por una semana, al cabo de la cual se evalúan las plántulas emergidas, el vigor de éstas, y se revisa la presencia de lesiones en el tallo u hojas cotiledonales. Las que no germinaron se deben extraer para verificar la presencia o ausencia de crecimiento fungoso alrededor, o la desintegración de la semilla por efecto de las bacterias.

La tercera prueba de sanidad se realiza en lugares donde se cuenta con equipo de laboratorio. Consiste en colocar sobre un medio de cultivo PDA (papa, destroza, agar), semillas desinfectadas superficialmente, previa inhibición de la germinación con el herbicida 2,4-D. Después de siete días de incubación a temperatura de 20 a 25 °C se cuantifica el número de colonias que crecen y se identifican los hongos desarrollados. Esta prueba es más específica para determinar el porcentaje de infección por hongos o bacterias, con identificación del género y la especie del patógeno. Un lote de semilla de alta calidad sanitaria no muestra crecimiento de patógenos ni saprófitos en el laboratorio (Figuras 12), lo contrario sucede con un lote de baja calidad fitosanitaria(Figura 13).



**Figura 12.** Prueba de sanidad de un lote de semillas de alta calidad



**Figura 13.** Prueba de sanidad de semillas de un lote de grano comercial.

## Estrategias de combate

Los beneficios derivados del uso de semilla libre de patógenos se han comprobado en todo el mundo. Esta práctica es un componente básico en la estrategia de manejo de enfermedades porque mejora la germinación, mantiene la densidad de siembra uniforme, retrasa el inicio del desarrollo de enfermedades y potencializa el rendimiento. Sin embargo, es importante recalcar que el uso de semilla de calidad (certificada o autorizada) es importante para obtener altos rendimientos, pero ésta práctica debe estar siempre acompañada de todas las otras buenas prácticas agronómicas del cultivo.

Es recomendable que los campos reproductores de semilla se localicen en zonas donde las condiciones ambientales no sean favorables para la infección, diseminación y supervivencia de los patógenos, idealmente en zonas donde el frijol no se cultiva comercialmente. En los últimos años se ha capacitado a miembros del comité de semillas de organizaciones de productores para que mantengan un programa de reproducción de semilla local de alta calidad, con el propósito de abastecer

las necesidades de la organización y disponga de material de calidad para la venta en la región. El comité de semillas debe ser permanente, conformado por productores líderes y debe contar con el respaldo administrativo de la junta directiva de la organización.

El combate de enfermedades en lotes reproductores de semilla se inicia con la selección del terreno a sembrar; que debe ser de topografía plana, suelo con buen drenaje, sin historial de siembra de frijol en los dos últimos años, con fáciles vías de acceso, cercano a la casa del productor, y con acceso a fuentes de agua cercanas para la aplicación oportuna de productos químicos

Además de las características de ubicación del lote, es importante mantener la rotación de cultivos o de lotes para minimizar el inóculo residual después de una cosecha de frijol. La rotación debe ser con cultivos no hospedantes de patógenos del frijol, como plantas gramíneas, solanáceas, cucurbitáceas, euforbiáceas o aráceas, cuyos patógenos del follaje no coinciden con los del frijol. En estos casos la rotación puede ser por dos años. Sin embargo, cuando se trata de patógenos habitantes del suelo, la situación es más difícil porque estos patógenos, por ejemplo *Rhizoctonia*, *Fusarium* o *Pythium*, tienen una amplia gama de hospedantes y la rotación no siempre dará como resultado una disminución de la población del patógeno. Para el caso de hongos de suelo se recomienda rotaciones de tres hasta cinco años.

El uso de coberturas de suelo ayuda a reducir la diseminación de inóculo residual del patógeno en el suelo por medio del salpique de lluvia. Estas coberturas pueden ser los residuos de los cultivos en rotación o del control de las malezas con quemantes inmediatamente después de la siembra del frijol.

La densidad de siembra apropiada garantiza que en la plantación se genere un microclima que desfavorece el desarrollo de enfermedades. En lotes reproductores de semilla se recomienda una densidad de siembra entre 175.000 y 200.000 plantas por hectárea, que se logra con un promedio de diez a doce semillas por m<sup>2</sup>, en surcos separados entre 50 y 60 cm.

Es importante el uso de cultivares de frijol con resistencia a las principales enfermedades. En Costa Rica se cuenta con variedades comerciales que poseen resistencia a enfermedades virales, de las cuales el virus del mosaico común es el que se transmite por semilla. En general, las variedades comerciales que se utilizan en América Central pueden comportarse como tolerantes o intermedias, pero no poseen genes de resistencia a las principales enfermedades transmitidas por semilla, por lo que es preciso aplicar todas medidas preventivas para reducir la incidencia.

Para preservar la calidad y sanidad de la semilla es fundamental el manejo sostenible de las enfermedades en lotes reproductores, basado en la fiscalización permanente de estos, para determinar de manera temprana la presencia de los focos iniciales de alguna enfermedad, y así contar con el tiempo necesario para tomar las medidas pertinentes para evitar que alcance niveles epidémicos. La toma de decisiones para la aplicación de productos químicos debe basarse en las condiciones que muestran la plantación, y no atender las recomendaciones que hacen en “paquetes tecnológicos”, promovidos muchas veces por casas comerciales con objetivos diferentes a los del productor.

## **Normas para la aprobación de lotes reproductores**

La aprobación de lotes reproductores de semilla de frijol debe basarse en criterios objetivos que contemplen pureza genética, pureza física, germinación y vigor, y sanidad. Estos cuatro componentes son básicos para la aprobación de un lote reproductor, todos tienen el mismo peso específico, ninguno está por encima de otro ni puede ser sustituido.



A continuación se presentan los criterios fitosanitarios que privan para la aprobación de lotes reproductores de semilla, en los diferentes momentos de evaluación (Cuadros 1, 2 y 3).

**Cuadro 1.** Máxima incidencia de plantas enfermedades aceptada en el campo por categoría de semilla (evaluación a los 8, 10 y 12 semanas del cultivo)\*

Enfermedad	Semilla fundación	Semilla registrada	Semilla certificada
<i>Virus mosaico común</i>	0	0	1/1000 (0,01%)
<i>Añublo bacteriano</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
<i>Antracnosis</i>	0	0	1/1000 (0,01%)
<i>Mustia hilachosa</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
Mancha angular	0	1/100 (1,0%)	1/20 (5,0%)

**Cuadro 2.** Máxima incidencia de enfermedades en vainas (evaluación a las doce semanas del cultivo) \*\*

Enfermedad	Semilla fundación	Semilla registrada	Semilla certificada
<i>Añublo bacteriano</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
<i>Antracnosis</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
<i>Mustia hilachosa</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
<i>Mancha angular</i>	1/100 (1,0)	1/20 (5,0%)	1/20 (5,0%)
Mancha angular	0	1/100 (1,0%)	1/20 (5,0%)

**Cuadro 3.** Máxima incidencia de patógenos transmitidos por semilla (prueba de sanidad de 400 semillas) \*\*\*

Enfermedad	Semilla fundación	Semilla registrada	Semilla certificada
<i>Fusarium oxysporum</i>	0	1/100 (1,0%)	1/50 (2,0%)
<i>Fusarium solani</i>	0	1/50 (2,0%)	1/20 (5,0%)
<i>Xanthomonas axonopodis pv. Phaseoli</i>	0	0	1/1000 (0,01)
<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	0	0	1/1000 (0,01%)
<i>Thanatephorus cucumeris</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)
<i>Phaeoisariopsis griseola</i>	1/20	1/20	1/20 (5,0%)
<i>Ascochyta phaseolorum</i>	0	1/2000 (0,05%)	1/1000 (0,01%)

\* Con base en el “Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 65.05.53.10”. 2010.

\*\* Con base en el “Reglamento Técnico para la Producción de Semilla Certificada de Frijol”. Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica. 1990.

\*\*\* Normas establecidas en el Laboratorio de Fitopatología, Universidad Nacional.

## Bibliografía

- AGRIOS G.N. 2005. Plant Pathology. 5<sup>a</sup> ed. Elsevier Academic Press, London. 922 p.
- Araya, C.M. 2008. Enfermedades y su combate. In Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Costa Rica. p 63-72.
- Araya, C.M., y J.C Hernández,. 2008. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. 37 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1994. Problemas de producción del frijol en los trópicos. In M.A. Pastor-Corrales y H.F. Howard (eds.). Cali, Colombia. 734 p.
- Escoto, N.D. 2009. El cultivo del frijol. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Honduras. 36 p.
- Maude, R.B. 1996. Seedborne Diseases and their Control. CAB International, U.K. 280 p.
- Proyecto Red SICTA. 2008. Guía de identificación y manejo integrado de las enfermedades del frijol en América Central. IICA Nicaragua, Managua. 37 p.
- Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 2010. 65.05.53:10 Insumos Agropecuarios. Requisitos para la Producción y Comercialización de Semilla Certificada de Granos Básicos y Soya. Publicación de la resolución No 2592010 COMIECO-LIX (del 13 diciembre 2010). Alcance No 36588-COMEX-MEIC-MAG. La Gaceta 117, 17 junio 2011. ([www.reglatec.go.cr/consulta/semillas-2010.pdf](http://www.reglatec.go.cr/consulta/semillas-2010.pdf). Revisado 10 de enero 2011).
- Oficina Nacional de Semillas. 1990. Reglamento técnico para la producción de semilla de frijol. San José, Costa Rica. 14 p.

## CAPÍTULO 6

### PLAGAS INSECTILES ASOCIADAS AL CULTIVO DE FRIJOL

*Helga Blanco-Metzler*  
*Gabriel Garbanzo-León*

#### Introducción

El frijol es una leguminosa fuertemente afectada por una serie de insectos en todas sus etapas fenológicas de desarrollo. Desde la siembra, el cultivo es dañado por larvas de dípteros, lepidópteros y coleópteros, los cuales además de ocasionar un daño directo son fuente de entrada a bacterias y patógenos. Durante el desarrollo del cultivo, son afectados por insectos con diferente hábito alimenticio como defoliadores, trips, cortadores, barrenadores y varias especies de chupadores. Sin embargo, se considera a los transmisores de virus como los más importantes. A continuación se presenta una descripción del daño al cultivo, de la biología del insecto y de los métodos de combate de los insectos asociados al cultivo del frijol en Costa Rica registrados por el Servicio Fitosanitario del Estado de Costa Rica (MAG 2012).

#### Insectos que afectan la fase vegetativa (V0-V3)

##### Semillas

##### *Delia platura* (Meigen) (Diptera: Anthomyiidae)

El gusanillo de la semilla *D. platura* es una plaga cosmopolita que afecta las semillas en germinación y las plántulas en crecimiento de cultivos como frijol, maíz, cebolla, coliflor, brócoli y otros. En el cultivo del frijol, las larvas atacan desde la etapa de germinación hasta plántulas con 2-3 hojas, con lo cual, las plantas atacadas durante la germinación o emergencia se marchitan, se ponen flácidas y amarillentas y se pueden morir (Figura 1 ).



**Figura 1.** Daño en semilla de frijol por *Delia platura*. (Foto: [extension.entm.purdue.edu](http://extension.entm.purdue.edu)).

**El ciclo de vida.** La hembra oviposita huevos de color blanco cremoso cerca del cuello de las plántulas, los cuales requieren de una semana para eclosionar. El estado larval dura de 15 a 20 días y el de pupa entre 10 y 20 días. La pupa permanece en el suelo. El adulto es muy parecido a una mosca doméstica aunque un poco más pequeña (Figura 2).



**Figura 2.** Adulto de *Delia platura* (Foto: *ojodigital.com*).

**Control cultural.** Se recomienda la siembra de semillas sanas. La eliminación de restos de semillas en el terreno y plantas hospederas así como la colocación de trampas pegajosas amarillas contribuyen a disminuir y monitorear las poblaciones. Es importante la rotación con otros cultivos que no sean hospederos.

**Control genético.** Sembrar variedades resistentes.

**Control químico.** Como forma preventiva, se recomienda el tratamiento a la semilla. El uso de los siguientes insecticidas: imidacloprid, fipronil y ciromazina a la semilla; diazinón y carbofuran al suelo y piretroides al follaje.

## Raíces

### ***Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae). Gallina ciega, joboto, abejón de mayo, ahoga pollos**

Este género cuenta con gran cantidad de especies. Las larvas son de color blanco, con apariencia gruesa, cabeza esclerotizada de color café-naranja, tres pares de patas en el tórax. La identificación entre especies se realiza por medio del raster (terminación del abdomen de la larva). El ciclo de vida varía entre uno a dos años dependiendo de la especie. Los huevos son ovoides, de color blanco y ovipositados en el suelo. Pasa por tres estadios larvales de los cuales los dos primeros (4 – 6 semanas) son caníbales alimentándose de otras larvas similares, así como de materia orgánica y raicillas. El tercer estadio presenta una duración de ocho semanas, es muy voraz durante su alimentación en las raíces (Figura 3). Una vez que termina su período de alimentación, construye una celda con suelo donde se transformará en pupa. El adulto (Figura 4) es de color café claro, café-rojizo o café oscuro. Presentan gran cantidad de pelos cortos en los élitros. Una vez que inician las lluvias,

el adulto emerge de la pupa y vuela hacia diversas especies de árboles (poró, guácimo, malinche, yuca, etc.) donde se alimenta y se realiza la cópula. Una vez realizada la cópula las hembras se entierran en el suelo a ovipositar. Una hembra puede poner hasta 200 huevos.



Figura 3. Larvas de *Phyllophaga* spp.



Figura 4. Adultos de *Phyllophaga* spp.

**Daño.** El daño es realizado por la alimentación de las larvas, principalmente las de tercer estadio. El daño se observa en parches, presentando plantas con crecimiento reducido y falta de vitalidad.

**Control biológico.** La utilización de microorganismos como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, las bacterias *Bacillus popilliae* y *Serratia entomophila* y los nematodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae.

**Control cultural.** Eliminación de arvenses previo a la siembra. En adultos se recomienda el uso de trampas de luz a inicios de la época lluviosa y hasta que termine el periodo de vuelo de los mismos.

**Control etológico.** Utilizar trampas con feromonas en el caso de que la especie presente sea *P. ele-nans* ya que al momento solo hay feromona para esta especie

**Control químico.** Tratamientos preventivos a la semilla. Se recomienda el muestreo frecuente, al encontrar de 5 - 6 larvas/m<sup>2</sup>, aplicar insecticida. Aplicaciones a la siembra de foxim (Volatón 2,5 % G), mefosfolan (Cytrolane 2 % G), clorpirifos (Lorsban 5 % G). No realizar aplicaciones de insecticidas líquidos ya que las larvas tienden a enterrarse más y escapan a la acción del insecticida.

### ***Anomala viridula* (L) y *Macroductylus* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae). Chizas, Fraile, Frailecillo**

Estos insectos presentan importancia leve en el cultivo de frijol. A nivel de inmaduro presentan un comportamiento similar a *Phyllophaga* spp. donde las larvas se alimentan de las raíces y afectan el crecimiento de las plantas. Los adultos se alimentan de las flores lo cual en ocasiones puede alcanzar niveles de plaga importantes a nivel local.

**Control:** Similar a lo expuesto para *Phyllophaga* spp.

## Tallo

***Agrotis ipsilon* (Hufnagel) y *Feltia subterranea* (F.) (antes *Agrotis subterranea*) (Lepidoptera: Noctuidae). Gusanos cortadores.**

El ciclo de vida de los cortadores es similar a los del grupo *Spodoptera* spp. Los gusanos cortadores tienen una apariencia granulosa-grasienta, y en su mayoría son de color oscuro. Durante el día las larvas permanecen escondidas en el suelo cerca de la base de las plantas, y al atardecer salen y se alimentan de la base de las plantas, con lo cual cortan la plántula. El mayor daño se observa cuando las plántulas están pequeñas. Estos gusanos tienen el comportamiento de que cuando se molestan se enrollan en forma de C (Figura 5).



**Figura 5.** Larva de *Agrotis ipsilon* cortando una plántula. (Foto: J. Saunders)

El control biológico y químico es similar al presentado para *Spodoptera* spp. Al notar los primeros daños por cortadores se puede poner cebos envenenados (afrecho, insecticida y melaza).

***Elasmopalpus lignosellus* (Zeller)** (Lepidoptera: Pyralidae) (Gusano coralillo, Barrenador menor del maíz, Taladrador de la raíz)

*E. lignosellus* es una plaga importante ya que posee gran variedad de hospederos; sin embargo, el mayor daño lo ocasiona en plantas de las familias Poaceae y Leguminosae.

**Ciclo de vida.** Los huevos son de color verduzco, son depositados en la base del tallo de las plantas hospederas o en las hojas bajas. Se presentan seis estadios larvales con una duración promedio de 20 días. Las larvas son delgadas, con cabeza café oscuro y bandas transversales de color rojo-púrpura y crema. Al examinar la base del tallo, se observa un orificio por donde en ocasiones se logra ver a la larva. La larva confecciona un túnel con excrementos, suelo y hojarasca en el cual se esconde ante el peligro; pupa dentro de ese túnel (Figura 6).



**Figura 6.** Larva y daño causado por el gusano coralillo, *Elasmopalpus lignosellus*. (Foto: laguiasata.com).

**Daño.** Las larvas inicialmente se alimentan de las hojas y raíces; posteriormente efectúan galerías en los tallos de plántulas jóvenes hacia la parte apical con lo cual se observan las plantas flácidas, con retraso en el crecimiento y con poco vigor. Los ataques más fuertes se han observado en suelos arenosos.

**Control biológico.** Varios parasitoides de larva de las familias Braconidae y Tachinidae.

**Control químico.** Realizar muestreos frecuentes, cuando se encuentren 2-3 larvas /metro de surco iniciar las aplicaciones de químicos.

### ***Dichroplus morosis* Rehn (Orthoptera: Acrididae) y *Gryllus* spp. (Orthoptera: Gryllidae)**

Plaga ocasional. Los huevos de ambos géneros son puestos en el suelo. Ninfas de color pardo oscuro, adulto pardo-rojizo. Las ninfas y adultos pueden trozar los tallos de las plántulas durante la alimentación. Además pueden alimentarse de raíces y follaje. De día se mantienen escondidos entre la vegetación y salen a comer durante la noche (Figura 7).



**Figura 7.** Adulto de *Gryllus* spp.

**Control químico.** Realizar muestreos y cuando se tengan 10 individuos/m<sup>2</sup> se puede iniciar la aplicación de insecticidas fosforados como malathion, fenitotrión, acefato, dimetoato o diazinón. Entre el grupo de los piretroides esta deltametrina y cipermetrina.

## **Follaje**

### ***Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Homoptera: Aleyrodidae). Mosca blanca**

*B. tabaci* afecta desde la aparición de las hojas hasta la fase reproductiva; tiene una distribución mundial y cuenta con múltiples hospederos entre los cuales están las plantas de la familia Solanaceae, Cucurbitaceae, Leguminosae, Convolvulaceae y gran cantidad de especies silvestres. Se presenta en elevaciones entre los 0 y 1200 msnm.

**Ciclo de vida.** Presenta tres estados de desarrollo huevo, ninfa y adulto. Los huevos son ovalados y de color verde, son depositados de uno en uno o en grupos en el envés de las hojas. Pasa por cuatro estadios ninfales de los cuales el primero es móvil y los otros sésiles. El adulto es una palomilla blanca la cual tiene dos pares de alas plegadas a los lados en forma de techito, las cuales se encuentran cubiertas de cera (Figura 8).



**Figura 8.** Adultos de *Bemisia tabaci* en el envés de hoja de frijol. (Foto: fps.org.mx).

**Daño.** Tanto ninfas como adultos succionan la savia de las plantas con lo cual, si la población es muy alta puede ocasionar amarillamiento, moteado y encrespamiento de las hojas, para finalmente producirse la defoliación. Sin embargo, el principal daño de la mosca blanca es la transmisión de virus a la planta de frijol durante su alimentación. Ver en el capítulo de enfermedades la sintomatología de las virosis.

Otro daño indirecto que se presenta con poblaciones altas de mosca blanca es la presencia de fumagina (causada por el hongo *Capnodium* spp.) por la ligamaza (mielecilla) que producen ninfas y adultos durante la alimentación, la cual afecta la capacidad fotosintética de la hoja y por ende el crecimiento y rendimiento de la planta.

**Control cultural.** La eliminación de rastrojos y plantas hospederas, así como la colocación de trampas pegajosas amarillas contribuyen con monitorear y disminuir las poblaciones. Además es recomendable realizar la rotación de cultivos con especies como las Poáceas u otras no hospederas, o establecer barreras vivas que no sean hospederas.

**Control biológico.** Existen varias especies de parasitoides *Encarsia* spp. (Hymenoptera: Aphelinidae); *Eretmocerus* spp. (Hymenoptera: Eulophidae), *Amitus* spp. (Hymenoptera: Platygastridae) y depredadores coccinélidos, neurópteros que pueden afectar sus poblaciones. Se ha encontrado a los hongos *Verticillium lecanii*, *Paicelomyces*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* parasitando ninfas y adultos.

**Control etológico.** El uso de repelentes botánicos como el neem.

**Control genético.** Sembrar variedades resistentes o tolerantes a los virus.

**Control químico.** Debido a la capacidad de transmisión de virus, no es práctico el establecimiento de un umbral económico. Productos como el imidacloprid, acefato, buprofezin y difentiuron han probado su efectividad contra ninfas y adultos.



## Los áfidos o pulgones

Los áfidos pueden afectar desde la aparición de las hojas hasta la fase reproductiva; son una plaga cosmopolita; de tamaño pequeño, cuerpo suave que se alimentan del floema de las plantas, generalmente se ubican en el envés de las hojas tiernas y brotes. El daño que produce estos insectos puede ser directo al succionar la savia de las plantas o indirecto ya que tienen la capacidad de transmitir virus. Presentan un aparato bucal picador (en forma de pajilla). Las características que distinguen a los áfidos son: un par de sinfúculos o sifúculos (como pajillas partidas en la superficie final del abdomen). Generalmente viven en grupos o en colonias con individuos de todas las edades los cuales crecen en número en muy corto tiempo. Presentan reproducción partenogenética (hembra produce descendencia sin necesidad del macho) aunque también se presenta la reproducción sexual. En las colonias se pueden presentar áfidos sin alas (mayoría) o alados. Los áfidos sin alas o ápteros se quedan alimentándose de la planta y aumentando en número (reproduciéndose), mientras que los áfidos alados son los responsables de volar a otras plantas e iniciar una nueva colonia. El ciclo de vida es de 10 días dependiendo de la temperatura.

***Aphis craccivora* (Koch), *A. fabae* (=Doralis fabae). Scopoli (Homoptera: Aphididae) Afido, pulgón negro.**

Los áfidos son insectos pequeños, de cuerpo blando, con un par de sifúculos en la parte dorsal del abdomen y aparato bucal chupador (Figura 9). Todos los estados se alimentan de la savia de las hojas y brotes, inyectando una saliva tóxica que provoca el bolseado de las hojas donde se alimentan; el daño reduce el vigor de la planta, causa achaparramiento, marchitez, encrespamiento, transmisión de virus y se asocia con la presencia de Fumagina debido a la ligamaza que producen.



**Figura 9.** Ninfas y adultos de *Aphis fabae*. (Foto: wikipedia.org.)

Las especies de *A. craccivora* son de color pardo - oscuro; se reconocen fácilmente por presentar sifúculos y articulaciones de las patas de color oscuro, además de ojos de color rojo o negros.

**Control biológico.** El control biológico de pulgones ejercido por parasitoides es realizado por especies del género *Aphidius*. En general dentro de los depredadores de pulgones, destacan larvas y

adultos de neurópteros (*Chrysoperla carnea* (Stephens) y *Chrysopa formosa* (Brauer)), coleópteros coccinélidos (*Coccinella septempunctata* (L.)), larvas de dípteros y varios himenópteros. Dentro de los entomopatógenos destaca el hongo patógeno *Verticillium lecanii*. También se recomienda la aplicación de repelentes irritantes a base de chile picante o mostaza y formulados de sales potásicas de ácidos grasos.

**Control Cultural.** Se recomienda la higiene del campo, remover hospedantes alternos, eliminar partes o plantas afectadas con algún síntoma inicial de virosis. Manipular el hábitat para conservar la fauna benéfica, mediante la creación de reservorios en áreas colindantes con las plantas del cultivo. El uso de trampas pegajosas amarillas o de trampas plásticas con agua, reducen las poblaciones.

**Control químico.** Si encuentra más de una colonia de áfidos al muestrear 10 plantas debe aplicar algún producto. Se pueden hacer aplicaciones foliares de insecticidas de corta residualidad y baja toxicidad. Los ingredientes activos comúnmente utilizados son los piretroides sintéticos.

***Liriomyza huidobrensis* Blanchard y *L. trifolii* Burgess (Diptera: Agromyziidae). Mosca minadora**

*Liriomyza* spp. afectan la planta desde la aparición de las hojas hasta la fase reproductiva; es un minador altamente polífago de hortalizas y ornamentales sembradas al aire libre y en invernaderos. Forman galerías en las hojas y si el ataque de la plaga es muy fuerte la planta queda debilitada. *L. huidobrensis* se adapta mejor a cultivos establecidos en temperaturas frías (Figura 10 a y b).



**Figura 10.** Adultos de a) *Liriomyza huidobrensis* (Foto: agrifish.dk) y b) *Liriomyza trifolii* (Foto: pesticide.ro).

**Ciclo de vida.** Los huevos son blancos, pálidos, ovalados y son depositados dentro de los tejidos de la hoja. La hembra introduce los huevos por el envés, pero los deja prendidos en la epidermis superior. El período de incubación es de dos a cuatro días a 27 °C.

Larva: las larvas miden de 1 a 2 mm de longitud y son de color amarillo pálido. Se alimentan en el interior de la hoja, formando un túnel delgado que se va ensanchando conforme la larva crece. A simple vista, sobre la hoja, la galería aparece blanquecina y en forma de una serpentina (Figura 11). El estado larval puede durar de 5 a 10 días, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona.



**Figura 11.** Minas en follaje causadas por larvas de *Liriomyza huidobrensis* (Foto: infojardin.com).

**Pupa:** las larvas maduras abandonan las minas y caen al suelo para empupar; sin embargo, ocasionalmente pupan en el follaje. En lugares calientes o bien en invernaderos se puede observar que algunas empupan en la hoja. La pupa toma color café - brillante. El período pupal varía de seis a diez días.

**Adulto:** es una mosca pequeña de hasta 2 mm de longitud, amarilla con el dorso negro brillante.

**Control biológico.** Se puede aplicar repelentes naturales si la población es baja, también se recomienda hacer aplicaciones de neem y aceites a base de cítricos. Parasitoides de larva *Diglyphus isaea* Walker (Hymenoptera: Eulophidae) ejercen un buen control.

**Control cultural.** La eliminación de rastrojos y plantas hospederas, así como la colocación de trampas pegajosas amarillas contribuyen con disminuir y monitorear las poblaciones.

**Control químico.** Debido a lo corto del ciclo de vida, a la rapidez de su multiplicación, al desarrollo de resistencia que han desarrollado a diferentes productos químicos, su combate resulta realmente difícil. Cuando las poblaciones son altas se recomienda aplicar abamectinas y cyromazina para el control de huevos y larvas.

El comité técnico de *Liriomyza* spp. (1990), citado por Romero (1991) estableció en forma preliminar que 100 adultos/trampa/semana justifican una aplicación insecticida. Cuando se sobrepase este umbral de acción se realizarán aplicaciones de abamectina (Vertimec 1,8 EC) y ciromazina (Lepicron 75 WP), este último es específico para los huevos de *Liriomyza* spp. y actúa como regulador del crecimiento.

### ***Thrips palmi* (Karni), Thysanoptera: Thripidae. Trips del melón, Trips amarillo**

*T. palmi* es un insecto polífago (presenta una gran cantidad de hospederos) en los cuales se incluyen a solanáceas, cucurbitáceas y leguminosas; afecta desde la aparición de las hojas hasta la fase reproductiva.

Los estados de desarrollo de *T. palmi* presentan una diferencia en la distribución en las plantas de frijol donde los adultos se encuentran preferiblemente en las hojas tiernas mientras que los inma-

duros (ninfas) se encuentran en las hojas bajas. Tanto los adultos como los inmaduros (ninfas) se alimentan de las hojas donde raspan la epidermis y succionan la savia, produciendo un bronceado de la hoja (Figura 12). Estos insectos diminutos incrementan rápidamente su población en condiciones de altas temperaturas y clima seco. Presentan además, un ciclo de vida corto (aproximadamente 12 días), un alto potencial reproductivo y reproducción partenogenética (hembra produce descendencia sin necesidad de la presencia del macho).



**Figura 12.** Adulto de *Thrips palmi*. (Foto: google.co.cr).

Los trips se presentan en la planta de frijol desde el estado de plántula hasta la formación de vainas. Ante poblaciones altas del insecto, estas pueden causar la muerte del tejido afectado. Además los trips son transmisores de virus.

**Ciclo de vida.** Presentan tres estados de desarrollo, huevo, ninfa y adulto. Los huevos son depositados en el parénquima de las hojas. Hay dos estadios ninfales los cuales se alimentan de las hojas bajas, otro de prepupa y pupa y finalmente el adulto. Los adultos son de color amarillo, de forma alargada y las alas presentan flecos en los extremos.

Es importante el monitoreo de las poblaciones de trips con el fin de optimizar las estrategias de control. El muestreo se debe iniciar cuando las plantas tienen 4-5 hojas, donde se debe revisar rápidamente las axilas de las hojas nuevas ya que las ninfas y los adultos se desplazarán o buscarán esconderse.

**Control biológico.** Existen algunos depredadores como los neurópteros y los chinches del género *Orius*.

**Control cultural.** Remoción de hospederos alternos y el uso de cultivos intercalados. Se recomienda el uso de trampas pegajosas de color azul-celeste o verde.

**Control químico.** Debido al comportamiento de los trips de alojarse en las axilas y cuello de la planta el uso de insecticidas no siempre es la mejor estrategia de combate. Se pueden hacer aplicaciones foliares de insecticidas de corta residualidad y baja toxicidad. Los ingredientes activos comúnmente utilizados son los piretroides sintéticos. Existen otras alternativas de control como el uso de reguladores de crecimiento (azaridactina, pyriproxyfen), el uso de microbiales como el spinosad o el uso de sales potásicas.

***Frankliniella insularis* (Franklin); *F. williamsi* (Hood). (Thysanoptera: Thripidae). Trips, Trípido**

El ciclo de vida, comportamiento, daño y control es similar a *T. palmi*. *Frankliniella* spp. puede encontrarse en todas las partes de la planta y durante todo el desarrollo vegetativo.

***Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) Gusano soldado, Gusano de la remolacha, Gusano de frijol de costa**

Comprende varias especies dentro del género *Spodoptera* en las cuales solo las larvas ocasionan daño a los cultivos al alimentarse del follaje, donde pueden defoliar áreas importantes del cultivo en la fase gregaria. Dentro de las especies de *Spodoptera* se encuentran *S. frugiperda*, *S. ornithogalli*, *S. dolichos* y *S. sunia* (Figura 13).



Figura 13. *Spodoptera sunia*.

**Ciclo de vida.** Las larvas pasan por cinco o seis estadios, son de color gris-verdoso dorsalmente, en su mayoría presentan figuras en forma de triángulos con variaciones de color amarillo las cuales varían según la especie. Los primeros estadios tienden a ser gregarios y luego mayormente solitarios.

**Control biológico.** Parasitoides del huevo de la familia Trichogrammatidae. Parasitoides larvales como *Apanteles*, *Chelonus* (Hymenoptera: Braconidae) y varios individuos de las familias Eulophidae, Tachinidae e Ichneumonidae. Depredadores, larvas y adultos de Coccinellidae, Vespidae, Neuroptera y Pentatomidae. También son controlados por el virus de la polihedrosis, por *Bacillus thuringiensis* y por nematodos.

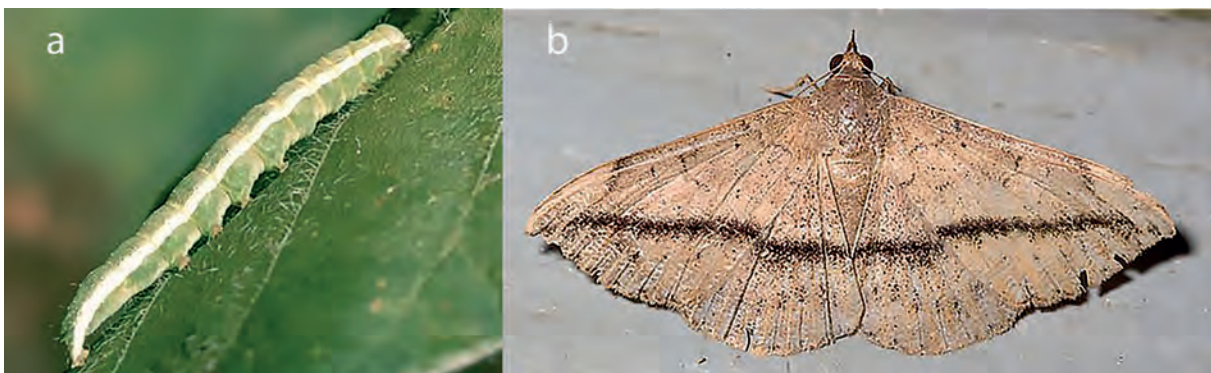
**Control etológico.** Este comprende el uso de feromonas sexuales en el caso de *S. frugiperda* y de *S. sunia*.

**Control químico.** Aplicar insecticidas piretroides: permetrina, cipermetrina.

***Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). Oruga azul del frijol, Gusano terciopelo**

Esta plaga se distribuye desde el sector norte de América del Sur, Centroamérica y el sur de Estados Unidos. Su desarrollo se ve más favorecido en climas tropicales.

**Ciclo de vida.** los huevos generalmente se encuentran en las partes cercanas al tallo situados en el envés de las hojas, en ocasiones en las venas centrales ya sea en grupos o forma individual. Las larvas son de color verde pálido a café oscuro de textura muy delgada, presentan una línea definida en apariencia de bandas de color amarillas finas, los segmentos son diferenciados por apariencia aterciopelada, su desplazamiento es muy marcado similar a los medidores en estadios tempranos, y al sentir presencia de depredadores presentan una reacción agresiva agitándose vigorosamente y saltando de la plantas, otras se esconden en el envés cerca de las venas centrales. Las pupas son de color café oscuras y pardo en presentación de capullo de seda. Los adultos son mariposas o palomillas de color café-púrpuras hasta café-amarillo, sin embargo, su característica de diferenciación a las demás especies radica en una línea diagonal pálida con presencia de bordes oscuros que dividen las alas posteriores de las anteriores (Figura 14 a y b ).



**Figura 14.** *Anticarsia gemmatalis*. a) Larva (Foto: www.agrolink.com.br), b) Adulto (Foto: wikipedia.org).

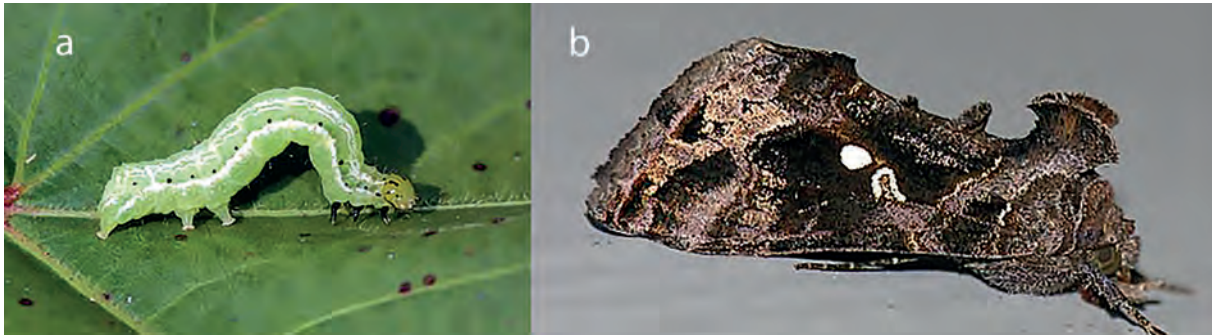
**Daño.** Los daños se dan por las larvas ya que son defoliadores por excelencia; cuando las poblaciones son altas, el daño se encuentra en las vainas y brinda un retraso inmediato del crecimiento en el cultivo. Las infestaciones son beneficiadas en épocas de baja precipitación. Los primeros estadios se alimentan del meristemo apical de la planta, conforme se desarrolla la larva esta puede alimentarse de las partes bajas de las plantas hasta las partes blandas de los tallos.

**Control.** Similar a lo expuesto para *Spodoptera* spp. con excepción del uso de feromonas.

***Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) (= *Pseudoplusia includes*, *Plusia includens*). Falso medidor**

El falso medidor *C. includens* se distribuye desde la parte sur de Estados Unidos, América Central y Caribe. Afecta al cultivo del tomate, ajonjolí, hortalizas, maíz, algodón, soya y frijol.

**Ciclo de vida.** los huevos tienen forma esférica y de color verde, son colocados en forma individual o en grupos en la superficie de la hoja o el hospedante. Las larvas presentan seis estadios bien definidos, son de color verde con rayas laterales en la parte dorsal verdes y blancas, miden aproximadamente 30 mm, y su forma de desplazarse es similar al medidor de las hojas. Las pupas son de color verde tornando a pardo oscuro cuando se encuentran próximas a la emergencia del adulto. Los adultos son de color pardo-gris oscuro con una marca en forma de “Y” plasmada de color plateada en la zona central de las alas, las alas traseras son pardo pálido (Figura 15).



**Figura 15.** *Chrysodeixis includes*, a) larva (Foto: wikipedia.org). b) Adulto (Foto: Will Cook).

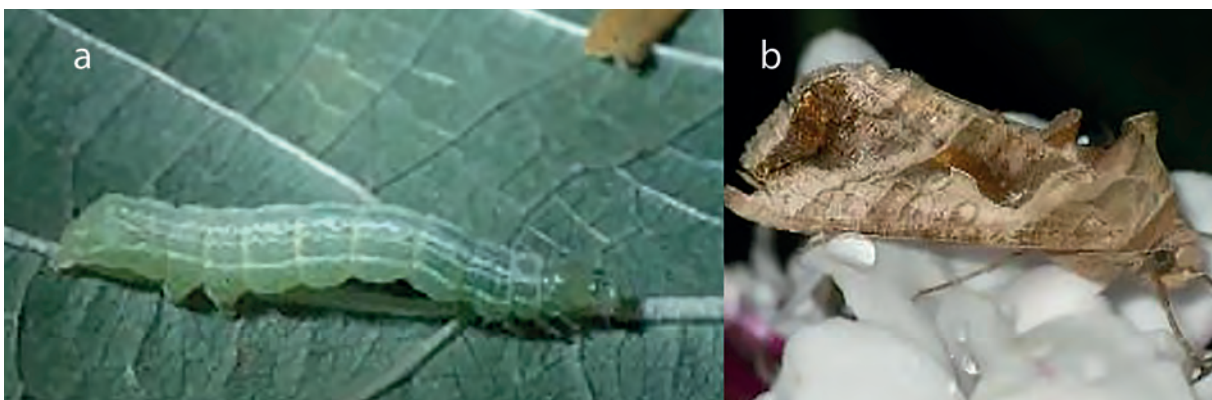
**Daño.** El daño es causado por las larvas al alimentarse de las láminas foliares causando pérdida de área foliar y reducción de la fotosíntesis de la plantas; cuando las poblaciones son altas se encuentran daños en las vainas.

**Control.** El control es similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Autoplusia egena* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). Falso medidor, Esqueletizador de la hoja**

El falso medidor *A. egena* se distribuye desde la parte del Caribe, en América Central y hasta la parte sur de Estados Unidos. Atacan principalmente cultivos de hortalizas y leguminosas entre estos soya y frijol.

**Ciclo de vida:** Los huevos son similares a *C. includens*. Las larvas son de color verde claros con presencia de diseños dorsales en forma de machas amorfas y líneas pálidas o de color blanco, tienen un tamaño aproximadamente de 25 a 30 mm largo cuando encuentran en estadios avanzados y su desplazamiento es similar a los gusanos medidores. Las pupas son de color pardo oscuro, los capullos son desarrollados en forma enrollada con una hoja. Los adultos son de color pardo-rojizo y presentan diseños metálicos en las alas anteriores en las posteriores son de color pardo – gris (Figura 16 a y b).



**Figura 16.** a) Larva (Foto: wikipedia.org) y b) adulto de *Autoplusia egena* a Foto: Mississippi State University).

**Daño.** El daño es causado principalmente por las larvas, las cuales esqueletizan y defolian las hojas, reduciendo el área foliar y por ende el crecimiento del cultivo.

**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). Gusano de las panoja, Gusano de las cápsulas**

*Heliothis* spp. se distribuye desde la parte sur de Estados Unidos hasta el sector norte de América del sur, abarcando el Caribe. El insecto afecta leguminosas, cultivos frutales, hortícolas, algodón entre otros.

**Ciclo de vida.** Los huevos son depositados en las flores, frutos en desarrollo y vainas. Las larvas tienen un tamaño aproximado de 30 – 35 mm de largo, estas pasan por seis estadios, presentan una coloración variable ya que se encuentran entre colores amarillentos, pardas, verdes o en ocasiones rosadas, dependiendo del estadio en que se encuentren así como de la alimentación que ingieran; presentan numerosos tubérculos en el dorso. Las pupas se encuentran en el suelo cercano al tallo del hospedero o planta donde se alimentaban. Las alas delanteras de los adultos son de color amarillas-verdes con diseño de tres rayas oblicuas, las alas posteriores presentan colores plateados con los márgenes oscuros.

**Daño.** Los daños son ocasionados por las larvas quienes perforan las vainas después de la emergencia, alimentándose de las semillas y los cotiledones.

**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. A excepción del uso de feromonas.

***Hedylepta indicata* (F) (Lepidoptera: Pyralidae). Pega hojas, Hedyle**

La distribución de *H. indicata* desde América del Sur, el Caribe, América Central, y parte sur de los Estados Unidos. La plaga afecta los cultivos de frijol, soya entre otros.

**Ciclo de vida.** Los huevos son depositados en forma individual sobre el haz de las hojas. Las larvas son de color verde – amarillo en algunas veces se encuentran amarillo translúcidas, miden aproximadamente de 13 – 15 mm cuando están en el último estadio. Empupa en el suelo, preferiblemente donde se encuentra la hojarasca, son de color pardo. Los adultos presentan tres líneas características que atraviesan las alas delanteras y dos en las traseras de color pardo oscuras.

**Daño.** El daño es causado por las larvas causando pérdida del área foliar y daños severos en las vainas. Su alimentación es característica ya que muestra un enrollamiento de las hojas en el borde con presencia de seda para conservar la posición de la hoja, las hojas dañadas presentan síntomas de una clorosis en áreas definidas sobre la epidermis, cuando no se controlan adecuadamente se pueden presentar necrosis (Figura 17).



**Figura 17.** Hoja de frijol mostrando la larva y el daño característico de *Hedylepta indicata* (Foto: wikipedia.org).

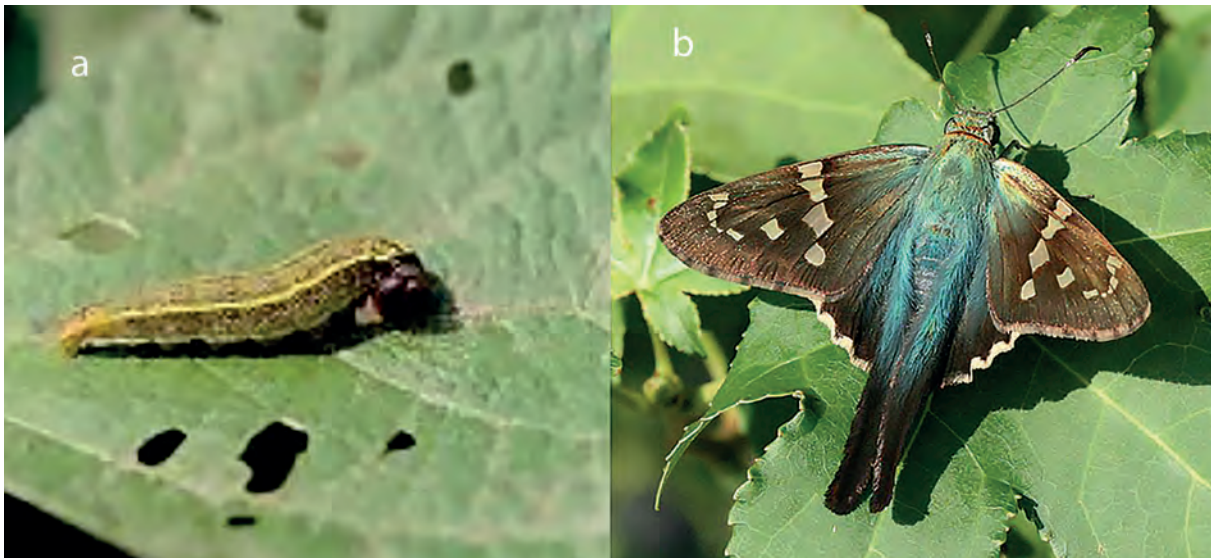


**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Urbanus proteus* (Linnaeus) (Lepidoptera: Hesperiiidae). Enrollador del frijol, Oruga de la hoja, Gusano cabezón)**

El *U. proteus* se distribuye desde la parte sur de Estados Unidos hasta el norte de América del Sur, abarcando el Caribe.

**Ciclo de vida.** Los huevos son de color blanco y de forma esférica, colocados individualmente sobre las puntas y envés de las hojas y meristemos apicales de la planta. Las larvas presentan cinco estadios, son de color verde con presencia de rayas laterales de color amarillas, la cabeza es muy desarrollada y unida al protórax por una constricción a manera de cuello, de color pardo - rojizo más abultada que los segmentos. La pupa es de color verde transformándose con el tiempo de color pardo, fijada con hilos de seda con presencia de una secreción en forma de partículas blancas. Los adultos son de color pardas con un brillo verdoso sobre las alas cuando salen de las pupas, presentan una envergadura entre 34 – 50 mm, con un diseño característico en las alas delanteras en forma de marcas cuadradas translúcidas (Figuras 18).



**Figura 18.** a) Larva y (b) adulto de *Urbanus proteus* (Foto: wikipedia.org).

**Daño.** Las larvas se alimentan del área foliar, sin embargo en los primeros estadios corta un extremo de la hoja para formar un túnel sujetado con seda formando un refugio, alimentándose del mismo hasta que se acaba, posteriormente realiza el mismo procedimiento hasta llegar a su último estadio.

**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Epinotia aporema* (Walsingham) (Lepidoptera: Tortricidae). Barrenador del brote, Perforador de la vaina**

Los huevos de *E. aporema* son de color amarillo pálido, depositados en los brotes. Las larvas presentan cinco estadios, son de color blanco cremoso con la cabeza de color café claro, en los dos últimos estadios se torna de color verde claro, con un escudo protorácico café claro brillante. Pupa en el suelo (Figura 19).



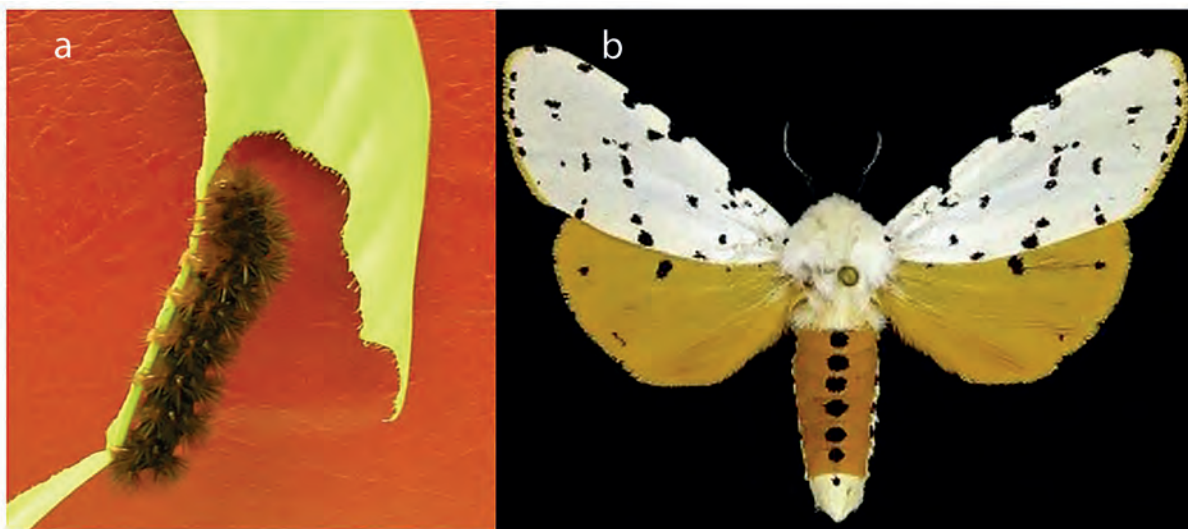
**Figura 19.** a) Larva (Foto: viarural.com.ar) y b) daño causado a los brotes terminales por *Epinotia aporema* (Foto: agrolink.com.br).

**Daño.** Las larvas afectan el desarrollo de las plantas debido a la alimentación en las yemas terminales; estas pueden movilizarse a otras yemas terminales o barrenar los tallos donde provocan un abultamiento. Una vez que las larvas consumen el follaje cercano, se alimentan de las vainas recién formadas o los granos en formación. El daño por el insecto se ve favorecido en periodos secos.

**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Estigmene acrea* (Drury); *Estigmene columbiana* (Rothschild); *Epantheria* spp. (Lepidoptera: Arctiidae). Gusano peludo**

Los huevos de *E. acrea* son de color amarillo, depositados en masa en el haz o en el envés de las hojas. Presentan cinco estadios, en los primeros estadios son de color café claro y luego se tornan café oscuro, son muy peludos. Pupa entre la hojarasca en el suelo. Los adultos son de color blanco con manchas negras irregulares en las alas de las hembras; las alas traseras del macho son de color amarillo-naranja mientras que las anteriores son blancas con puntos negros. Ambos presentan abdomen amarillo-anaranjado con puntos negros en el dorso (Figura 20).



**Figura 20.** a) Larva (Foto Helga Blanco) y b) adulto de *Estigmene acrea* (Foto: mothphotographers-group.msstate.edu).

**Daño.** Durante los primeros estadios las larvas se alimentan de forma gregaria en el sitio donde fueron depositados los huevos, llegando a eskeletonizar la hoja; posteriormente se dispersan pudiendo atacar flores y vainas.

**Control.** Similar a *Spodoptera* spp. a excepción del uso de feromonas.

***Diabrotica balteata* (LeConte) (Coleoptera: Chrysomelidae). Doradilla, Diabrotica, Vaquita, Tortuguilla).**

*D. balteata* afecta en varias partes de las plantas de frijol tanto en su estado larval y adulto. Se ha catalogado entre las principales plagas de frijol, principalmente por propagar el virus del mosaico rugoso y otros virus (CIAT 1981) y su asocio con cultivos de maíz. Los estudios han determinado niveles de población entre 1 adulto por cada dos plantas muestreadas en un mismo sitio (Figura 21).



**Figura 21.** Adulto de *Diabrotica balteata*.

**Ciclo de vida.** Los huevos son de color amarillos claros de forma puntiaguda-ovoide, miden entre 0,5 – 0,6 mm de largo y 0,33 – 0,35 mm de diámetro. Estos son depositados en el suelo grupos de 12 a 14, un adulto puede depositar hasta entre 68 y 100 huevos, su periodo de incubación es aproximadamente entre 5 a 10 días. Las larvas pasan por 4 instares donde varían entre 2,3 – 8,9 mm de largo dependiendo de su estadio larval. Son de color blanco translucidos, pardo-oscuro en la cabeza con una mancha oscura en el último segmento abdominal. La pupa posee un tamaño entre 4 – 5 mm, generalmente son encontradas cerca de las plantas de frijol donde el suelo no está compactado y con presencia de macroporosidad. Los adultos son pequeños miden entre 4 – 7 mm, de color verde, cabeza roja, posee tiras colaterales y abdomen amarillo. Tienen patas delgadas y antenas segmentadas y generalmente las hembras son mucho más grandes que los machos.

**Daño.** El insecto puede alimentarse de las plantas en el estado larval y adulto. Las larvas se alimentan de las raíces principalmente, cuando el frijol se encuentra en germinación y emergencia son mayormente afectadas, en algunas ocasiones se han encontrado daño en los cotiledones y perforaciones en los tallos en plántulas. Los adultos se alimentan de las hojas reduciendo el área fotosintética, se encuentra principalmente perforaciones en forma ovalada o irregular en toda la lámina. Cuando las plantas son pequeñas y son afectadas sus hojas primarias reducen el crecimiento y pueden lle-

gar a marchitarse y hasta morir. También se han encontrado daño en las flores y vainas cuando las poblaciones son altas. Su capacidad de transmitir virus lo hace muy nocivo.

**Control cultural.** El uso de tiempos de descanso estimula el crecimiento de barbecho en las fincas, así mismo la rotación con otros cultivos a excepción de maíz reduce las poblaciones y aumenta los enemigos naturales de *Diabrotica* spp. Además los cultivos trampas como cucurbitáceas fuera de las zonas sembradas de frijol ayudan a controlar los insectos en sitios específicos.

**Control biológico.** La mosca de familia Tachinidae y chinches de la familia Reduviidae atacan y depredan adultos de los crisomélidos. Por otro lado, el uso del hongo *Beauveria bassiana* ayuda al control de los adultos, su diseminación es más eficaz cuando se encuentran en etapas reproductivas. Se ha encontrado que el nematodo *Heterorhabditis* sp. tiene una alta efectividad (95 %) en el control de *D. balteata*, en estados larvales en el suelo.

**Control químico.** Este control es difícil de efectuar ya que su efectividad es baja, debido a la emigración del insecto a parcelas vecinas, se recomienda insecticidas granulados al suelo o en mezcla con las semillas para controlar las larvas. Cuando se encuentran infestaciones altas se puede aplicar insecticidas en el follaje siempre y cuando sean por ingestión del insecto.

***Diabrotica waterhousei* (Jacoby) (Coleoptera: Chrysomelidae). Vaquita, tortuguilla.**

*D. waterhousei* es similar a *D. balteata*; sin embargo tiene como plantas hospederas el cultivo de camote, ayote y maíz, por lo cual se debe tener cuidado en las rotaciones con estos cultivos.

**Ciclo de vida.** los adultos presentan dos tipos de coloraciones marcadas pardo-oscuro y la mitad trasera de los élitros pardos oscuros.

**Daño y control.** De la misma forma que *D. balteata*.

***Cerotoma ruficornis* (Olivier) (Coleoptera: Chrysomelidae). Chinilla negra, Vaquita, Tortuguilla)**

*C. ruficornis* es causante de daños en plantas pequeñas de leguminosas entre estas el frijol, y se asocia al virus del Caupí.

**Ciclo de vida.** Es similar a *D. balteata* sin embargo este insecto se diferencia en la coloración en los estados adultos. Estos presentan un color oscuro amarillo con cuatro manchas negras en los élitros. En ocasiones son machas rojas, de antenas pequeñas y engrosadas en el centro. Una banda central que generalmente es continua y convergen con las últimas manchas en los élitros. El protórax es de color anaranjado o rojo y la cabeza de color negra. Miden entre 4 y 6 mm en forma ovalada.

**Daño.** El daño es similar a *D. balteata*.

**Control.** Similar al de *D. balteata*.

***Cerotoma salvinii* (Baly) (Coleoptera: Chrysomelidae). Vaquita, Tortuguilla**

*C. salvinii* es similar a *C. ruficornis* sin embargo este cambia por algunas coloraciones a nivel de adulto donde las últimas manchas posteriores en los élitros, no convergen con las banda central. Estas manchas están bien definidas ya que están separadas de los márgenes de la banda central.

**Daño.** el daño es similar al de *D. balteata*.

**Control.** Similar al de *D. balteata*.

***Cerotoma atrofasciata* (Jocoby) (Coleoptera: Chrysomelidae). Conchita, Vaquita, Tortuguilla)**

*C. atrofasciata* es similar a *C. ruficornis* y *C. salvinii*, sin embargo, se diferencia por algunas coloraciones a nivel de adulto. La diferencia con *C. ruficornis* y *C. salvinii* es la observación de un élitro de color negro totalmente, con presencia de manchas rojas irregulares o atípicas con un margen en la banda central bien definido, de protórax rojo claro y cabeza negra.

**Daño.** El daño es igual a *D. balteata*.

**Control.** De la misma forma que *D. balteata*.

***Gynandrobrotica lepida* (Say) (Coleoptera: Chysomelidae). Tortuguilla, Vaquita**

*G. lepida* se encuentra ubicado por todo Centro América presentando problemas desde México hasta las zonas de Panamá. El insecto ataca cultivos de fabáceas principalmente frijol y soya.

**Ciclo de vida.** El adulto tiene un tamaño aproximado entre 5 y 7 mm desde la parte superior de la cabeza hasta la parte terminal de los élitros, presentan la cabeza y pronoto de color anaranjado-rojizo y rojos. Los élitros son de color negro con cuatro puntas amarillas donde el par frontal tienen forma de “coma”.

**Daño.** El daño es causado por el adulto, causando disminución del área fotosintéticamente activa y disminución del crecimiento de la planta, se alimenta de las hojas emergentes y hojas superiores de la planta.

**Control.** El control en cultivo de frijol radica en el muestreo y el control de familias de crisomélidos, se considera nivel crítico para control de la plaga la presencia de un insecto en cada dos plantas muestreadas en un mismo sitio.

**Control biológico.** La aplicación de *Beauveria bassiana* efectúa un buen control de los insectos. Además se han encontrado depredación por chinches de la familia Reduviidae.

**Control cultural.** Eliminar plantas hospederas de estos insectos en ausencia del cultivo, utilizar cultivos trampa fuera de las plantaciones específicamente fabáceas o cucurbitáceas.

***Gynandrobrotica variabilis* (Jocoby) (Coleoptera: Chysomelidae). Tortuguilla, Vaquita**

*G. variabilis* es similar a *G. lepida*, sin embargo, se distingue por algunas coloraciones a nivel de adulto donde son de color negro con presencia de una división roja transversal y manchas en los húmeros.

**Daño y control.** Similar que *G. lepida*.

***Dipahulaca panamae* (Barber) (Coleoptera: Chysomelidae). Tortuguilla, Vaquita**

*D. panamae* se encuentra situada en la región sureste de Costa Rica y Panamá, de ahí el nombramiento de la especie. Se ha encontrado en cultivos de frijol tapado, y otras fabáceas entre estas la *Mucuna*.

**Ciclo de vida.** Presenta élitros azul brillantes, de apariencia metálica, pronoto y la cabeza son de color naranja-rojo. Presentan un tamaño entre 4-5 mm con el abdomen y las patas de color pardo-naranja.

**Daño.** Presentan dos tipos de daño en las plantas de frijol, en estados larvales se alimentan de raíces secundarias y primarias durante todo el estadio. Los adultos perforan el follaje en forma de agujeros causando una alta defoliación cuando las poblaciones son grandes.

**Control.** Por tratarse de crisomélidos, el control es similar que *G. lepida*. Sin embargo, es importante controlar la plaga cuando se presenten un promedio de dos o más insectos en plantas menores a 4 semanas.

***Dipahulaca wagneri* (Harold) (Coleoptera: Chysomelidae). Tortuguilla, Vaquita**

Este insecto *D. wagneri* es similar que *D. panamae*, sin embargo, las patas y el abdomen son de color negro.

**Daño y control.** Igual que *D. panamae*.

***Altica spp.* (Coleoptera: Chysomelidae). Tortuguilla, Vaquita, Pulga saltona**

La especie *Altica spp* se distribuye por todo Centroamérica, se han reportado daños en varios cultivos hortícolas, viñedos y muchas variedades de frijoles.

**Ciclo de vida.** Los adultos son característicos por saltar rápidamente cuando sienten la presencia de depredadores, de 4-9 mm, algunas especies tienen aspecto metálicos azulados, otras son de color oscuras a negras. Se alimentan en grupos principalmente en meristemos y envés de las hojas.

**Daño.** Los insectos se alimentan de los folíolos del frijol, reduciendo el área foliar y por ende el crecimiento de la planta. Cuando se presentan altas poblaciones reducen las partes blandas de las hojas dejando solo las venas en forma de esqueleto.

**Control.** Igual que *D. panamae*.

***Spissistilus festinus* (Say) (Homoptera. Membracidae) Periquito tricornio, Lorita, Esperancita**

*S. festinus* se distribuye desde el sur de Estados Unidos y América del Sur, principalmente donde los climas son tropicales.

**Ciclo de vida.** Los huevos se encuentran cerca de la superficie del suelo principalmente cerca del tallo, algunos se han encontrado sobre la superficie del suelo en forma de rejillas. Generalmente son colocados en grupos, duran aproximadamente entre 14 – 40 días dependiendo de la región. Las ninfas presentan 5 estadios, son de color pardo – gris con presencia de pubescencias frágiles, se encuentran cerca de donde son colocados los huevos, las ninfas se alimentan del tallo situándose en la base del tallo y zona cercana a las raíces, para convertirse en adultos duran entre 3 – 10 semanas según su alimentación temperatura. Los adultos presentan una coloración verde a verde claro, de forma triangular con bordes rojizos en el pronoto, tienen un tamaño entre 6-8 mm de largo, y presentan saltos cuando se encuentran en presencia de peligro.

**Daño.** El insecto es un chupador y se alimenta principalmente del tallo y la intersección de las hojas, en algunos casos las ninfas pueden alimentarse de las raíces. Pueden ocasionar debilitamiento y marchites de las plantas cuando las poblaciones son altas. Los adultos se alimentan de las hojas, peciolos, tallos y partes superiores de la planta. Se han asociado a la atracción de hormigas cortadoras de follaje.

**Control.** El control en *S. festinus* es escaso en las plantaciones de frijol, la categoría de plaga se alcanza muy esporádicamente; el control es mediante prácticas culturales.

**Control biológico.** Investigaciones a nivel de invernadero han demostrado depredación de *S. festinus* por los insectos *Geocoris punctipes* y *Nabis roseipennis*.

**Control químico.** Es recomendado no aplicar insecticidas preventivos ya que reduce la presencia de enemigos naturales en los agroecosistemas. El uso de frijol tapado, evita la presencia de *S. festinus*.

***Ceresa* spp. (Homoptera: Membracidae) (Periquito)**

*Ceresa* spp. es un género poco estudiado, se encuentra distribuido en América Central principalmente entre Costa Rica y Honduras, en cultivos de arroz y frijoles.

**Ciclo de vida.** No se encuentran muchas descripción de los huevos ni estados ninfales de *Ceresa* spp. Sin embargo, en el estado adulto son de color verde rojizo con marcas de colores brillantes, cabeza triangular de manera más larga que ancha, el pronoto es enfatizado lateralmente en forma de espinas cortas.

**Control y daño.** Por ser de la familia Membracidae es similar a *S. festinus*.

***Epilachna varivestis* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae). Conchuela, Totuguilla del frijol, Mariquita del frijol, Escarabajo mexicano del frijol)**

*E. varivestis* se distribuye desde la parte norte de América del Sur, América Central y el sur de Estados Unidos causando problemas en fabáceas principalmente frijol y soya.

**Ciclo de vida.** Los huevos son ovalados, de color amarillo a amarillo-anaranjado, puestos en masas entre 25 y 60 unidades en el envés de las hojas. Las larvas presentan cuatro estadios con coloraciones que van desde amarillo hasta blanco verdoso, principalmente en los primeros estadios. Entre sus principales características presentan seis hileras de setas ramosas con puntas negras en el dorso. Las pupas son de color amarillo, se sitúan en las partes proximales de las hojas, o en vegetaciones cercanas a las fabáceas. Los adultos presentan una forma redondeada o hemisférica, de un tamaño entre 6 - 7 mm, en los élitros presentan puntos negros en forma de hileras. Son de color bronce-cobrizo lo cual se torna más opaco con la edad (Figura 22).



**Figura 22.** Adulto y daño al follaje causado por *Epilachna varivestis* (Foto Helga Blanco).

**Daño.** Presentan agresividad cuando las poblaciones son de intermedias a altas, y el frijol está en sus primeras etapas de crecimiento. Se alimentan de los tejidos del envés en forma de un raspado entre las venas, dejando una lámina en el haz en las hojas. Las plantas brindan un aspecto reticulado o esqueletizado lo cual provoca una deficiencia en la fotosíntesis de las planta disminuyendo los asimilados. Cuando las poblaciones son altas pueden provocar marchitamiento y hasta muerte de las leguminosas atacadas. Si las plantas sobreviven a un ataque del insecto puede provocar baja productividad del cultivo.

**Control.** Se recomienda realizar muestreos constantes del cultivo, debido a que las plagas son esporádicas. La detección temprana puede prevenir una disminución en las pérdidas al final del ciclo siempre y cuando se realicen las medidas respectivas. Se ha detectado un nivel crítico de 25 % antes de floración y un 15 % después de floración.

**Control cultural.** No realizar siembras en altas densidades y evitar la incorporación de rastrojo al suelo.

**Control biológico.** Los insectos *Pediobius epilachnae*, *Aplomyopsis epilachnae*, *Strongygaster triangulifera*, *Sarcophaga rheinhardi* son parasitoides de larvas. *Comeomegilla maculata*, *Hippodamia convergens* son depredadores de huevos y larvas jóvenes. Las avispas Eulophidas y moscas Tachinidas parasitan larvas y pupas. El uso de *Beauveria bassiana* ayuda a controlar los adultos en campo.

**Control químico.** Se debe realizar control químico cuando presente dos insectos en plantas adultas en cualquier etapa y uno por cada cinco plantas jóvenes Sevin 5 % en una dosis de 20 lb.mz<sup>-1</sup> y Malathion 57 % a 3 cc.L<sup>-1</sup> brindan buen control en los adultos y estados larvales del insecto. Por otro lado se recomienda insecticidas granulados en el suelo, el cual no tenga contacto con las semillas de frijol.

#### ***Epilachna mexicana* (Guérin) (Coleoptera: Coccinellidae). Conchuela**

*E. mexicana* es similar a *E. varivestis*, sin embargo, es menos frecuente en el frijol. Difieren en algunas características en sus etapas de crecimiento.

**Ciclo de vida.** Huevo generalmente se agrupan en grupos de 84 y 126 colocados en el envés de las hojas. Larvas difieren de *E. varivestis* ya que son de color negro y las setas amarillo y ramificadas. El adulto a diferencia de *E. varivestis* es más grande de 9 – 11 mm de longitud, presenta diez manchas amarillas pálidas o rojizas en los élitros.

Daño y control: Por ser similar a *E. varivestis* presentan el mismo control.

#### ***Empoasca* spp. (Homoptera: Cicadellidae). Saltahojas, Chicharritas, Langostinos, Lorito verde**

*Empoasca* spp. presenta una gran distribución en todo el continente americano, comenzando desde el sur de Estados Unidos hasta América del Sur, afectando cultivos de fabáceas y hortalizas principalmente: frijol, papa, camote; y otros.

**Ciclo de vida.** Los huevos son depositados en los tallos, venas de las hojas y peciolos individualmente insertados fuertemente a los tejidos de la plantas. Las ninfas son de color blanco translúcido, en forma de cono; presentan 5 estadios. Los adultos son de color verde plateado con presencia de manchas blancas en la cabeza y en la parte anterior del tórax, miden hasta 3 mm de largo. Entre las características de movimiento caminan hacia los lados y se desplazan por saltos o volando cuando se encuentran en peligro.



**Daño.** Ninfas y adultos se alimentan de la savia del envés de las hojas, causando un corrugamiento o achaparramiento cuando las poblaciones son altas debido a la inyección de toxinas. Así mismo, se pueden encontrar clorosis de las hojas y necrosis en los bordes. Si la plaga no se controla y llega a floración, existe pérdida de la productividad del cultivo, al reducir el número de vainas y retrasar el crecimiento. Las plagas son beneficiadas en épocas de verano.

**Control.** El nivel crítico para este insecto es de 1 adulto por planta o 3 ninfas por cada 10 plantas muestreadas, el muestreo debe ser preciso y moverse continuamente el follaje de la planta.

**Control cultural.** El uso de gramíneas como bordes en los cultivos reduce las poblaciones del insecto, se recomienda el uso de maíz intercalado con frijol. Programar fechas de siembra para que la planta no se desarrolle en periodos de sequía y calurosos. El uso de tiempos de descanso con barbecho ayuda a reducir la plaga.

**Control biológico.** Las avispas *Anagrus* sp., *Gonatocerus* sp., *Gonatopus* sp. parasitan huevos y son depredadores.

### ***Leptoglossus zonatus* (Dallas) (Hemiptera: Coreidae). Chinche, Chinche pata de hoja, Chinche patón**

*L. zonatus* tiene amplia distribución de hospederos y cultivos, se distribuye desde la parte sur de Estados Unidos hasta América del Sur, situándose principalmente en Centro América. Esta plaga es una de las más importantes cuando se presentan condiciones secas, principalmente cuando baja el periodo de precipitaciones.

**Ciclo de vida.** Los huevos son de color verde, se tornan pardo – gris cuando se acercan a la eclosión lo cual tardan aproximadamente en 4 – 6 días. Los huevos son colocados en hojas y tallos cerca de las venas, principalmente en grupos formando una fila o en ocasiones cadenas de más de 20 individuos. Las ninfas pasan por 3 etapas de color bien definidas, rojo cuando se presentan después de la emergencia, posteriormente se tornan anaranjadas en etapas intermedias y cuando se acercan a adultos coloraciones anaranjadas – negro o negras, cuando se encuentra de este último color se parecen a los adultos, sin embargo, no presentan el desarrollo de alas. Los adultos miden de 20 – 25 mm de longitud son de color negros claros o pardos oscuros. La característica más distintiva del insecto son las elongaciones en las tibias posteriores, lo cuales tienen formas de hojas extendidas. Además cuando las alas se encuentran extendidas presentan una coloración naranja en forma de zig-zag, así mismo las antenas presentan bandas alternas de color negros y anaranjadas y son de forma alargadas (Figura 23).



**Figura 23.** Adulto de *Leptoglossus zonatus* (Foto bugguide.net).

**Daño.** *L. zonatus* se alimenta de savia de las plantas, ocasionando daños en desde la etapa de ninfa hasta la etapa de adulto. No se considera una plaga seria en frijol, sin embargo, en poblaciones altas pueden reducir el crecimiento y bajar la productividad de las plantas. Cuando se realizan muestreos se ubican principalmente en las hojas inferiores del frijol principalmente cerca de los tallos. Así mismo, cuando la planta se encuentra en llenado de vaina se encuentran daños en las vainas lo que causa deformaciones y necrosis de tejidos, es importante destacar que las picaduras pueden causar la entrada de patógenos.

**Control cultural.** Es importante evitar las cercanías de los cultivos maíz, sorgo y frutales debido a su desarrollo en los mismos. Los insectos se encuentran principalmente en una sola planta al inicio, la detección temprana es fundamental ya que puede eliminar manualmente la plaga, así mismo el uso de cultivos trampas antes de la etapa de floración y llenado de vainas pueden prevenir el ingreso del insecto a las plantaciones. Es importante controlar la plaga *in situ* cuando los cultivos trampas presentan el desarrollo de las chinches.

**Control biológico.** Se han reportado a *Gryon pennsylvanicum*, *Ooencyrtus* sp., *Neorileya ashmeadi*, *Telenomus goliathus*, *Cephalonomia* sp. parasitando los huevos, así mismo *Geocoris puntipes* y *Solenopsis invicta* como depredadores de los huevos. Los adultos presentan como parasitoide a *Trichopoda pennipes* y *Gryon* sp.

**Control etológico.** El aceite de Neem (*Azadirachta indica*) en concentraciones de 5 % diluido 500 ml de agua caliente a 80 °C.

**Químico.** Se recomienda el uso de cipermetrina, fenvalerato, carbaril, abamectina, malathion.

***Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). Chinche verde, Chinche hedionda, Maya verde**

*N. viridula* es una especie que afecta diversidad de cultivos y que presenta una gran cantidad de hospederos.

**Ciclo de vida.** El huevo es de color blanco oscuro o amarillo cremoso o verde pálido, de forma de barril, antes de eclosionar se tornan amarillos o rojizos. Son colocados en masas de 20-300 huevos sobre el haz de las hojas. Los grupos de huevos son colocados en forma de una figura hexagonal. Las ninfas presentan cinco estadios, tienen forma redondeada, de color negro y abdomen rojo en los primeros dos estadios, en el tercero son negros con manchas rojas y blancas en la parte inferior. En los últimos estadios presentan un cambio de color marcado a verde – claro con tonalidades blancas, negras y rojas en distintas partes. Los adultos presentan una tonalidad verde brillante en la parte superior, verde pálido o claro en la parte inferior, un escutelo triangular con tres puntos amarillos. Presentan antenas delgadas y tienen una longitud de 16 mm y tienen un olor fuerte repulsivo cuando se sienten amenazadas (Figura 24).



**Figura 24.** Hembra de *Nezara viridula* ovipositando. (Foto Jo Diez).

**Daño.** similar a *L. zonatus*.

**Control.** Las chinches presentan un nivel crítico en plantas de frijol, se estima que dos adultos o ninfas grandes por m<sup>2</sup> durante la formación de vainas y llenado.

**Control cultural.** Cuando se encuentra incidencia de plagas en el cultivo es importante no realizar segundas siembras en el campo, y dejar las zonas en barbecho para regular las poblaciones de la chinche. Se recomienda realizar rotación de cultivos de distinta familia a las fabáceas.

**Control biológico.** Se encuentran parasitoides de huevos principalmente avispas himenópteras. Algunas moscas tachínidas parasitan a las ninfas y los adultos.

**Control etológico y químico.** similar al de *L. zonatus*.

***Acrosternum spp.* (Hemiptera: Pentatomidae). Chinche verde del frijol, Chinche hedionda, Maya verde**

Este insecto *Acrosternum spp* es similar a *N. viridula*, sin embargo, los huevos son colocados en grupos de 8 – 12 en las zonas cercanas al tallo en hojas bajas en el envés de las hojas. Las ninfas al emerger son de color amarillo pálido, cambiando a blanco moteado y negras. Los adultos son más pequeños que *N. viridula* miden aproximadamente 10 – 13 mm de longitud, presentan una línea en los márgenes naranja – amarillo a lo largo del pronoto y el abdomen. Tienen una proyección marcada hacia adelante entre las coxas posteriores en forma de espina ventral.

**Daño y control.** Similar a *N. Viridula*.

***Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera. Pentatomidae). Chinche, Chinche de la soja**

*P. guildinii* se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina. Ataca principalmente arroz, leguminosas y chile.

**Ciclo de vida.** Los huevos tienen forma cilíndrica, de color gris oscuro con una banda central y transversal blanca; son colocados en el envés de hojas bajas cercanas al tallo o en las flores. Hay cinco estadios ninfales de color verde a rosado con manchas rojas y negras en el dorso del abdomen y dos rayas negras en el tórax. Los adultos miden entre 7 y 9 mm de longitud, presentan una banda de color amarillo oscuro sobre el pronoto, son de color verde plateado claro, presentan una espina ventral alargada que se hacia adelante llegando a las cosas de las patas intermedias.

**Daño.** Los adultos y ninfas succionan la savia de tallos, vainas, y venas de las plantas, dejándolas arrugadas y manchadas. Pueden transmitir enfermedades.

**Control.** Similar a *N. Viridula*.

## Ácaros

***Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Arañitas, Arañita roja, Arañuelas**

*T. urticae* es una plaga polífaga que ataca diversidad de cultivos, principalmente cuando las plantas se encuentran en estados vegetativos avanzados. Este ácaro es conocido como arañitas rojas y se encuentran muy visiblemente en el envés de las hojas, principalmente por la formación de telarañas entre una planta y otra cuando las poblaciones son altas.

**Ciclo de vida.** Los huevos duran aproximadamente de 3 a 5 días, son de forma de globo, translúcidos, colocados aisladamente en forma dispersa y fijado por un hilo de seda en la hoja. Las hembras

adultas pueden poner entre 100 – 120 huevos, con una tasa diaria de 3 a 5 huevos. Posteriormente presentan tres estados inmaduros los cuales consisten en un estado de larva, un estado de protoninfa y de deutoninfa, donde se alimentan de las venas de las hojas presentes en el envés bajo la cubierta de telaraña donde se protegen hasta completar esos estados. Los adultos miden entre 0,4 y 0,7 mm siendo la hembra mucho más grande que el macho, son de aspectos rojo y verdosas en ocasiones con parches oscuros (Figura 25). Estos pueden vivir entre 15 y 25 días según las condiciones donde se encuentren.



**Figura 25.** Adulto de *Tetranychus urticae*.

*T. urticae* se alimenta de la savia que se encuentran en las venas y lámina en el envés de las hojas, lo que provoca que las hojas presenten un corrugamiento con presencia de clorosis en forma de puntos, puntos bronceados o blancos en el haz, lo cual en ocasiones es confundido con virosis (Figura 26). Cuando no se controla eficazmente las plantas pueden debilitarse severamente causando necrosis y pérdida del área foliar, así como altas densidades de telaraña entre las plantas. *T. urticae* es abundante en épocas de baja precipitación donde se encuentran altas temperaturas y baja humedad relativa.



**Figura 26.** Daño en frijol por *Tetranychus urticae*.

**Control.** El monitoreo es fundamental en el manejo del ácaro. Las poblaciones generalmente se sitúan en pequeños sitios dentro del cultivo y conforme aumentan las poblaciones, también su área de afectación. Un diagnóstico temprano puede beneficiar el control ya que puede situarse las aspersiones o medidas respectivas en el sitio específico.

**Control cultural.** El uso de barbecho o dejar las fincas a libre crecimiento de malezas durante unos meses, incentiva al aumento de depredadores de los ácaros manteniendo un equilibrio dinámico entre las poblaciones.

**Control biológico.** Entre los posibles enemigos naturales se encuentran las familias Anthocoridae, Lygaeidae, Phytoseiidae, Coccinellidae, Chrysopidae, Coniopterygidae, Thripidae, Cecidomyiidae, Reduviidae.

**Control etológico.** El uso de productos a base neem: Neem Pro, Organic Neem y Natuneem han dado resultados positivos en el control de la plaga.

**Control químico.** El control de *T. urticae* es principalmente estudiado en otros cultivos con menor tolerancia al daño. Es importante aplicar productos registrados para el tipo de ácaro en específico de manera que puede efectuarse rotación de modos de acción para no causar problemas de resistencia o eliminación de la fauna útil. El uso de piretroides ha sido efectivo principalmente cipermetrina y deltametrina.

***Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) y *T. neocaledonicus* (André) (Acari: Tetranychidae). Arañita, Arañita carmín, Araña roja**

*T. cinnabarinus* es similar a *T. urticae* realizan una incisión en el tejido epidérmico, absorbiendo y removiendo gran cantidad de contenido celular, eliminando los cloroplastos y destruyen las células del parénquima. Esto causa una clorosis en la planta y disminución de la tasa fotosintética.

**Ciclo de vida.** La morfología de los huevos (3 – 4 días) posee una superficie lisa de forma esférica, son de color translucidos y claros en algunas ocasiones con presencia brillante. En días cercanos a la eclosión son de color amarillentos rojizos o blanquecinos opacos. En estado larval (2 – 3 días) posee seis patas, es de forma ovalada, su color cambia de acuerdo a los contenidos alimenticios, al final de periodo se tornan opacos. El estado de ninfa (4 – 5 días) posee ocho patas, de aproximadamente 0,36 mm. Los adultos (11 – 15 días) son de aproximadamente 43 - 50 mm, los machos son más pequeños que las hembras, son de color amarillo pálido en los machos y rojo claro en las hembras. El ciclo se llega a completar durante 25 días aproximadamente.

**Control.** El control biológico, cultural y químico es similar a *T. urticae*.

***Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). Acaro tropical, Acaro amarillo del té, Acaro blanco**

*P. latus* es una plaga que ataca diversidad de cultivos y cosmopolita ya que se encuentra distribuida en muchos países. Se han reportado en más de 60 familias de plantas hospederas entre estas las Fabaceae. Los reportes en frijol indican que es de poca importancia, sin embargo, en condiciones de baja temperatura y humedad, potencializan su ataque.

**Ciclo de vida.** Los huevos generalmente son depositados individualmente en el envés de las hojas apicales y flores jóvenes. Son de color transparentes con manchas blancas distribuidas alrededor del mismo, en promedio la hembra produce entre 40 y 50 individuos. Los huevos eclosionan aproximadamente en dos días y el desarrollo de las larvas y pupas requieren entre dos a tres días.

Generalmente los machos adultos emergen primero son de color amarillos claros de 1,5 mm de largos en forma de pera y son aproximadamente la mitad del tamaño de las hembras. Para garantizar su reproducción llevan las pupas de las hembras a los tejidos más jóvenes para aparearse apenas emerjan. El ciclo de vida completo dura aproximadamente una semana en condiciones favorables y se sitúan en hojas que no se encuentren completamente abiertas.

**Daño.** En frijol se presenta los síntomas en las hojas jóvenes y son muy visibles. El envés de las hojas se torna de color púrpura y generalmente las hojas tienden a arrollarse, formar corrugación o deformación y cuando las poblaciones son altas se encuentran presencia de tejidos corchosos entre las venas. Si la planta se encuentra en estados de producción se encuentra clorosis en las hojas y un color púrpura en la superficie de las vainas. Las observaciones en campo indican que puede existir confusión entre los síntomas del daño del ácaro con virus o bien con deficiencias de nutrientes menores y daño por herbicidas.

**Control.** Se recomienda realizar muestreos continuos en las plantas cuando se encuentre la presencia de daño en las hojas y ubicar los pequeños grupos o sitios en donde se están concentrando e iniciando la infestación, con el fin de realizar controles programados en sitios específicos. Es importante después de realizar los controles respectivos, muestrear continuamente cada 8 días por motivos de re-infestación, debido a que el daño puede continuar apareciendo durante dos semanas después del control exitoso.

**Control biológico.** el uso de *Amblyseius largoensis* en liberaciones de cuatro y ocho depredadores por planta controla eficazmente *P. latus*.

**Control químico.** Los productos pueden variar de acuerdo a su modo de acción sin embargo, para frijol se utiliza el hidrocarburo clorado en aspersiones cada 2 semanas. Estudios en *Capsicum annuum* revelaron que la abamectina y el polisulfuro de calcio controlan al ácaro.

## Fase reproductiva. Granos y semillas

### *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). Gorgojo, Brunco del frijol

*A. obtectus* puede provocar importantes pérdidas a nivel poscosecha principalmente en la calidad de los granos y la cantidad, cuando no se controlan efectivamente. Se han reportado pérdidas de hasta 35 % cuando no se cuentan con la experiencia, cuidados y los recursos necesarios para su control.

**Ciclo de vida.** Los huevos son de color blanco y de forma ovalada, estos son depositados en las vainas antes de que esta maduren y pierdan humedad, así mismo pueden ser colocados en los granos almacenados. Las larvas presentan 4 estadios, son de color blancas, gruesas, carente de patas y la cabeza de color café oscuro. Estas realizan una incisión en los granos donde se alimentan de los cotiledones y el embrión del grano, posteriormente empupan dentro del grano donde desarrollan una membrada de color blanco en el agujero de incisión formando una capsula interior donde luego salen los adultos ya formados. Los adultos tienen un tamaño aproximada entre 2 y 3 mm, son de color gris o pardo con marcas pálidas longitudinales. Estos tienen un tiempo de vida corto lo que ocasiona una activa reproducción y diseminación de huevos. El insecto dura aproximadamente de 30 a 40 días para completar su ciclo de vida. Las larvas confeccionan agujeros en las semillas ingiriendo los cotiledones y el embrión. Estos forman agujeros redondos de aproximadamente 2 mm de diámetro los cuales son característicos en su identificación. Generalmente el problema se genera en campo ya que el material infestado es almacenado con los huevos de *A. obtectus*.

**Control biológico.** Entre sus enemigos naturales existe un parasitoide en estado larval de la familia Entodontidae y género *Horismenus* sp.

**Control cultural.** Es importante realizar un buen manejo poscosecha de los granos, cabe decir que la mayor probabilidad de presentar problemas de *A. obtectus* proviene del campo, es por esa razón que se recomienda realizar incorporación de residuos en campo, secar el grano al sol volteándolo constantemente para bajar la humedad, guardar el grano sin basura, cubrir la semilla o granos con ceniza, pimienta en polvo, arena, o aceite vegetal comestible con el fin de cortar el ciclo de vida del insecto. No obstante, la limpieza en las bodegas es esencial ya que el grano pasará mucho tiempo almacenado mientras se consume o se siembra. La limpieza previa a almacenaje en los pisos, paredes, eliminación de granos con presencia del gorgojo y residuos de cosecha pueden evitar las pérdidas sin necesidad que el grano venga contaminado del campo.

**Control etológico.** Por otro lado, extracto caliente de hoja de Batamote (*Bacharis glutinosa*), extracto caliente de raíz de eucalipto (*Eucaliptus globulos*), extracto frío de raíz de batamote y oleoresina extraída de semilla de Jícama (*Pachyrhizus erosus*) han demostrado buenos resultados en el control de *A. obtectus*.

**Control químico.** Se recomienda aplicar productos cuando se encuentren presencia de adultos en vainas en campo, también se puede aplicar insecticidas en las bodegas previos a almacenaje. En frijoles para consumo los piretroides dan buenos resultados.

#### ***Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera.Bruchidae). Gorgojo común de frijol, Gorgojo mexicano**

*Z. subfasciatus* es similar a *A. obtectus* lo cual causa pérdidas a nivel de poscosecha.

**Ciclo de vida.** El insecto presenta un ciclo similar a *A. obtectus*, los huevos son de color translúcidos-blancos de forma hemisférica y se adhiere fuertemente en la superficie de la semilla. Las larvas tiene el mismo comportamiento a *A. obtectus*, sin embargo una vez que estas pupan recubren con una membrana las cavidades de la semilla. Una vez desarrollado el adulto permanecen durante unos días dentro del grano. Los gorgojos presentan unas manchas color crema en el tórax y alas, son de color café oscuro y las hembras son mucho más grandes que los machos. El ciclo de vida dura aproximadamente 25 días.

**Control.** Similar a *A. obtectus*, el uso de cultivares resistentes y cosecha de granos con vaina pueden reducir el daño del gorgojo.

## Literatura consultada

- Alcántara, J., T. Santillán, G. Otero, A. Mora, M. Gutiérrez y E. Hernández. 2011. Relación entre *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) y el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p). *Revista Colombiana de Entomología*. 37(2):228-233.
- Argolo, P. 2012. Gestión integrada de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): optimización de su control biológico en clementinos. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. España, Valencia. 121 p.
- Blanco-Metzler, H., y A. González. 2003. Producción de lechuga. Universidad de Costa Rica- Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 30 p.
- Bolaños, A. 1998. Introducción a la olericultura. San José, Costa Rica, EUNED. p. 298-299
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Principales crisomélidos que atacan el frijol y su control: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Calí, Colombia. 24 p.
- Creighton C., and G. Fassuliotis. 1985. *Heterorhabditis* sp. (Nematoda: Heterorhabditidae): A Nematode Parasite Isolated from the Banded Cucumber Beetle *Diabrotica balteata*. *Journal Nematology* 17(2): 150 – 152.
- Coto, D., y J. Saunders. 2004. Insectos plagas de cultivos perennes con énfasis en frutales en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-Universidad EARTH. Turrialba, Costa Rica. 420 p.
- Cueva, M. 1979. Biología de la “arañita roja del algodonoero” *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acarina: Tetranychidae). *Rev. Peruana de Entomología*. 21(1):50-54.
- Fernández, M., J. Rangel, J. Juárez, R. Bujanos, S. Montes, y M. Mendoza. 2009. Oleorresina de Jicama para controlar *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae) en semillas de frijol. *Agronomía Mesoamericana* 20(1):59-69.
- García, C., M. Berenice, y N. Bautista. 2011. Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Colombiana de Entomología* 37(2): 217-222.
- Gómez V., E. Gaona, O. Arias, M. López, y E. Ocampo. 2013. Aspectos biológicos de *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) criados con diferentes dietas en condiciones de laboratorio. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 72(2) 27-34.
- Hossain S., M. Haque, y N. Naher. 2006. Control of two spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) by some selected chemicals. *University Zoological Rajshahi* 21(1):15-18.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2005. Guía técnica de las principales plagas artrópodos y enfermedades de los frutales. Programa nacional de frutas del Salvador. San Salvador, El Salvador. 71 p.
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología). 2008. Manual de recomendaciones técnicas. Cultivo de frijol. San José, Costa Rica. 98 p.



- King, A.B.S. y J.L. Saunders. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. Tropical Development and Research Institute. Londres. 182 p.
- Lomer, Cj, RP. Bateman, H. De Groote, D. Dent, y C. Kooyman. 1999. Development of strategies for the incorporation of microbial pesticides into the integrated management of locusts and grasshoppers. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 71-88.
- Mancía, J., y M. Cortaz. 1972. Evaluación de insecticidas para el control de la conchuela del frijol *Epilanchna varivestis* (Mulsant). Programa Cooperativo Centroamericano de Cultivos Alimenticios. IICA. México. 233 p.
- Medal, J., A. Mueller, T. Kring, and E. Gbur. 1995. Developmental stages of *Spissistilus festinus* (Homoptera: Membracidae) most susceptible to hemipteran predators. *Florida Entomologist* 78(4): 561 – 631.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería/ Servicio Fitosanitario del Estado. 2012. Listado preliminar de plagas (insectos y ácaros) en cultivos de importancia económica en Costa Rica. [www.sfe.go.cr/plagas/html](http://www.sfe.go.cr/plagas/html)
- Montoya, A. 2011. Control de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) con el ácaro depredador *Amblyseius largoensis* (Muma) en la producción protegida de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Resumen de tesis Doctoral. *Revista de Protección Vegetal* 26(2): 136-136.
- Montasser, A., A. Taha, A. Hanafy, y G. Hassan. 2011. Biology and control of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). *International Journal of Environmental Science and Engineering* 1: 26-34.
- Nava, E., P. Gastélum, R. Camacho, B. Valdez, C. Bernal, y R. Herrera. 2010. Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai* 6(1):37-43.
- Ocampo, J. 2010. Susceptibilidad de larvas y adultos de la conchuela del frijol *Epilanchna varivestis* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae), a aislados nativos de *Beauveria bassiana* y (Balsamo) vuillemin (Hypocreales: Clavicipitaceae). Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 46 p.
- Ochoa, P., y M. Carballo. 1993. Efecto de varios insecticidas sobre *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) y su parasitoides *Diglyphus isaea* Walker (Hymenoptera: Eulophidae). *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 26: 8–12
- Rizzo, H. 1968. Aspectos morfológicos y biológicos de *Nezara viridula* (L) (Hemiptera: Pentatomidae). VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. *Agronomía Tropical*. Macaray Venezuela. pp. 249-274.
- Saunders, J.L., DT. Coto, y A.B.S. King. 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios de América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 305 p. (Serie Técnica: Manual Técnico/ CATIE: no. 29)
- Serrata, G., N. La Porta. 2001. Aspectos biológicos y reproductivos de *Piezodorus guildinii* (West.) (Hemiptera: Pentatomidae) en condiciones de laboratorio. *Agriscientia* 17(1): 51-57.
- Soto, A., H. Oliveira, y A. Pallini. 2011. Integración de control biológico y de productos alternativos contra *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Rev. U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 14(1):23-29.

Stephen, R. 1980. The population dynamics of several herbivorous beetles in a tropical agroecosystem: the effect of intercropping corn, beans and squash in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology* 17(3): 593 – 611.

Tamayo, P.J., y M.E. Londoño. 2001. Manejo integrado de las enfermedades y plagas del frijol. Manual de campo para su reconocimiento y control. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia (Colombia). Boletín Técnico N° 10. 80 p.

Tepole, R. 2011. Ciclo biológico y análisis de riesgos de *Leptoglossus zonatus* Dallas (Heteroptera: Coreidae) para el sorgo en el estado de Morelos. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro de desarrollo de productos bióticos. Yautepec, México. 67 p.

Werdin, J., y A. Ferrero. 2008. Tabla de vida y fecundidad de *Nezara viridula* var. *Smaragdula* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentándose sobre frutos de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). *Dialnet* 26(1): 9-13.

## CAPÍTULO 7

# ACONDICIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL

*Marta Montero Calderón  
Adriana Murillo-Williams*

### Introducción

La semilla garantiza la continuidad de los cultivos en el tiempo y el espacio, y por tanto, es esencial protegerla y conservar sus atributos de calidad y potencial de germinación mediante el diseño y selección de operaciones eficientes de cosecha, acondicionamiento y almacenamiento entre los ciclos productivos (Latournerie et al 2009). En muchos casos, el almacenamiento se hace por unas pocas semanas o meses, sin embargo, por lo general se requiere mantenerla en almacenamiento por períodos más prolongados.

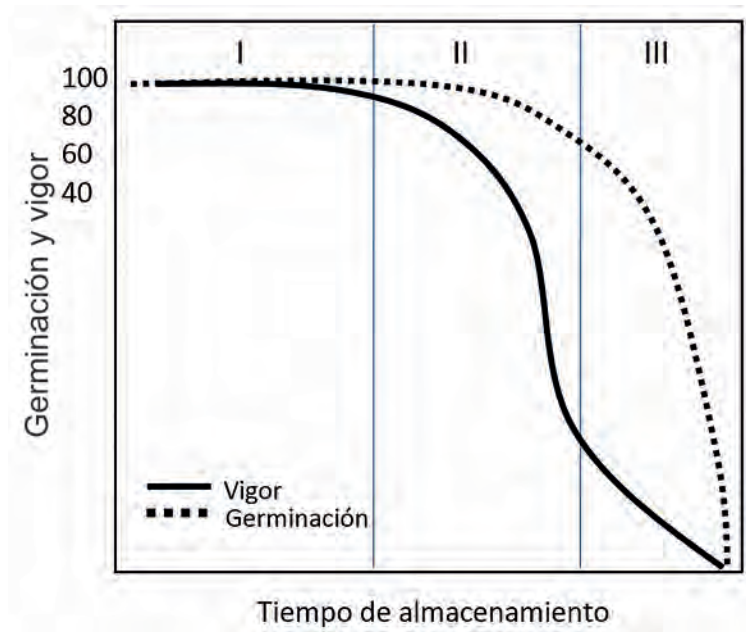
En el cultivo del frijol, muchos de los agricultores producen y almacenan su propia semilla, entre ciclos de producción, bajo sistemas tradicionales y con equipos e instalaciones que no brindan la protección requerida y acortan el tiempo en que estas pueden almacenarse. Si las condiciones de producción, manejo y almacenamiento no son las adecuadas, crece el riesgo de que la semilla pierda su potencial germinativo, se contamine con microorganismos y además se convierta en un medio de transporte de patógenos a otras zonas de producción. En México y Cuba, más del 80 % de la semilla usada por los agricultores es propia, cerca de un 15 % se adquiere localmente y entre el 1 % y 2 % se compra en el mercado formal (Latournerie et al., 2009). Por tanto, las mejoras en la conservación de la calidad deben darse tanto en el nivel industrial como en el de los pequeños productores que producen y almacenan su propia semilla.

En este capítulo se analizan las etapas por las que pasa la semilla: durante el secado, los principios y la operación de secado, la clasificación, empaque, almacenamiento y los factores internos y externos que afectan su calidad y vida útil. Se da un enfoque a las operaciones en plantas acondicionadoras, pero los principios y recomendaciones también pueden aplicarse en pequeña escala.

### Generalidades de las semillas de frijol

La calidad de la semilla puede mantenerse por un período determinado de tiempo que depende de su tipo y las condiciones de almacenamiento. La longevidad o capacidad de almacenamiento se refiere al tiempo en que un lote de semillas puede mantenerse viable, bajo condiciones específicas de temperatura, humedad relativa, composición atmosférica, iluminación y su contenido de humedad.

Las etapas en la vida de las semillas cosechadas luego de alcanzar la madurez fisiológica son descritas por Gregg y Billups (2009, 2010b): la primera es un periodo en que tienen una alta viabilidad y sufren poco deterioro; en el segundo período se reduce la capacidad de germinación rápidamente y en el tercer período, el deterioro se hace más lento, hasta que todas las semillas mueren (Figura 1).



**Figura 1.** Cambios en la viabilidad y el vigor de las semillas durante el almacenamiento.

Para conservar la viabilidad de la semilla durante el almacenamiento, hay que tomar en cuenta los factores que la afectan, que incluyen aquellos relacionados directamente con la semilla y su producción, como la especie, la composición química, lugar de siembra, clima, prácticas agrícolas y otros factores precosecha, y los que tienen que ver con la cosecha y manejo poscosecha de la semilla, las operaciones de acondicionamiento y el tiempo y las condiciones de almacenamiento.

La capacidad de germinar de las leguminosas puede extenderse hasta por 200 años, aunque en general pueden almacenarse entre cinco y 25 años, de acuerdo con Pérez-García y Pita-Villamil (2001). Para el caso de las semillas de frijol, estos autores reportan una longevidad de 18 años, con 99 % de germinación. Por otro lado, Justice y Bass (1978) señalan que el frijol común tiene un valor de índice de almacenamiento relativo de 2, lo cual significa que se espera que el 50 % de las semillas germine después de tres a cinco años de almacenamiento. Estas diferencias tan contrastantes evidencian que la capacidad de almacenamiento y longevidad de la semilla dependen de muchos factores, y que para optimizar su conservación es necesario conocer las características del material, el efecto de las prácticas de campo, cosecha, manejo poscosecha acondicionamiento y particularmente, las condiciones de almacenamiento.

En general, la longevidad aumenta con la reducción de la temperatura de almacenamiento y del contenido de humedad de la semilla, siempre y cuando las temperaturas no sean inferiores a las de congelación, no causen daños por frío, y los niveles de humedad no sean muy bajos, pues esto las hace más susceptible a daños mecánicos y los tejidos pueden sufrir daños irreversibles. Las condiciones óptimas de almacenamiento varían de acuerdo a la tolerancia al frío.

La calidad de la semilla varía durante el crecimiento y desarrollo en la planta. Después de la cosecha la calidad no mejora, por lo que la etapa de producción define en gran medida la viabilidad, vigor y longevidad. Por tratarse de productos vivos, su actividad biológica es afectada por una serie de factores, que pueden ser controlables en menor o mayor grado, como la selección de los materiales para la producción de semillas, los terrenos y su preparación para la siembra, las prácticas

culturales que se le harán al cultivo, la implementación de buenas prácticas agrícolas para proteger el producto de la contaminación física, química y microbiológica, la definición del momento y la forma de cosecha, el manejo cuidadoso para evitar daños mecánicos y la preparación para el almacenamiento y comercialización (Araya y Hernández 2008). Algunos de estos factores se controlan con decisiones antes de la siembra y buenas prácticas durante las etapas precosecha y poscosecha, sin embargo otros pueden salirse de control por situaciones de estrés de la planta. Seguidamente se describen algunos de estos factores.

**Índice de cosecha:** El índice de cosecha es un indicador que define el grado de madurez que debe tener el frijol en el momento de la cosecha, y afecta directamente la calidad, potencial de almacenamiento y la susceptibilidad a daños mecánicos durante el manejo. En general las semillas alcanzan su máximo potencial cuando han alcanzado su madurez fisiológica, ya que antes de esta, se encuentran inmaduras y pueden presentar problemas de forma, tamaño, arrugas, bajo peso, deficiencias de color, altos contenidos de humedad, menor germinación y vigor, y ser menos resistentes al trasiego, acondicionamiento y almacenamiento.

La semilla de frijol es ortodoxa, por lo que en la etapas finales de la maduración sufre una paulatina pérdida de agua, que las prepara para resistir las condiciones ambientales adversas (Buitink et al., 2006; Wolk et al., 1989). Durante este período también se activan genes relacionados con el rescate de células, la respuesta al estrés y a la defensa contra patógenos (Buitink et al., 2006). Las semillas ortodoxas en general pueden almacenarse por períodos muy prolongados; sin embargo, la longevidad potencial es afectada por efectos acumulativos del ambiente durante su maduración, por la cosecha, las condiciones antes del almacenamiento, la duración y condiciones de secado y de almacenamiento, además del genotipo y el origen de la semilla (Hong y Ellis, 1996; Ellis 1992).

Los índices de cosecha utilizados para la producción de semilla de frijol son a) cambio de color del 90 % de las vainas; y b) hojas amarillas que se caen por vejez, cambios que señalan que se ha alcanzado la madurez fisiológica del producto (IICA 2009). En este momento, el contenido de humedad puede variar entre 20 % y 35 %.

**Contenido de humedad de la semilla, CH:** El contenido de humedad es la cantidad de agua respecto a la masa total de la semilla. El agua contenida en las semillas, puede estar fuertemente ligada a grupos iónicos u otros del producto, o puede estar libre, en los espacios intercelulares. Cuando el CH es alto, el deterioro es más rápido y la semilla se hace más susceptible a los tratamientos químicos y físicos para el control de hongos e insectos (Mahapatra y Lan 2007). En Costa Rica, según un diagnóstico realizado en cuatro plantas de ASOPROs (Asociación de Pequeños Productores) de la región Brunca, el CH de las semillas de frijol en el momento de la cosecha varía de 25 a 32 % (Miranda, 2010). Valores de CH superiores al 13 % son la principal causa del deterioro en la etapa poscosecha (Gregg y Billups, 2010b), por lo que las semillas deben secarse rápidamente.

En el Cuadro 1 se muestra el efecto del contenido de humedad sobre la calidad y susceptibilidad de las semillas a daños mecánicos y al ataque de hongos e insectos. Se observa que cuando el CH es mayor al 13 %, tienden a ser más susceptibles al ataque de insectos y hongos, aunque entre 13 % y 18 %, se reporta un aumento en la resistencia de la semilla a los daños mecánicos; entre 4 % y 13 %, la tasa de deterioro es menor, así como la actividad de los hongos e insectos. Sin embargo, CH por debajo 4 % también las hace más sensibles a los daños mecánicos. Por tanto, el CH de la semilla debe reducirse por debajo del 13 % después de la cosecha, tan pronto como sea posible, con el fin de minimizar el deterioro y pérdida del valor comercial de la semilla, pero no por debajo del 4 %.

**Cuadro 1.** Efecto del contenido de humedad sobre la calidad de la semilla.

Contenido de humedad (CH) (%)	Efecto sobre la condición de la semilla
35-80	CH de las semillas durante el desarrollo
18-40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CH de las semillas al alcanzar su madurez fisiológica</li> <li>• Tasa respiratoria es alta por lo que puede ocurrir calentamiento si la ventilación no es adecuada</li> <li>• Semillas susceptibles al deterioro bajo las condiciones de campo</li> <li>• Hongos e insectos muy activos</li> <li>• Semilla susceptible a daños mecánicos en la cosecha y manejo del producto.</li> </ul>
13-18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tasa respiratoria es alta por lo que puede ocurrir calentamiento de la semilla</li> <li>• Hongos e insectos pueden dañar al producto</li> <li>• Semillas son muy resistentes al daño mecánico</li> </ul>
10-13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las semillas pueden almacenarse por 6-18 meses bajo condiciones ambientales favorables de temperatura y HR</li> <li>• Insectos permanecen activos y pueden dar problemas</li> <li>• Semillas son susceptibles a los daños mecánicos</li> </ul>
8-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las semillas almidonosas pueden almacenarse de 1 a 3 años bajo buenas condiciones de almacenamiento</li> <li>• Baja actividad de insectos, sin embargo no se elimina</li> <li>• Semilla muy sensible a los daños mecánicos</li> </ul>
4-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El CH es seguro para colocar semillas en envases sellados con resistencia al paso de vapor de agua</li> </ul>
0-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semilla puede dañarse por el bajo contenido de humedad</li> <li>• Semilla muy susceptible a los daños mecánicos</li> </ul>

Como se ha señalado, el contenido de humedad incide sobre la estabilidad de la calidad de la semilla. En frijol el CH y la temperatura de almacenamiento tuvo un gran efecto sobre los cambios de color de tres tipos de frijoles blancos (Karathanos et al., 2006); al aumentar la temperatura de almacenamiento de 25°C a 45°C el producto se oscureció más rápidamente, y cuanto mayor era el CH, más rápido fue el deterioro del color. Aunque la tonalidad fuerte de los frijoles rojos y negros, no permite detectar los cambios en el color durante el almacenamiento, los estudios de Karathanos et al., (2006) mostraron que los productos cambian a través del tiempo, y que es importante utilizar las mejores condiciones de almacenamiento, para minimizar el deterioro y prolongar la vida útil de las semillas de frijol.

El efecto del CH sobre las propiedades físicas mecánicas del frijol mungo, uno de los más importantes en India, Pakistán, Irán, Tailandia, Filipinas, China, Estados Unidos y Australia fue estudiado por Ghasemlou et al., (2010). Estos autores observaron que la densidad, la porosidad, la esfericidad del producto y la fuerza de ruptura disminuyen al reducir el CH, lo cual resulta en semilla de frijol más resistente a los daños mecánicos, propiedad muy conveniente para el trasiego, almacenamiento y su comercialización.

Contenido de humedad en el equilibrio, CHE: Es el contenido de humedad en el cual las semillas alcanzan un equilibrio con el ambiente que las rodea. El CHE se alcanza cuando la presión de vapor interna (dentro de la semilla) está en equilibrio con la presión de vapor en el exterior por lo que ésta no pierde ni gana más humedad.

Daños mecánicos: Las semillas de frijol son susceptibles a daños mecánicos durante el trasiego, ya que reciben golpes contra otras semillas o la superficie de los equipos y sufren roces y compresión cuando los impactos son superiores a los que puede resistir. Los golpes crean fisuras que permiten la entrada de patógenos, el quiebre de cotiledones y otros daños mecánicos, a causa de un manejo y trasiego descuidado del producto, conllevan a una mayor fragilidad y deterioro. Estos daños pueden producir quebraduras que se detectan fácilmente, o pueden producir daños internos que no se ven desde el exterior como grietas que pueden dañar o desproteger al embrión y que pueden afectar la capacidad de germinación y hacer que sea menos tolerante a los tratamientos químicos. Se recomienda que en el manejo de semillas se eviten alturas de caída libre de más de un metro sobre superficies duras o sobre otras semillas (Gregg y Billups, 2009).

La sensibilidad a los daños mecánicos varía con el contenido de humedad de la semilla; en general estas son más sensibles cuando el CH es menor al 10 % o mayor al 18 % (Gregg y Billups, 2009), que corresponde a los CH de la semilla en el campo, durante el manejo poscosecha y parte del proceso de secado, en el que el CH cambia de 25 % o más, a valores cercanos al 13 %. Los daños mecánicos pueden reducirse con un manejo cuidadoso durante la cosecha, manejo en el campo y la planta procesadora, que permitan minimizar los golpes y roces entre granos y con otras superficies duras. Durante las operaciones de acondicionamiento, se deben reducir la altura de caídas, utilizar materiales acolchados o absorbentes de la energía del impacto en las superficies en que la semilla pueda golpear, reducir las velocidades de trasiego (bandas, elevadores y otros) o utilizar reductores de velocidad que no le permitan a la semilla aumentar la energía de impacto de la caída.

Temperatura de la semilla, Ts: La temperatura afecta directamente la actividad respiratoria y otras funciones metabólicas de la semilla. En el campo, la semilla suele estar a una temperatura similar al ambiente, un poco más fría en las primeras horas del día y más caliente cerca del medio día o cuando está expuesta directamente al sol. Por tratarse de un producto vivo, también genera calor

como resultado de la respiración, y ésta se acelera conforme aumenta la temperatura, lo que eleva la temperatura aún más. Para proteger la semilla contra el deterioro después de la cosecha, es necesario mantenerla en un lugar fresco y con buena ventilación en espera de las operaciones de acondicionamiento. Cuando la semilla se almacena a granel o en sacos, la temperatura en el centro de la estiba o sacos tiende a ser mayor que en la parte externa debido al calor producido por la semilla y por la falta de circulación de aire, lo cual podría provocar daños tanto en la viabilidad de la semilla y favorecer el crecimiento de insectos y patógenos. Por lo anterior, la medición de la temperatura de la semilla debe realizarse en las en la parte central de las estibas o los sacos donde se almacenan la semillas.

Plagas y patógenos: La semilla puede ser atacada por microorganismos patógenos, saprófitos y otras plagas en el campo, después de la cosecha y durante el almacenamiento, situaciones que pueden afectar la calidad y provocar grandes pérdidas económicas. Se requieren estrategias de control integrado de plagas en el campo, la planta procesadora y los sitios de almacenamiento. Las estrategias de control pueden ser físicas, mediante control del contenido de humedad de la semilla, las condiciones de temperatura, humedad relativa y la composición de la atmósfera, o por métodos químicos o biológicos.

El exceso o falta de lluvia, condiciones extremas de temperatura y humedad relativa en el campo, el ataque de plagas y patógenos son algunos de los inconvenientes que pueden ocurrir durante la etapa de producción. Aunque estas situaciones no se pueden controlar, en cultivos que así lo permitan, su efecto se puede minimizar al producirlas en ambientes protegidos (invernaderos), con lo cual se pueden obtener de mejor calidad, mayor uniformidad, al controlar las condiciones ambientales. También se pueden seleccionar campos con un historial de baja incidencia de enfermedades, de buena fertilidad, aislado, así como ajustar fechas de siembra y cosecha para que estas sean favorables para el desarrollo de la planta y desfavorables para el ataque de plagas y enfermedades.

## **Acondicionamiento de la semilla de frijol**

La calidad de la semilla de frijol no mejora después de la cosecha ni durante el almacenamiento, y eventualmente, el deterioro es inevitable e irreversible, lo cual puede suceder en semanas, meses o años. Sin embargo, la calidad del lote puede protegerse y conservarse por un mayor tiempo mediante tratamientos preventivos, que minimicen su deterioro hasta su uso final. El término acondicionamiento utilizado en este capítulo, se refiere a las etapas a las que se somete la semilla de frijol desde la cosecha hasta que está lista para almacenarse.

Después de la cosecha, la semilla debe pasar por una inspección, así como operaciones de limpieza, secado, clasificación, empaque y almacenamiento, en las cuales se verifica su calidad inicial, se separa del material indeseable y se remueve parte del contenido de humedad de la semilla, para estabilizar y, conservar su pureza, vigor, capacidad de germinación, valor comercial y minimizar las pérdidas durante el almacenamiento. Posteriormente, se clasifica, se empaqueta y mantiene bajo las condiciones óptimas de almacenamiento. Estas etapas involucran 1) movimiento y trasiego del producto en los cuales la semilla se somete a esfuerzos de compresión, impacto y fricción; 2) procesos térmicos para el secado con controles de la temperatura y humedad relativa del aire que regulan la disminución del contenido de humedad de la semilla; 3) clasificación y empaque para preparar la semilla para el almacenamiento bajo ambientes controlados; y 4) tratamientos químicos, físicos o biológicos para el control de patógenos e insectos. Previo a su acondicionamiento y



durante todo el proceso, es importante realizar una limpieza de los elevadores y bandas de trasiego, los pisos, equipos y del sistema en general, con el fin de evitar la posible contaminación por restos de semillas de otros lotes (Gregg y Billups, 20010a).

La Figura 2 muestra un diagrama del acondicionamiento para las semillas de frijol. En este capítulo, el análisis de cada etapa o fase se discute separadamente en tres secciones: 1) operaciones previas al secado (recepción, identificación, control de calidad y pre-limpieza); 2) secado de la semilla; y 3) operaciones posteriores al secado (limpieza, selección, clasificación, tratamientos químicos o físicos, pesado y envasado, almacenamiento y distribución). Cabe destacar, que si bien las fases que aquí se analizan son similares a las usadas para el frijol para consumo alimenticio, los cuidados y controles deben ser más rigurosos, dada la importancia de mantener la viabilidad de la semilla hasta su siguiente uso.



**Figura 2.** Operaciones poscosecha para el acondicionamiento y secado de las semillas de frijol

## Operaciones previas del secado

Este apartado comprende las fases por las que pasa la semilla desde que llega a la planta hasta que está lista para el secado. La preparación de la semilla tiene por objeto eliminar impurezas, insectos, y semillas con daños físicos y patológicos. Además de la limpieza, dentro de todos los factores que se deben tomar en cuenta para el manejo de lotes de semillas es el CH en el momento de la cosecha ya que limita el almacenamiento y por lo tanto, es necesario reducirlo rápidamente después de la cosecha, para evitar el crecimiento de microorganismos y aumentar su potencial de almacenamiento.

De acuerdo a la zona y la temporada de cosecha, es posible cosechar lotes con CH bajos y cercanos al óptimo para almacenamiento (de 13 % a 18 %). Bajo estas condiciones se puede proceder al trillado manual o mecanizado, operación en la que las semillas se separan de la planta y de la vaina con el fin de ser acondicionadas. Estudios realizados en semillas de leguminosas indican que éstas son particularmente sensibles al daño mecánico causado por las trilladoras, sin embargo, la resistencia al daño puede variar de acuerdo a la variedad de frijol utilizado y su CH. Cuando esta

operación se realiza en semillas con un CH de 9,7 % a 12,3 %, el daño causado es mayor que en semillas trilladas con CH de 15,3 % (Barriga (1961). En general, el CH óptimo para realizar esta operación es entre 14 % y 15 %. Para semillas con CH mayores de 18 % al momento de la cosecha, el trillado manual resulta una mejor opción para conservar la calidad de la semilla.

## Recepción, identificación y control de calidad

Después de la cosecha y el trillado, las semillas son transportadas a la planta acondicionadora, generalmente en sacos de aproximadamente 46 kg (100 lb). A su llegada, se pesan, se registra el ingreso y se toma una muestra representativa del lote para analizar su calidad (Araya et al., 2013). El control se hace para asegurar que la semilla cumpla con los requerimientos para una mayor eficiencia de las operaciones en la planta procesadora. Otras inspecciones de calidad se hacen a lo largo de las fases de acondicionamiento y secado y durante el almacenamiento y su comercialización.

Se debe llevar un registro de los lotes de semilla recibidos, en el que se incluyan el origen de la semilla (finca, productor, lote, fecha de entrega, etc.), la cantidad entregada y toda la información necesaria que permita identificar la muestra y su procedencia. En este momento se mide el CH para determinar los requerimientos de secado; la cantidad de impurezas, para definir como removerlas y definir si el lote de producto se acepta o se rechaza y se hace un estimado de la capacidad de germinación y la pureza de las semillas (Gregg y Billups, 2010a).

## Pre-limpieza

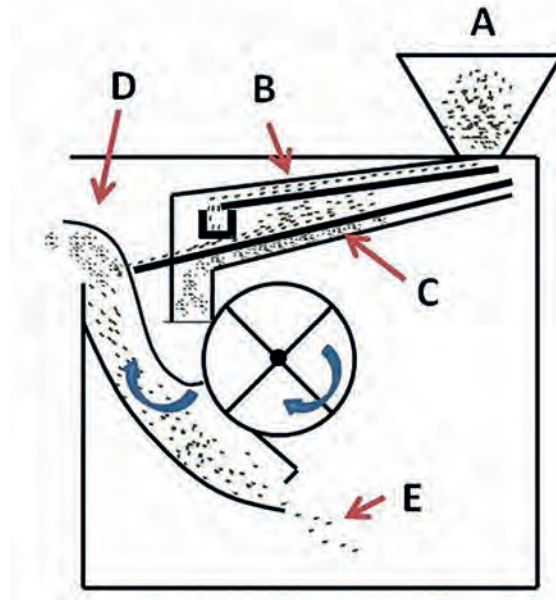
La primera operación de acondicionamiento es la pre-limpieza, que consiste de la separación de las semillas de la vaina, eliminación de semillas de malezas o arvenses, de otros cultivares de frijol, y de otros materiales que no son semillas, como follaje, terrones de suelo, piedras y otros materiales inertes que puedan estar presentes (Kester, Davies y Geneve, 2002). En esta primera fase, se elimina el grueso de impurezas que vienen con las semillas de frijol del campo. Para ello, es necesario identificar las características de la materia extraña que deben eliminarse; compararlas con las de la semilla y seleccionar el equipo y condiciones de operación para separarlas (tipo de malla, separadores de cilindro o de disco, separadores por gravedad, etc.). Cuanto más diferentes sean de la semilla, más fácilmente podrán separarse.

En la planta de beneficio de la semilla, y luego de ser trillada, puede pasar por una cribadora-ventiladora de aire, normalmente situada al inicio de la cadena de acondicionado y que consiste de una serie de cribas de metal o alambre, que también contribuyen a eliminar restos de materia extraña.

La selección del equipo y sus condiciones de operación dependerán de los criterios de selección y tolerancia de defectos que se requieran a la salida de este proceso, en cuanto a la forma, tamaño, densidad específica y color de la semilla, como la presencia de plagas, daños y restos de materia extraña.

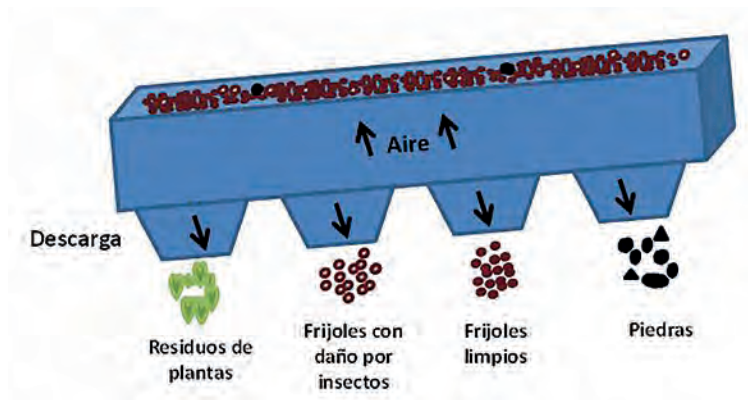
Los equipos utilizados para la pre-limpieza buscan eliminar distintos tipos de impureza, para lo cual pueden combinar dos o más mecanismos de separación como los son la aireación, el zarandeo o la separación por gravedad (Figuras 3 y 4). Con la aireación, una corriente de aire separa materiales livianos y polvo, y se utilizan mallas con diferentes tamaños de perforación, por lo que las semillas se separan de otros materiales por peso y ancho de las partículas (Lloyd y Moonga, 1997)

mientras que las impurezas más livianas son eliminadas por una corriente de aire (Vaughan et al., 1970). Con el zarandeo, la separación de los materiales se hace por vibración. Para la separación por gravedad se utilizan cernidores de discos o mallas con orificios de forma y dimensiones conocidos para la separación según las características de la semilla.



**Figura 3.** Separador por aireación forzada. A) Alimentación de la semilla; B) Movimiento del material sobre la criba superior (con perforaciones más grandes que la semilla); C) Criba inferior, retiene la semilla, perforaciones son de menor tamaño que la semilla; D) La semilla pasa por una columna de aire (del ventilador) para remover basuras livianas y polvo; E) La semilla limpia se deposita en el fondo de la cámara.

Adaptado de: [http://www.duntonfarms.com/tools/clipper\\_grain-bean.html](http://www.duntonfarms.com/tools/clipper_grain-bean.html)



**Figura 4.** Separación de frijol en una mesa de gravedad en diferentes fracciones que se descargan a un costado de la mesa.

En la plataforma de las separadoras por gravedad ocurre una estratificación donde las semillas más pesadas son enviadas hacia la parte de arriba donde se descargan gracias al movimiento y la pendiente de la plataforma (Figura 4). Aunque las semillas que han sido dañadas por hongos o insectos y las vanas pueden tener el mismo tamaño que las semillas sanas, su peso difiere, ya que la

gravedad específica de estas es menor que el de las sanas, por lo que esta técnica permite una buena separación de estos materiales. Para el correcto funcionamiento de la separadora por gravedad específica, es necesario ajustar la inclinación de la plataforma (lateral y terminal), la velocidad de alimentación de la máquina, el control de aire y la velocidad de oscilación (Vaughan et al., 1970).

El principal beneficio de la operación de pre-limpieza es la separación de todo material extraño y selección el producto para que sean solamente las semillas de frijol las que continúan en la línea de acondicionamiento y entran al secador, con lo cual se facilita el manejo, se reducen los costos energéticos y se incrementa la eficiencia de secado. Si la operación de pre-limpieza no se realiza, se ve comprometida la uniformidad del secado del lote de semillas, además de que se invierte tiempo y energía en el secado de materiales que posteriormente deberán ser eliminados. La eficiencia de la maquinaria en esta operación, se mide en términos de qué tan bien se pueden eliminar los contaminantes y materia extraña indeseable, sin dañarla y sin perder semilla de buena calidad durante el acondicionado. Cuando la limpieza es mecanizada, la calidad de los lotes de semilla tiende a ser más uniforme y se reduce el tiempo de acondicionado y los costos por mano de obra. La pre-limpieza mecanizada es ágil, sin embargo, requiere una buena selección de los separadores, mallas, velocidades de vibración o flujo de aire a usar y controles frecuentes para vigilar que se esté eliminando el material indeseable de forma adecuada, sin perder mucha semilla buena (Gregg y Billups, 2009b).

## Secado

Con el secado se reduce el CH de la semilla hasta un nivel en que se pueda conservar por un mayor tiempo, sin perder sus atributos de calidad, viabilidad y por consiguiente, sus posibilidades de almacenamiento y comercialización. Con un menor CH se reduce la velocidad de la respiración y de las reacciones de deterioro, se inhibe el crecimiento de hongos y el ataque de insectos, se logra estabilizar el grano o semilla para que pueda ser almacenado por periodos prolongados, se aumenta la resistencia de la semilla al manejo y trasiego y se facilita su preparación para el almacenamiento y distribución.

Tanto las condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, como las propiedades térmicas y condiciones iniciales de la semilla afectan el tiempo de secado y la calidad final. En general, el uso de temperaturas muy altas puede afectar negativamente la viabilidad de la semilla, mientras que temperaturas muy bajas pueden hacer que el proceso sea muy lento y favorecer el deterioro de ésta antes de alcanzar el CH requerido.

La respuesta de la semilla al contacto con el aire durante el secado puede variar entre lotes de producción, por diferencias en las prácticas agrícolas, clima y otros factores pre-cosecha, y el CH en el momento de la cosecha, ya que estos pueden afectar su susceptibilidad a daños físicos por los cambios rápidos en el CH o la temperatura.

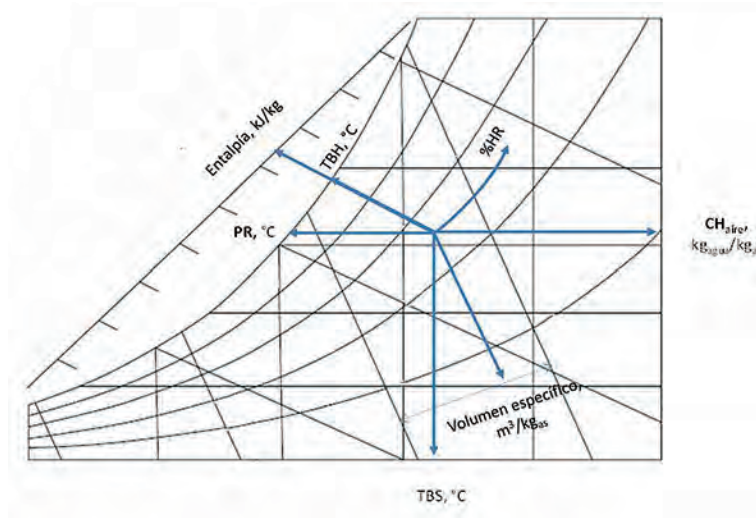
Dada la importancia del secado en la calidad y vida comercial de las semillas de frijol, en este apartado se analizarán los fundamentos y métodos de secado y sus variables de control.

## Propiedades del aire

El aire tiene la función de calentar la semilla, facilitar la pérdida de humedad de la semilla y acarrear la humedad extraída hacia el ambiente. Por ello, es necesario comprender como las propiedades y condiciones del aire durante el secado afectan la eficiencia del proceso y la calidad y ca-

pacidad de almacenamiento posterior de la semilla. El aire es una mezcla de gases, principalmente nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

La psicrometría estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo, que pueden variar significativamente de un lugar a otro, o incluso a lo largo del día en el mismo lugar, y también pueden modificarse intencionalmente, mediante cambios en la temperatura, o la adición o remoción de agua. El estudio del comportamiento de la mezcla aire y vapor puede hacerse mediante el uso de una carta psicrométrica (Figura 5). Las características de esta mezcla se definen seguidamente (Sokhansanj y Jayas, 2006).



**Figura 5.** Carta psicrométrica en la que se señalan cómo leer los parámetros de la mezcla aire-agua: TBS (temperatura del aire), TBH (temperatura de bulbo húmedo), PR (punto de rocío), %HR, entalpía, CH<sub>aire</sub> y Volumen específico.

Adaptado de: Sokhansanj y Jayas (2006)

Para entender la carta psicrométrica, se deben conocer las siguientes definiciones:

**Temperatura de bulbo seco, TBS.** Está definida como la temperatura del aire, tomada con un termómetro de mercurio. En la Figura 5, se lee en el eje horizontal (unidades de grados Celsius). El aire rodea a la semilla desde el campo hasta el almacenamiento y hay una constante interacción entre ellos. Durante el secado, la temperatura del aire (TBS) es del orden de 40 °C, que al estar en contacto con la semilla, hace que la Ts aumente; después del secado y durante el almacenamiento, la TBS es menor, lo cual permite reducir la temperatura de la semilla y mantenerla a las condiciones requeridas. La rapidez con que ocurre el cambio de la temperatura de la semilla como respuesta al contacto con el aire depende de varios factores, como la velocidad y temperatura del aire, el tipo y dimensión de los empaques o estibas, la diferencia entre la temperatura de la semilla y la del aire, y las propiedades térmicas de la semilla.

**Contenido de humedad o humedad absoluta, CH<sub>aire</sub>.** Se refiere a la cantidad de masa de agua que tiene el aire por unidad de masa de aire y es expresada en términos de kg<sub>agua</sub>/kg<sub>aire</sub>

**Temperatura de bulbo húmedo, TBH:** Es la temperatura que marca un termómetro, cuyo bulbo está envuelto en un algodón humedecido con agua destilada y expuesto a una corriente de aire (5 m/s). Mide la depresión de la temperatura por un proceso adiabático hasta llegar a la saturación del aire.

Las líneas de TBH aparecen inclinadas en la Figura 5. El valor de la TBH se lee sobre la línea de saturación, según se indica en la figura (unidades de grados Celsius).

**Presión de vapor,  $P_v$ .** Es la presión parcial del vapor de agua en el aire a una temperatura específica (unidades de Pa).

**Presión de saturación,  $P_{vs}$ .** Es la presión parcial del vapor de agua en una mezcla saturada de vapor de agua a una temperatura específica (unidades de Pa).

**Humedad relativa, HR.** Es la razón porcentual entre la presión de vapor del agua en el aire y la presión de vapor del agua en aire saturado a la misma temperatura, por lo tanto es una medida de saturación de humedad del aire, que se expresa como porcentaje. Es una medida de la saturación del vapor de agua en el aire y afecta directamente el intercambio de masa en forma de vapor de agua entre la semilla y el aire que la rodea, y por tanto la calidad de la semilla, porque ésta puede ganar o perder humedad. Valores de un 30 % a 50 % indican que el aire tiene una presión de vapor baja respecto a la presión de saturación, mientras que un valor de 100 % HR, indica que el aire está saturado, por lo que no puede absorber más agua, de modo que si se hiciera pasar sobre la semilla, no podría absorber agua de esta, e incluso, podría humedecerla (aumentar el CH). Las líneas de humedad relativa en la Figura 5, son las líneas curvas ascendentes de izquierda a derecha (unidades: %).

El agua en forma de vapor de agua dentro de la semilla, tiene también una presión de vapor parcial respecto a la presión de saturación, que dentro de la semilla se mide como actividad de agua. El gradiente de presiones de vapor del agua entre la parte interna de la semilla y el aire que la rodea tiende a alcanzar un equilibrio. Por esta razón, la semilla debe mantenerse bajo condiciones de baja humedad en el aire que la rodea después del secado, para evitar o minimizar la ganancia de humedad durante el almacenamiento, ya que las semillas por lo general son muy higroscópicas después del secado.

La humedad relativa y la temperatura tienen un efecto sinérgico y pueden acelerar el deterioro de la semilla. Al incrementar la temperatura y la humedad de almacenamiento, la calidad del frijol en almacenamiento se deteriora rápidamente (Uebersax y Bedford (1980) citado por y Siddiq y Uebersax, 2012). Estos autores mostraron que el crecimiento de hongos y la descoloración ocurre tanto a 20°C como a 30°C cuando la humedad relativa del ambiente es mayor a 75 %. Sin embargo, las pérdidas en la calidad del producto fueron menores en frijol almacenado a 12,7°C y una humedad relativa ambiental entre 75 % y 86 %.

**Humedad relativa de equilibrio, HRE.** Es la HR del ambiente en equilibrio con el CHE de la semilla, condición para la cual se igualan la presión de vapor del agua en el aire y en la semilla, por lo que esta no gana ni pierde humedad.

Entalpía(h): Es la energía o contenido calórico del aire húmedo por unidad de masa de aire seco, las líneas de entalpía son paralelas a las de la TBH en la carta psicrométrica (Figura 5) (unidades de kJ/kg<sub>as</sub>).

**Punto de rocío, PR.** Es la temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse como resultado de un enfriamiento a presión constante. Se puede leer en la carta psicrométrica siguiendo una línea horizontal hasta alcanzar la línea de saturación (100 % HR) (unidades de grados Celsius).

**Volumen específico, V.** Mide el volumen que ocupa el aire húmedo por unidad de masa de aire seco. El valor del volumen específico se interpola de las líneas inclinadas paralelas unidas por una línea de puntos en la Figura 5 (unidades de m<sup>3</sup>/kg<sub>as</sub>).

**Capacidad del aire para absorber humedad, C.** Se refiere a la cantidad de humedad que puede absorber el aire antes de saturarse. Cuanto más baja sea la HR del aire, mayor será el gradiente entre la presión de vapor interna (dentro de la semilla) y el aire que la rodea; esto hará que la transferencia de masa (pérdida de humedad) sea más rápida y que el aire pueda absorberla rápidamente. Por el contrario, cuanto más se aproxime al 100 % (saturación), será menor la capacidad del aire de absorber la humedad de la semilla, y esto resultará en una pérdida de humedad más lenta.

## Propiedades de la semilla que afectan el secado

Para entender las propiedades térmicas y físicas de la semilla que afectan el secado, se deben conocer las siguientes definiciones:

**Calor específico, Cp.** Se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar en un grado Celsius la temperatura de una unidad de masa de un producto (unidades de kJ/kg/K).

**Conductividad térmica, k.** Es una medida de la facilidad con que el calor se transmite a través de un producto (unidades de W/K/m).

**Tamaño, forma y densidad de la semilla.** Las características físicas de las semillas afectan la transferencia de calor y masa que ocurre durante el secado, y la capacidad de secado, dado que según se acomodan, pueden facilitar o dificultar la circulación del medio enfriante (aire) y la transferencia de calor y masa (Jayas y Cenkowski, 2006)

**Estructura y composición de la semilla.** La velocidad con que la humedad se mueve del centro de la semilla hacia la superficie varía con su estructura y composición.

### *Contenido de humedad inicial de la semilla*

En el momento de la cosecha, el CH del frijol puede alcanzar valores superiores al 20 % y para el almacenamiento de semillas, ésta debe reducirse a 13 %. Valores de CH iniciales de 24 % y 22 % para semillas de frijol común de los cultivares México 89 y Pacuaral, respectivamente fueron indicados por Alizaga (1985). Bajo tales condiciones el deterioro fue muy rápido, especialmente porque favoreció el crecimiento de hongos e insectos, y aceleró la actividad metabólica y el calentamiento de las semillas, lo cual incidió negativamente en su viabilidad. Adicionalmente, con un alto contenido de humedad tienden a ser más susceptibles a los daños por altas temperaturas (55 °C – 65 °C).

Otros factores internos que afectan el CH inicial de la semilla incluyen el grado de madurez y la variedad, mientras que los factores externos incluyen las condiciones de estrés a que haya sido sometida la semilla en las etapas de cosecha y pre-cosecha del frijol, como por ejemplo, la incidencia directa del sol, la temperatura externa y el clima.

## La operación de secado

El secado expone a la semilla a un flujo de aire con una temperatura superior a la del ambiente. Con el secado, el CH se reduce hasta los niveles óptimos que permiten un almacenamiento prolongado, y el posterior uso de la semilla. El reglamento técnico centroamericano RTCA 65.0.53:10 (2010) establece un contenido máximo de humedad de 13 % para semillas de frijol, el cual es inferior al contenido requerido para frijol destinado para el consumo según el reglamento técnico costarricense RTCR 384:2004 (16,0 % para los grados 1 y 2 de calidad).

El secado tiene dos componentes: una transferencia de calor, mediante la cual el aire caliente transfiere energía a la superficie del producto y de allí se transfiere calor hacia la parte interna de la semilla hasta alcanzar el equilibrio y una transferencia de masa, que ocurre en dos etapas: a) la humedad en la superficie de la semilla es removida por el aire, que debe pasar por la semilla y tener suficiente capacidad de absorber la humedad; y b) la humedad en el centro de la semilla migra hacia la superficie donde se transfiere al aire.

Si la capacidad del aire es suficiente, este continuará absorbiendo el agua que llega a la superficie de la semilla, hasta que se alcance el equilibrio. Antes de ingresar al secador, el aire se calienta, lo cual hace que la HR disminuya y aumente su capacidad de absorber humedad. Luego, cuando el aire caliente pasa por esta, absorbe la humedad en la superficie externa, y la acarrea hasta el exterior del secador.

La rapidez y efectividad con que ocurre el secado depende de las condiciones de la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura de la semilla de frijol, así como de las condiciones de equilibrio (HRE) producto, y de las condiciones de equilibrio entre ambos. Sin embargo, la velocidad con que libera humedad al ambiente tiende a ser mucho mayor que la velocidad con la que la humedad migra hacia la superficie de la semilla, lo cual limita la velocidad de enfriamiento.

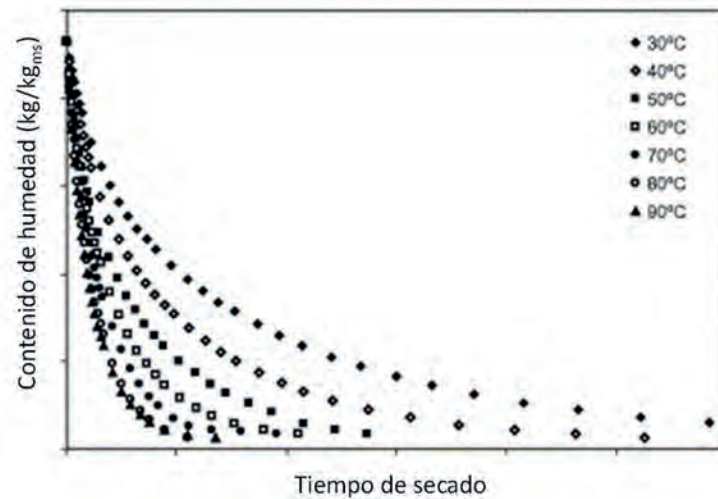
Al aumentar la temperatura del aire de secado, se incrementa también la temperatura de las semillas, lo cual puede perjudicar su calidad, haciéndola más susceptible a los daños mecánicos y puede favorecer la pérdida de su viabilidad. Se recomiendan temperaturas entre 32 °C y 38 °C para semillas almidonosas, para prevenir su deterioro y pérdida de viabilidad (Gregg and Billups, 2010a), Pero además se indica una temperatura de secado de 40 °C para semillas de frijol y 50 °C para grano para consumo (Marques-Pereira. 1993).

## Tiempo de secado

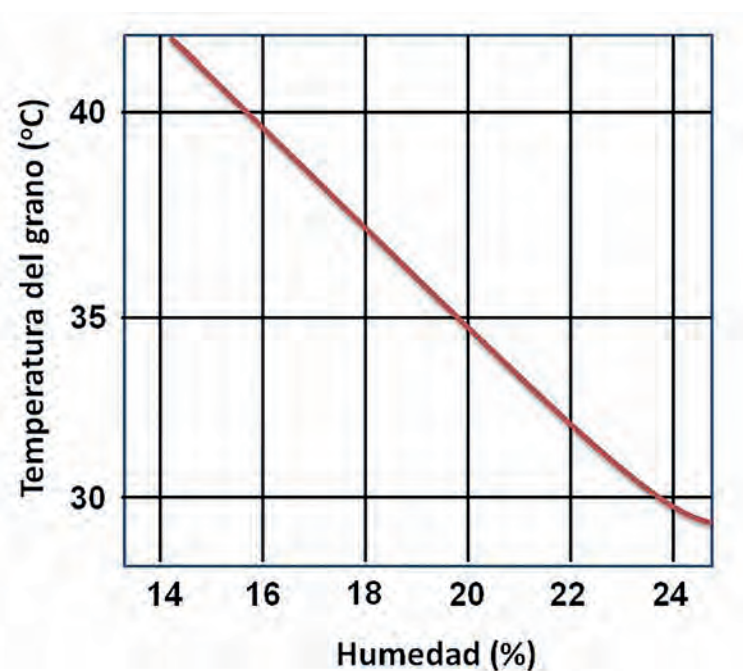
Cuando la diferencia entre la temperatura de la semilla y el aire es alta, la transferencia de calor es más rápida (la semilla se calienta más rápidamente), y cuando la diferencia entre las presiones de vapor del aire y del ambiente interno de la semilla (espacios intercelulares) es grande, el tiempo de secado es menor. Por su parte, al aumentar el flujo de aire a las secadoras, el tiempo de secado también disminuye (unidades de s).

La Figura 6 muestra las cinéticas de secado a temperaturas entre 30 °C y 90 °C. El tiempo de secado es más rápido a medida que la temperatura del aire aumenta. Sin embargo, la semilla de frijol no resiste condiciones tan altas de temperatura, ya que puede perder su capacidad de germinación por lo que la recomendación es que la temperatura de secado sea del orden de los 40 °C. Adicionalmente, la Figura 7 muestra las temperaturas de secado recomendadas para frijol, que son más bajas cuando el contenido de humedad de la semilla es más alto. Por tanto, para semillas cosechadas con contenidos de humedad altos, la temperatura de secado a la entrada de la secadora debería ser del orden de 30 °C y puede irse incrementando conforme el CH de la semilla se reduce.





**Figura 6.** Curva típica de la cinética de secado, en la cual se observa el efecto del incremento de la temperatura de secado sobre el contenido de humedad de un producto. Adaptado de Simal et al., (2005).



**Figura 7.** Temperatura máxima permitida que debe alcanzar la semilla de frijol durante el secado (1 hora de exposición). En el gráfico, la humedad de la semilla se calculó en base húmeda. Adaptado de Hack (2008).

## Métodos de secado

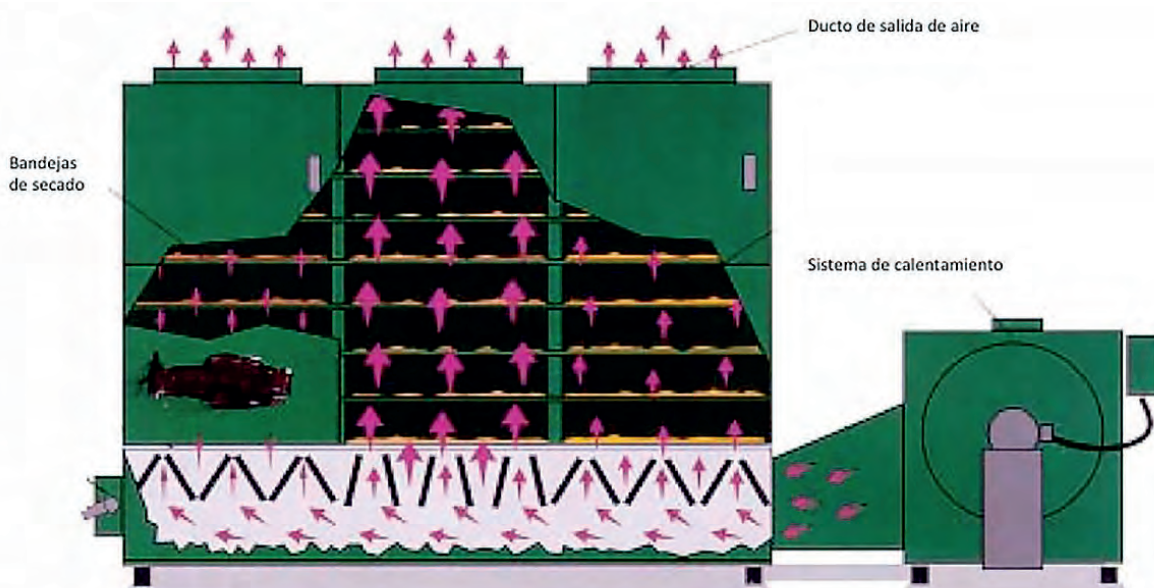
El secado puede realizarse de forma natural (en el campo o patios de secado o en secadores cubiertos construidos en el campo) o artificial. En el primer caso, se aprovecha la temperatura y movimiento natural del aire, y la energía solar para remover la humedad del grano. El método es lento,

poco controlado y dependiente de las condiciones climáticas, aunque los costos de inversión en equipos son bajos. El riesgo de secar de esta forma es alto por las fluctuaciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire a lo largo del día, y podría extender el tiempo de secado, lo cual se reflejará negativamente en la calidad y viabilidad de la semilla.

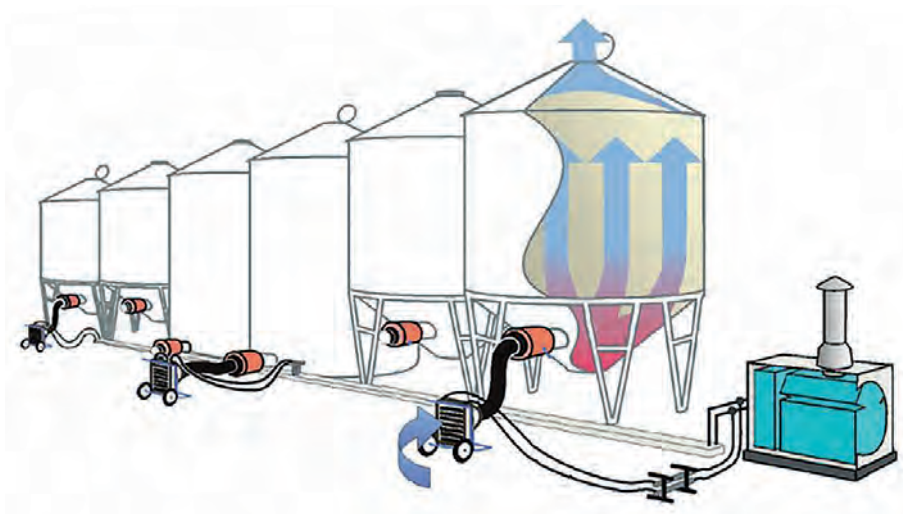
En las zonas de producción de la semilla de frijol, en las que la HR se mantiene alta durante muchas horas al día, el secado al aire libre es lento y el aire rápidamente se satura y pierde la capacidad de absorber el agua de la semilla. Por su parte, las dimensiones, cantidad y acomodo del producto, incluyendo el grosor de la capa de semillas, también afecta la velocidad y tiempo de secado, así como la velocidad de enfriamiento.

El secado artificial, consiste en hacer pasar un flujo de aire caliente a través de un compartimento que contiene las semillas. Se requiere que el equipo permita una buena distribución del flujo de aire a través de la semilla, y una fuente de calor para calentar el aire a la temperatura requerida y garantizar un secado uniforme.

Las Figuras 8 y 9 ilustran dos tipos de secadores utilizados para semillas. En el secador de bandejas (Figura 8), se coloca una capa fina de la semilla en cada bandeja, se acondiciona el aire con un sistema de calefacción externo que alimenta el aire por la parte de abajo del secador (plenum) en el que se distribuye el aire, el cual continúa su camino a través de las bandejas hasta alcanzar la parte superior, donde se libera. Este es un sistema por lotes en el cual las semillas en la parte inferior del secador, pierden humedad más rápidamente que las de la parte superior. El secado en silo, con aire natural o aire caliente, se ilustra en la Figura 9. En este caso, la capa de semillas es gruesa y el aire ingresa también por la parte inferior del silo y se libera por la parte superior, secando la semilla de abajo hacia arriba.



**Figura 8.** Secador de bandejas, con flujo de aire vertical.  
Fuente: <http://www.seedtechsystems.com/dryersystems/>



**Figura 9.** Silos secadores, con flujo de aire vertical, puede usar aire fresco (secado natural) o aire caliente.

## **Empaque y almacenamiento**

Una vez que la semilla alcanza el CH óptimo para el almacenamiento, continúa con las operaciones de empaque y almacenamiento, cuya principal función es la de proteger la semilla hasta su uso final. Esto involucra 1) el movimiento y trasiego de la semilla; 2) exposición a ambientes con diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa; 3) preparación de la semilla para el almacenamiento; 4) almacenamiento bajo condiciones controladas, que pueden complementarse con otras tecnologías (atmósferas modificadas) para inhibir parcialmente el crecimiento de hongos (alto contenido de dióxido de carbono) o algunas reacciones de oxidación; 5) selección de los materiales de empaques que proveen una unidad conveniente para el trasiego y una barrera el ambiente que lo rodea; y 6) tratamientos químicos que ayudan a controlar el crecimiento de patógenos e insectos.

### **Preparación para el almacenamiento**

Después del secador, la semilla continúa por la línea de producción y se enfría con aire bajo condiciones ambientales mientras que se dirige hacia las operaciones de empaque y almacenamiento. El principal cuidado en esta parte del proceso es evitar esfuerzos excesivos sobre la semilla para evitar daños mecánicos por golpes, magulladuras o fricción con los componentes de los equipos y entre las semillas. Cabe resaltar que por la reducción del CH durante el secado, al salir, las semillas son más higroscópicas y puede readsorber humedad con mayor facilidad, por lo que es necesario que el trasiego de la semilla hacia el empaque o cuarto bajo condiciones controladas sea rápido.

### **Empaque o preparación para almacenamiento a granel**

Una vez que la semilla esta seca se procede a empacarla o almacenarla a granel. Los materiales de empaque tienen el propósito de proteger la semilla dando soporte y resistencia mecánica para facilitar su manejo y almacenamiento y actuando como una barrera que regula o impide el paso del vapor de agua, el paso de la luz y la entrada de plagas que podrían acelerar su deterioro. Son un componente que facilita el manejo del producto durante su almacenamiento y comercialización a

la vez que permite conservar la calidad y viabilidad de la semilla durante éste. Para su selección, es necesario considerar tanto las características de las semillas, las condiciones a las cuales debe almacenarse, como las características de los materiales y los requerimientos del mercado. La principal barrera que deben tener los materiales de empaque, es el vapor de agua, de modo que el agua en el ambiente no pueda entrar a través de los empaques. Al ser un producto vivo, requiere oxígeno, por lo que el envase debe contener el oxígeno que requiera la semilla.

Empacar la semilla en un saco o una bolsa es la etapa final de la línea de procesamiento. Cuando las condiciones de almacenamiento de las semillas son inferiores a las ideales, se puede utilizar empaques para protegerlas (Nkhoma y Mwila, 1997), además de reducir los costos ya que disminuyen la necesidad de aireación o equipo para fumigación de bodegas.

El factor más importante para la conservación de semilla es el tiempo que requiera permanecer viva bajo las condiciones de almacenamiento que se le den (Probert et al., 2007). Factores que también influyen en el tipo de empaque a utilizar son el costo, la localidad, las condiciones del sitio de almacenamiento y el manejo que deben seguir las semillas posteriormente, por ejemplo, almacenamiento en frío, movimiento de *stock* o limpieza.

Algunos materiales que pueden ser usados para empaque son la tela de algodón o el yute, usados principalmente para pequeños volúmenes. Es duradero y resistente a rupturas, sin embargo, como puede absorber agua no protege a las semillas contra microorganismos, insectos, plagas vertebradas o alta humedad relativa (Nkhoma y Mwila, 1997). El papel puede ser útil para pequeños paquetes, sin embargo, también absorbe agua y una vez húmedo su resistencia es menor. Plásticos como el cloruro de polivinilo, polietileno, polipropileno, celofán o poliéster tienen la ventaja de que reducen la absorción de agua, por lo que reducen el daño causado por microorganismos. Otros materiales como el aluminio puede ser utilizado, sin embargo el material es muy costoso (Nkhoma y Mwila, 1997). En una investigación en semillas de frijol empacadas en latas y en bolsas de polietileno, estas tuvieron mayor germinación y vigor que las empacadas en bolsas de yute, las cuales tuvieron el mayor porcentaje de humedad, la mayor cantidad de plántulas anormales e incidencia de *Fusarium oxysporum* y podredumbres (Khalequzzaman et al., (2012). El CH inicial de las semillas en este estudio fue de 13 % y luego de 60 d en almacenamiento el CH fue de 16,6 %, 19,9 % y 24,2 % para las almacenadas en lata, bolsas de polietileno y en bolsas de yute, respectivamente.

El sustrato más importante para que el metabolismo de los organismos aeróbicos como los hongos, los insectos y en buena medida las semillas se lleven a cabo de manera óptima, es el oxígeno del ambiente. La respiración produce calor y humedad, los cuales son perjudiciales para las semillas y favorecen el crecimiento de microorganismos e insectos. El uso de atmósferas modificadas para la reducción de la cantidad de oxígeno en el ambiente es una práctica que se utiliza comúnmente para extender la vida poscosecha de muchos productos agrícolas, ya que de esta manera se reduce la actividad metabólica de los mismos, el crecimiento y desarrollo de hongos e insectos y por lo tanto, el deterioro. Sin embargo, para proveer a la semilla de este tipo de condiciones se requiere de la construcción de una cámara de almacenamiento en donde el ambiente en el que se encuentran pueda ser modificado, lo que conlleva un alto costo. Una forma de proporcionar estas condiciones en pequeña escala y que puede ser una alternativa para pequeños productores es el uso de biodigestores, los cuales son una forma de almacenar la semilla en una atmósfera alta en CO<sub>2</sub> por medio de la fermentación de material vegetal, como caña de azúcar. La finalidad de estos tipos de “atmósfera controlada” es obtener un ambiente con menos del 2 % de oxígeno, condición que reduce la población de hongos y tiene efecto insecticida (Hack, 2008).

Por la naturaleza de la actividad semillera, las empresas usan el embolsado para su manejo, ya que esto facilita mantener la trazabilidad de los lotes (mantener su identidad) y el movimiento y reacomodo de la mercadería. Cualquiera que sea el tamaño de los almacenes donde se guarda la semilla, es importante que solo permanezca lleno al 50 % de su capacidad, ya que de esta manera se asegura el espacio para el control de plagas y entrada y salida de mercadería, entre otros (Hack, 2008). Las características que deben tener los sitios de almacenamiento dependen del movimiento de stock y el uso final que se le vaya a dar a la semilla. De acuerdo al periodo al tiempo en que la semilla permanecerá almacenada, Nkhoma y Mwila (1997) describen los tipos de almacenamiento de la siguiente manera:

**Corto plazo (1-9 meses).** En el caso de la semilla certificada, se espera que el período en almacenamiento sea corto. El sitio de almacenamiento debe ser construido de manera que la entrada de humedad es reducida. Temperaturas entre 20 °C y 30 °C y 50 % a 60 % de humedad relativa son las condiciones mínimas para almacenamiento a corto plazo. Bajo estas condiciones, el frijol debe tener una humedad máxima de 13 % (Arias et al., 2007).

**Mediano plazo (9-18 meses).** La finalidad de este tipo de almacenamiento es tener reservas de semillas en caso de que ocurran problemas con el sistema de producción de éstas. Este tipo de almacenamiento aplica para líneas parentales y semilla básica para minimizar la constante producción en el campo.

**Largo plazo.** Para la conservación de recursos genéticos, por lo que se buscan secar la semilla a CH bajos para el almacenamiento a ultra baja temperatura.

Una vez empacada, la semilla debe ser movida a un área limpia y preferiblemente alejada del área de acondicionado. El equipo de empaque consiste de una tolva con una balanza para poder controlar el peso de la semilla que se descarga dentro de las bolsas. Este puede hacerse de manera mecanizada o de manera manual, donde los operarios llenan los empaques en una balanza (Figura 10).



**Figura 10.** Maquinaria utilizada para empacar semillas.

Si la semilla se empaca, se debe tomar en cuenta que al ser un producto vivo, ésta continuará respirando y produciendo calor, por lo que se requiere acomodar la semilla empacada de modo que pueda ventilarse adecuadamente y que no se presenten zonas calientes dentro de los empaques. Similarmente, si se maneja a granel, se deben tener cuidados para mantener la temperatura y humedad relativa de los espacios refrigerados y una buena ventilación. En caso de que la semilla deba colocarse en el suelo mientras se acomoda en camiones para ser transportada, se debe poner sobre un plástico para evitar la migración de humedad desde suelo hacia las semillas (Mahapatra y Lan 2007).

## Almacenamiento bajo condiciones controladas

El objetivo principal del almacenamiento es proteger y conservar los atributos de calidad y viabilidad de la semilla hasta su uso en el campo. Por lo tanto, una vez que estas se secan, deben mantenerse bajo condiciones ideales para maximizar su vida útil, lo cual se logra a través del control de la humedad y la temperatura. Estas condiciones previenen la proliferación de microorganismos y el ataque de insectos o roedores (Mahapatra y Lan, 2007). Cuando no se almacenan bajo las condiciones óptimas ocurre el proceso de envejecimiento de éstas, lo cual resulta en un retraso en la germinación y un desarrollo de las plántulas más lento y poco uniforme (Nkhoma y Mwila, 1997).

En general, las semillas se clasifican de acuerdo a su capacidad de ser almacenadas. Las de frijol se consideran del tipo ortodoxo, ya que pueden desecarse y ser almacenadas por periodos prolongados, siempre y cuando el CH de la semilla sea bajo. Adicionalmente, en el ámbito de temperaturas comprendido entre 0 °C y 50 °C, por cada aumento de 5 °C, la vida útil de estas se reduce a la mitad (Gregg and Billups (2009). En general, cuanto mayor sea la temperatura del ambiente, mayor será la  $T_s$  y la vida útil de la semilla y la posibilidad de almacenarla por periodos prolongados serán menores. En frijol blanco se observó que la germinación se redujo con el incremento de la temperatura de almacenamiento y el CH de éstas (Mills y Woods 1994). En el ámbito de CH del 12,5 % al 18 %, las que fueron expuestas a temperaturas iniciales de almacenamiento de 44 °C, 31 °C y 22 °C, tuvieron una fuerte caída en la capacidad de germinación, efecto que fue más pronunciado en los tratamientos de 44 °C y 31 °C.

La reducción en la temperatura de almacenamiento permite que la actividad respiratoria de los frijoles sea menor y con ello se puede conservar mejor su calidad, sin embargo, para algunos cultivos de frijol (tipo *kidney*) se han reportado daños por frío cuando se exponen a temperaturas cercanas a 0 °C, los cuales se manifiestan como problemas de germinación y vigor de las nuevas plantas.

Aunque la susceptibilidad a los daños por frío varían con el cultivar, se debe tener cuidado en el manejo y control de las temperaturas de la semilla, cuando estas se almacenan a temperaturas bajas, y de ser posible evaluar la sensibilidad de estos productos a los daños por frío y por congelación. Desde el punto de vista operativo, se debe llevar un buen control y manejo de las temperaturas de almacenamiento, tomando en cuenta que la temperatura del aire dentro de los espacios refrigerados fluctúa, por el encendido y apagado de los equipos de refrigeración, lo cual podría exponer la semilla a temperaturas que podrían ocasionarle daños por frío o por congelación. Idealmente deberían utilizarse temperaturas de almacenamiento tan frías como la semilla lo resista, sin embargo, la selección de la temperatura depende también de otros factores como el tiempo de almacenamiento estimado (corto, mediano o largo plazo), la respuesta de los diferentes cultivares y el tiempo requerido de almacenamiento (meses, años, etc.), para el caso del frijol, es particularmente importante el costo de enfriar y mantener la temperatura baja, pues son semillas con un margen muy pequeño de ganancia.

El efecto de la temperatura de secado y el contenido de humedad sobre la calidad de la semilla de frijol durante el almacenamiento fue estudiado por Alizaga (1985). El autor reportó temperaturas de secado de hasta 55 °C sin tener un efecto importante sobre la germinación, durante los primeros nueve meses de almacenamiento a 25 °C, para semillas con un CH de 13 %. La posibilidad del secado a una temperatura mayor de 40 °C, sin perjuicio de la calidad ofrece la ventaja de que reduce significativamente el tiempo de secado. Sin embargo, el mismo autor, encontró que el deterioro de las semillas de frijol con un CH de 16 % fue evidente a partir de los tres meses de almacenamiento, por lo que recomendó el secado hasta 13 %, lo cual que coinciden con la recomendación para el frijol rojo exportado hacia los Estados Unidos (IICA 2007).

La humedad de un lote de semillas puede variar considerablemente de un lugar a otro, por lo que un adecuado muestreo es crucial para su determinación. Para medir la humedad se pueden usar medidores eléctricos y también se puede utilizar la técnica del horno. Cuando se utilizan medidores eléctricos, éstos deben ser debidamente calibrados y se debe tomar en cuenta que para hacer la determinación de humedad las muestras de semillas y el medidor deben estar a la misma temperatura y los resultados pueden variar de acuerdo a la especie, madurez y contenido de impurezas. Algunos ejemplos de los equipos utilizados se muestran en la Figura 11.



**Figura 11.** Medidores eléctricos empleados para la determinación de humedad de granos y semillas. Fotos cortesía de Dickey John Corporation.

Los medidores eléctricos reducen son prácticos y permiten realizar una rápida Los medidores eléctricos son prácticos y permiten realizar una rápida determinación del CH. Sin embargo, este equipo no siempre está al alcance de los productores de semillas quienes tienen la opción de realizar la determinación con el método del horno con base en el peso. Para realizar la determinación de CH con base en el peso, el cual es el método de referencia de ISTA (2008), se hace de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \cdot 100$$

En donde

M<sub>1</sub>: peso en g del contenedor de metal con tapa

M<sub>2</sub>: peso en g del contenedor de metal, con tapa y con las semillas antes del secado

M<sub>3</sub>: peso en g del contenedor de metal, con tapa y con las semillas después del secado

Por lo tanto,  $M_2 - M_3$  es la pérdida de peso y  $M_2 - M_1$ , el peso inicial. Para esta técnica, la semilla debe pesarse en una balanza de al menos tres decimales y el resultado se reporta como el promedio de dos determinaciones.

## **Cambios durante el almacenamiento**

Todas las semillas, a menos que tengan una cubierta impermeable, son higroscópicas y van a absorber o perder humedad de acuerdo a la humedad relativa del aire (Probert et al., 2007) y en el caso de los trópicos, al ser la humedad del ambiente tan alta, tienden a absorber agua. La diferencia entre las humedades del ambiente y de la semilla provoca la transferencia de humedad desde o hacia la semilla, según sea la diferencia entre las presiones de vapor del agua en el ambiente y en los espacios intercelulares de estas. Semillas almacenadas en un ambiente de alta humedad relativa, sufrirán un incremento en su contenido de humedad, mientras que las almacenadas en ambientes de baja humedad relativa, tenderán a reducir su contenido de humedad.

Tanto en el campo como en almacenamiento, el ambiente que rodea a la semilla interactúa con ésta, particularmente, la humedad relativa con la temperatura. Por ejemplo, la temperatura no solo afecta el contenido de humedad si no que otras características del frijol como muestran los resultados de experimentos realizados por Karathanos et al., (2006), quienes encontraron que la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad modificaron la coloración de tres tipos de frijoles blancos. Al aumentar la temperatura de almacenamiento de 25 °C a 45 °C el producto se oscureció más rápidamente, y cuanto mayor el CH, más rápido fue el deterioro del color (Karathanos et al., 2006).

Si la semilla se lleva a CH muy bajos, durante la el proceso de germinación, la imbibición rápida de agua puede causar estrés en la membranas y provocar la pérdida de solutos, lo que en caso extremos puede llegar a la pérdida de viabilidad y una reducción en el vigor (Kranter et al., 2010).

Para evitar fluctuaciones en el contenido de humedad de los lotes de semillas, es necesario agilizar el proceso de limpieza y si es posible, controlar la temperatura y humedad del aire que la rodea desde el secado hasta el almacenamiento, para lo cual también se pueden utilizar materiales de empaque que actúen como barrera protectora que impiden el intercambio de humedad entre el ambiente y la semilla.

## **Control de plagas insectiles y vertebradas**

La semilla es una fuente rica en nutrientes para los humanos, así como para insectos y microorganismos, por lo que se han desarrollado tratamientos químicos aplicados a las semillas para combatir estos problemas. Como se ha mencionado, el control de la humedad de la semilla y la temperatura son factores clave para el manejo de hongos e insectos en la fase poscosecha, sin embargo, en ocasiones se requiere de productos químicos para su manejo. Los insectos que se consideran plagas se pueden clasificar en los que se desarrollan dentro de la semilla (i.e. gorgojos) y lo que se desarrollan fuera de estas (Mahapatra y Lan, 2007). Por muchos años, la fumigación ha sido el método más efectivo para el control de infestaciones con insectos. En la actualidad clorpirifos-metil y el fumigante fosfina son considerados seguros (Mahapatra y Lan, 2007) y de las cuales el último es de uso común en Costa Rica.

En el caso del fosfina y el clorpirifos, los límites máximos de residuos permitidos son 0,1 mg/kg para cereales en grano y 0,01 mg/kg para vainas o semillas inmaduras, respectivamente (CODEX,



2012). Su uso es eficaz para la reducción de las pérdidas poscosecha debidas a insectos, pero su aplicación debe ser cuidadosa, y se deben respetar tanto las dosis recomendadas como los niveles máximos permitidos por las autoridades competentes. El problema del uso de plaguicidas es que los insectos desarrollan resistencia a estos productos, en el caso de granos, pueden presentarse residuos tóxicos en alimentos, los costos de aplicación son altos, tienen un impacto ambiental negativo y cada vez las regulaciones internacionales sobre el uso de estos productos es más restrictiva (Dimetry et al., 2010). La utilización de plaguicidas debe ser un complemento a otras prácticas durante el acondicionamiento de las semillas, por ejemplo, se debe considerar que por debajo de 16°C la reproducción de algunos insectos se reduce o se detiene (Mahapatra y Lan, 2007), por lo que un adecuado manejo de la temperatura puede ser una opción para el manejo de insectos si el tiempo que ésta va a ser almacenada.

Además de los insectos plaga, ratas y ratones son una amenaza constante en lugares de almacenamiento de semillas. Estos muerden sacos y los rompen, lo que causa su derrame y por lo tanto su pérdida. Hay muchos métodos disponibles para el manejo de roedores que incluyen cebos venenosos, trampas, ruido ultrasónico y gatos, sin embargo, la forma más simple es el evitar que estos animales entren en la bodega de almacenamiento y el uso de plataformas. Para el caso de plagas vertebradas, las trampas es el método más común y deben ser colocadas en lugares donde la actividad de los roedores es alta (Mahapatra y Lan, 2007), ya que, por ejemplo, algunas especies de roedores prefieren las zonas cercanas a los techos de las bodegas.

## **Sanidad e inocuidad de las semillas**

Las semillas pueden ser un vehículo para el transporte de patógenos y para la introducción de enfermedades en áreas que estaban libres de éstas. Los organismos que las afectan pueden hacerlo durante el período pre-cosecha o durante la fase pos-cosecha. Los hongos de campo afectan la planta y las semillas durante su desarrollo, sin embargo, cuando con los bajos contenidos de humedad a los que se almacena la semilla, es poco probable que estos hongos se reproduzcan más ya que requieren de humedades relativas muy altas para su crecimiento, por lo que su actividad es baja (Neergaard, 1977).

Durante la fase poscosecha, los microorganismos predominantes son hongos, los cuales pueden reducir la germinación, producir descoloraciones, producir cambios bioquímicos en la semilla, toxinas que son nocivas para la salud humana y animal, y durante el proceso, producen calor, lo que incrementa la temperatura de las semillas (Neergaard, 1977, Mahapatra y Lan, 2007).

El ámbito de organismos que pueden estar presentes en la semilla va desde hongos saprófitos en la cubierta seminal (como por ejemplo, *Aspergillus*) hasta organismos más especializados que se encuentran dentro de la semilla, como por ejemplo, *Colletotrichum*. En el Cuadro 2 se describen algunos de los patógenos más comunes en semillas de frijol.

**Cuadro 2.** Selección de patógenos que afectan la semilla de frijol y cuya forma principal de transmisión es a través de ésta.

Organismo	Síntomas	Manejo en campo
<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	El hongo se encuentra en la cubierta seminal y en el embrión. Produce lesiones oscuras, profundas y de diferentes tamaños que pueden penetrar los cotiledones	Semilla certificada. Rotación de cultivos de al menos 2 o 3 años
<i>Pseudocercospora griseola</i>	Descoloración en la semilla	Semilla certificada, Rotación de al menos 2 años. Fungicidas de semilla
<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i>	Contaminación interna y externa de la semilla. Descoloración y arrugamiento de la semilla.	Semilla certificada. Rotación de al menos 2 años
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>	Se encuentra dentro y en la superficie de la semilla. En variedades claras las semillas muestran una decoloración amarillenta. En ocasiones se observa la cubierta seminal con arrugas	Semilla certificada, rotación y cosecha antes de que las lesiones en la vaina se tornen color café.
<i>Virus del mosaico común</i>	Se encuentra en el embrión. Semillas no muestran síntomas, sin embargo en plantas infectadas la vaina es más pequeña y clorótica. Infección de 0,5 % o menos en la semilla puede llevar a pérdidas casi totales si los vectores son activos.	Uso de semilla certificada, variedades resistentes, manejo de áfidos que sirven como vectores.

Fuentes: Hagerdorn, D.J. y D.A. Inglis. 1986. Handbook of Bean Diseases. In Neergaard, P. 1977. Seed Pathology Vol I.

Otros hongos cuyas esporas o estructuras de resistencia se pueden mover con la semilla de una zona de producción a otra son: *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria alternata*, *Ascochyta phaseolorum*, *Ascochyta boltshauseri*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Erysiphe polygoni* y *Fusarium solani*.

En cuanto a tratamientos fungicidas, estos se usan para eliminar hongos superficiales, dentro de la semilla o en el ambiente donde esta germina. Hongos saprófitos, como por ejemplo *Aspergillus* y *Penicillium*, bajo condiciones ideales de humedad producen grandes cantidades de esporas superficiales. Este tipo de problema se puede corregir con el uso de fungicidas simples, sin embargo, los organismos que se encuentran dentro de las semillas deben ser tratados con fungicidas sistémicos

para ser erradicados (Turner, 2010). En un estudio hecho con *Colletotrichum lindemuthianum* y *Rhizoctonia solani*, hongos que pueden ser transmitidos por medio de la semilla de frijol y que afectan la germinación de éstas, Araya y González (1979) probaron tratamientos fungicidas de semillas para reducir la infección de estos hongos. Los resultados obtenidos mostraron que se obtuvo una reducción en la infección únicamente causada por *Rhizoctonia* con el uso de una mezcla de cloroneb y thiram, sin embargo el efecto en la reducción en otros patógenos no fue claro. En cuanto al tratamiento de infecciones causadas por *Macrophomina phaseolina*, Abawi y Pastor-Corrales (1990) en diferentes variedades de frijol con porcentajes de infección desde 5 % hasta 30 % encontraron que los mejores tratamientos fungicidas fueron Benomyl y Carboxin, ambos aplicados en una dosis de 2,5 g/kg de semilla.

Un factor muy importante a considerar es que hongos del género *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, bajo ciertas condiciones de humedad pueden generar micotoxinas sobre las semillas en las que se alimentan, las cuales, si llegan a ser consumidas por animales o humanos pueden causar enfermedad y muerte. Aunque el frijol para semilla no tiene como fin el consumo humano, la proliferación de este tipo de hongos sobre éstas además puede causar reacciones alérgicas y enfermedades en pacientes con el un sistema inmune debilitado. Se ha observado que la incidencia de *Aspergillus* fue máxima (20 %) en frijol almacenado en bolsas herméticas, en un ámbito de humedad de 13,1 % a 18,5 % de CH (Gonçalves-Francisco y Usberti 2008).

La sanidad de las semillas es un indicador de calidad que refleja si esta contiene patógenos dentro de sus estructuras o en la superficie de ésta. Su control es especialmente importante cuando éstas se almacenan por períodos prolongados o cuando se destinan al mercado internacional. Para determinar la sanidad, el lote puede ser examinado visualmente para buscar esclerocios, semillas enfermas, la presencia del hongo, o presencia de insectos. También se pueden colocar la semillas en cámaras húmedas para aislamiento de hongos, el uso de medios de cultivo específicos para ciertos patógenos y realizar pruebas a nivel molecular o bioquímicas para la detección de éstos. Algunas pruebas de sanidad de semilla se pueden encontrar en los manuales publicados por ISTA (International Seed Testing Association).

## **Buenas prácticas agrícolas (bpa) en la planta procesadora y durante el almacenamiento**

Además de la operación eficiente de las máquinas, debe realizarse una limpieza rutinaria del área de procesamiento y del adecuado desecho de los restos del cultivos /limpieza de semillas. Los hongos que causan descoloración, pudriciones y calentamiento pueden crecer fácilmente en maquinaria sucia, semillas quebradas, material que ha caído al suelo y material que no se ha secado adecuadamente. Además de evitar problemas fitosanitarios, estas prácticas crean una cultura de higiene, que es importante en todo momento.

En Costa Rica, la normativa vigente para frijol en grano (RTCR 384:2004) establece que se deben usar sacos limpios y preferentemente de primer uso para el empaque del frijol, sin que hayan sido usados para agroquímicos. Indica que el producto debe estar libre de microorganismos, aflatoxinas y cualquier otra sustancia en cantidades que puedan constituir un peligro para la salud humana.

## Literatura citada

- Abawi, G.S., y M.A. Pastor-Corrales. 1990. Seed transmission and effect of fungicide seed treatment against *Macrophomina phaseolina* in dry edible beans. *Turrialba* 3:334-339.
- Alizaga, R. 1985. Efecto de la temperatura de secado y del contenido de humedad durante el almacenamiento sobre la calidad de la semilla de frijol. *Agronomía Costarricense* 9(2):165-170.
- Araya, C.M., y L.C. González. 1979. Efecto de la época de producción y del tratamiento de semilla en el vigor y sanidad de las plantas de frijol. *Agronomía Costarricense* 3:201-204.
- Araya, R., y J.C., Hernández. 2008. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, Costa Rica. 44 p.
- Araya, R., Elizondo F.I., Martínez, K., y A. Murillo. 2013. Protocolo para el manejo pos cosecha de la semilla de frijol. San José Costa Rica. FAO GCP/RLA182/SPA. “Semillas para el Desarrollo”. Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Frijol (PITTA Frijol), Fundación para el Fomento y Promoción y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITACORI). 27 p.
- Arias, J.H., Rengifo, T., y Jaramillo, M. 2007. Manual Técnico. Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Frijol Voluble. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO, Medellín, Colombia. 167 p.
- Barriga, C. 1961. Effects of Mechanical Abuse of Navy Bean Seed at Various Moisture Levels. *Agron. J.* 53:250–251.
- Buitink, J., J.J. Leger, I. Guisle, B.L., Vu, S. Wuillème, G. Lamirault, A. Le Bars, N. Le Meur, A. Becker, H. Küster, y O. Leprince. 2006. Transcriptome profiling uncovers metabolic and regulatory processes occurring during the transition from desiccation-sensitive to desiccation-tolerant stages in *Medicago truncatula* seeds. *Plant Journal* 47:735-750.
- CODEX, 2012. Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos. <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/pesticides/details.html?id=46> (consultado el 20 de octubre de 2012).
- Dimetry, N.Z., A. El-Salam, and F.M.A. El-Hawary. 2010. Importance of plant extract formulations in managing different pests attacking beans in new reclaimed area and under storage conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 43(7):700-711.
- Ellis, R.H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation* 11:249-255.
- Ghasemlou, M., F. Khodaiyan, S.M. Taghigharibzahedi, A. Moayedi, and B. Keshavarz. 2010. Study on postharvest physico-mechanical and aerodynamic properties of Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) Seeds. *Journal of Food Engineering* 6 (6):1-22.
- Gonçalvez-Francisco, F., and R. Usberti. 2008. Seed health of common bean stored at constant moisture and temperature. *Sci. Agric.(Piracicaba, Braz.)* 65 (6):613-619.
- Gregg, B., and G.L. Billups. 2010a. Seed conditioning, Volume 2: Technology. Parts A and B. Science Publishers. CRC Press. Taylor & Francis Group. Enfield, N.H., EE.UU. 957 p.
- Gregg, B., and G.L. Billups. 2010b. Seed conditioning, Volume 3: Crop seed conditioning. Science Publishers. CRC Press. Taylor & Francis Group. Enfield, N.H., EE.UU. 556 p.

- Gregg, B., and G.L. Billups. 2009. Seed conditioning, Volume 1: Management. Science Publishers. CRC Press. Taylor & Francis Group. Enfield, N.H., EE.UU. 460 p.
- Hack, A. 2008. Almacenamiento de Granos. Aireación y Secado. Agrimedia. Clenze. Alemania. 119 p.
- Hagerdorn, D.J., and D.A. Inglis. 1986. Handbook of Bean Diseases. University of Wisconsin Cooperative Extension Publications RP-11-92-2M-600 S. 26 p.
- Hong, T.D. and R-H. Ellis. 1996. A protocol to determine seed storage behavior. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Technical Bulletin No. 1. Department of Agriculture, University of Reading, U.K.
- IICA. 2007. Guía práctica para la exportación a EE.UU. Frijol Rojo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Representación del IICA en Nicaragua. 12 p.
- IICA. 2009. Guía práctica para el cultivo del frijol. En los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo, del Departamento de Boaco, Nicaragua. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA-RED SICTA-COSUDE. Nicaragua. 24 p.
- ISTA, 2008. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Bassersdorf. Suiza.
- Jayas, D.S., and S. Cenkowski. 2006. Grain Property Values and Their Measurement. Handbook of Industrial Drying. Chapter 24<sup>th</sup>ed. A.S. Mujumdar. Third Edition. CRC Press. Florida.
- Justice, O.L., and L.N. Bass. 1978. Principles and practices of seed storage. Agriculture Handbook 506, Science and Education Administration, USDA. 289 p.
- Karathanos, V.T., S. Bakalis, A. Kyritsi, and P. Rodis. 2006. Color degradation of beans during storage. International Journal of Food Properties 9:61-71.
- Kester, D.E., F.T. Davies Jr., and R.L. Geneve. 2002. Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practices. 7<sup>th</sup> ed. Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 880 p.
- Khalequzzaman, K.M., M.M. Rashid, M.A. Hasan and M.A. Reza. 2012. Effect of Storage Containers and Storage Periods on The Seed Quality of French Bean (*Phaseolus vulgaris*). Bangladesh Journal of Agricultural Research 37:195-205.
- Kranner, I., F.V. Minivayeva, R.P. Beckett, and C.E. Seal. 2010. What is stress? Concepts, definitions, and applications in seed science. New Phytologist 188:655-673.
- Latournerie, L., V. Moreno, L. Fernández, R. Pinedo, J.M. Tun, and J. Tuxill. 2009. Sistema tradicional de almacenamiento de semillas: Importancia e implicaciones en la conservación de la agrobiodiversidad. En: ¿Cómo conservan los agricultores sus semillas en el trópico húmedo de Cuba, México y Perú. p 61-72.
- Lloyd, P., and J.M. Moonga. 1997. Seed Processing and Handling. In Zambia Seed Technology Handbook. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries. Zambia. p. 76-98.
- Mahapatra, A.K., and Y. Lan. 2007. Postharvest handling of grains and pulses, In Handbook of food preservation, 2nd ed. M.S. Rahman. Boca Raton, CRC Press. p 73-136
- Marques-Pereira, J.A. 1993. Secado de los granos. En: Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Depósitos de documentos de la FAO.ID 18714. URL: <http://www.fao.org/docrep/X5027S/X5027S00.htm>. Chile.

- Mills, J.T., and S.M. Woods. 1994. Factors affecting storage life of farm-stored peas (*Pisum sativum* L.) and White beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Stored Products Research* 3:215-226.
- Miranda, A. 2010. Diagnóstico preliminar del sistema de manejo de los granos en los ASOPRO's de la Región Brunca. Desacafé. Costa Rica. 35 p.
- Neergaard, P. 1977. Seed Pathology. Volumen I. Macmillan. Londres, Reino Unido. 1191 p.
- Nkhoma, C.N., and G.P. Mwila. 1997. Seed Storage. *In* Zambia Seed Technology Handbook. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries. Zambia. p. 89-98.
- Pérez-García, F., y J.M. Pita- Villamil. 2001. Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Hojas Divulgadoras Número 2112 HD. Departamento Biología Vegetal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 16 p.
- Probert, R., J. Adams, J. Coneybeer, A. Crawford, and F. Hay. 2007. Seed quality for conservation is critically affected by pre-storage factors. *Australian Journal of Botany* 55:326-335.
- Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 2010. 65.05.53:10. Insumos Agropecuarios. Requisitos para la Producción y Comercialización de Semilla Certificada de Granos Básicos y Soya. Publicación de la resolución No 2592010 COMIECO-LIX (del 13 diciembre 2010). Alcance No 36588-COMEX-MEIC-MAG. La Gaceta 117, 17 junio 2011. [www.reglatec.go.cr/consulta/semillas-2010.pdf](http://www.reglatec.go.cr/consulta/semillas-2010.pdf). (consultado 18 de octubre 2011)
- Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA). 2005. Frijol en grano. Especificaciones. Diario Oficial La Gaceta N. 3. Decreto 32149 MEIC-S-MAG.
- Reglamento Técnico para Frijol en Grano (RTCR 384:2004). Decreto 32149-MEIC-S-MAG. La Gaceta N° 3, 5 de enero de 2005. (<http://www.hacienda.go.cr/centro/datos/Decreto/Decretos-La%20Gaceta%203-5%20ENE-2005.pdf>) (consultado 14 de julio de 2015).
- Siddiq, M., and M.A. Uebersax. 2012. Dry Bean and Pulses. Production, Processing and Nutrition. John Wiley and Sons. 408 p.
- Simal, S., A. Femenia, M.C. Garau, and C. Rosselló. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering* 66 (3): 323-328.
- Sokhansanj, S., and D.S. Jayas. 2006. Drying of foodstuffs. *Handbook of Industrial Drying*. Chapter 21<sup>st</sup>. Ed. A.S. Mujumdar. Third Edition. CRC Press. Florida.
- Turner, M. 2010. Seeds. CTA and Macmillan Publishers. Reino Unido. 152 p.
- Vaughan, C.E., B.R. Gregg, y J.C. Delouche. 1970. Procesamiento mecánico y beneficio de semillas. Agencia para el Desarrollo Internacional. Herrero Hermanos, México. 284 p.
- Wolk, D.W., P.F. Dillon, L.F. Copeland, and D.R. Dilley. 1989. Dynamics of imbibition in *Phaseolus vulgaris* L. in relation to initial seed moisture content. *Plant Physiology* 89:805-810.

## CAPÍTULO 8

### CRITERIOS DE CALIDAD DE LAS SEMILLAS Y PRUEBAS PARA SU EVALUACIÓN

*Adriana Murillo-Williams*

#### **Introducción**

La producción de alimentos se beneficia con la introducción de variedades mejoradas que poseen rendimientos potenciales mayores a los actuales y que están adaptadas a las condiciones locales. Para maximizar este beneficio, es necesario que los productores no solo tengan acceso a semillas de alta calidad, si no que ésta esté disponible en el momento de siembra y en la cantidad requerida.

Los requisitos para obtener buenos rendimientos inician con las semillas de buena calidad: germinación uniforme, vigorosas y libres de enfermedades (Graham y Ranalli, 1997). Como las semillas son el primer insumo necesario para obtener altos rendimientos, es indispensable que existan medidas para asegurar su calidad en el mercado, ya que de manera visual es difícil que los productores, puedan valorar el estado fitosanitario o el potencial germinativo del lote semillas que desean comprar

#### **Calidad de las semillas**

Las semillas de frijol se clasifican como ortodoxas (Graham y Ranalli, 1997), lo que significa que estas se pueden secar y almacenar por largo tiempo sin perder su poder germinativo. Debe ser un objetivo de los productores de frijol que la calidad de las semillas y de los granos que se cosechan, se mantengan durante el almacenamiento, de manera que no se pierda la capacidad de germinación o la calidad nutricional y por lo tanto, su valor comercial.

Los laboratorios de análisis de calidad semillas a nivel mundial han establecido parámetros para evaluar la calidad, que en el caso de frijol así como para todos los cultivos, está determinada por sus características genéticas, físicas, fitosanitarias y el potencial germinativo que ésta posee. A continuación se definen algunos de estos parámetros:

#### **Pureza genética**

El lote de semillas solo debe contener la variedad de interés. Debe además estar libre de semillas de otras especies cercanas a esta variedad. En el caso de frijol, es fácil separar del lote semillas más grandes y de colores distintos, como por ejemplo, semillas de maíz, sin embargo, esta operación no es fácil cuando se debe separar semillas que tienen tamaño y peso similares a la semilla de interés, como por ejemplo, diferentes variedades de frijol rojo.

#### **Pureza física**

El lote de semillas debe estar libre de residuos de cultivo, terrones, segmentos de semillas, material inerte y semillas de arvenses. Esto aplica tanto para frijol destinado a ser usado como semilla así como para el que se comercializa para consumo humano.

El análisis de pureza consiste en determinar el porcentaje en peso de la semilla pura y de la materia inerte que contiene una muestra de trabajo. De acuerdo a ISTA (2008), en el caso de Fabáceas se consideran como materia inerte las semillas que han perdido totalmente la cubierta y tienen los cotiledones separados, independientemente de si estos tienen partes del embrión como la radícula o la plúmula.

El equipo para separar la semillas de frijol de las impurezas puede incluir desde lámparas con lupas, hasta cribas y sopladores. En el caso de sopladores, es deseable que con estos se pueda aplicar una presión de aire uniforme y controlada (ISTA, 2008), de manera que se separen impurezas en forma consistente y que durante el proceso de separación la semilla no sufra daños que puedan comprometer la germinación.

El tamaño de la muestra de trabajo recomendado por ISTA para la determinación de la pureza en frijol es de 700 g. También se puede realizar el análisis sobre dos submuestras de al menos 350 g que hayan sido tomadas de manera independiente. Se recomienda que la balanza empleada para la determinación de pureza contenga cuatro decimales (ISTA, 2008).

## Calidad de la semilla

El lote de semillas debe estar libre de plagas y enfermedades. A diferencia de otros parámetros de calidad, no existe un único protocolo para determinar la incidencia de patógenos en las semillas, ya que este varía de acuerdo al tipo de microorganismo que se desea identificar y cuantificar, por ejemplo, hongos, bacterias o virus (Turner, 2010). En el caso de frijol, algunos protocolos para evaluar la salud de las semillas pueden requerir el aislamiento del patógeno en medios de cultivo selectivos, como para la bacteria *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, o protocolos más generales, como el uso de cámaras húmedas y papel toalla para cuantificar la incidencia del hongo *Colletotrichum lindemuthianum* (ISTA, 2008).

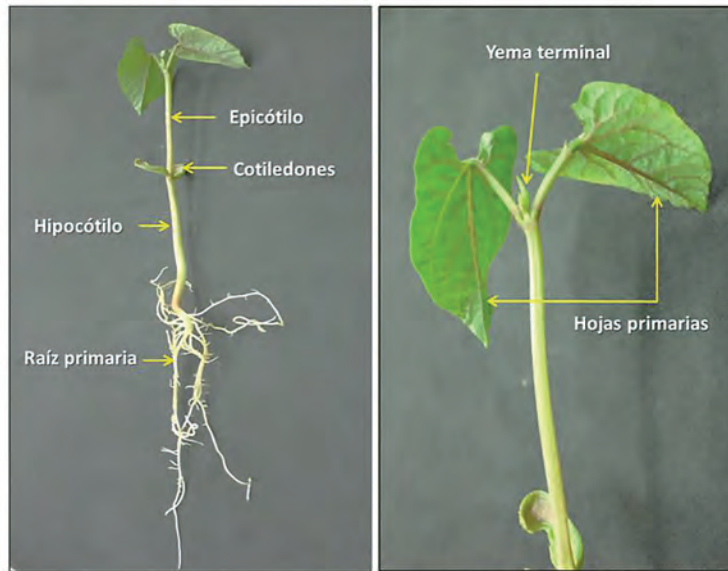
## Germinación

Germinación es el proceso que se extiende desde el momento en que la semilla inicia la absorción de agua (imbibición) hasta la aparición de la radícula (protrusión radicular). Sin embargo, para efectos de la evaluación de la germinación que realizan los laboratorios de análisis de semillas, se considera una semilla germinada aquella que tiene desarrolladas todas las partes esenciales, la cual se considera una plántula normal.

Las pruebas de germinación permiten comparar lotes de semillas antes de ser plantados, sin embargo, los resultados obtenidos en laboratorio varían bajo diferentes condiciones de campo. También discrimina entre lotes con alta viabilidad pero diferentes grados de envejecimiento, por lo que se utiliza a nivel mundial como estándar de calidad de semillas.

En el Manual para Evaluación de Plántulas en Análisis de Germinación (1980) se considera como una plántula normal de frijol aquella que presenta todas sus estructuras esenciales normales o con ligeros defectos. Las estructuras esenciales son: la raíz primaria, el hipocótilo, el epicótilo, los cotiledones, las hojas primarias y la yema terminal (Figura 1).

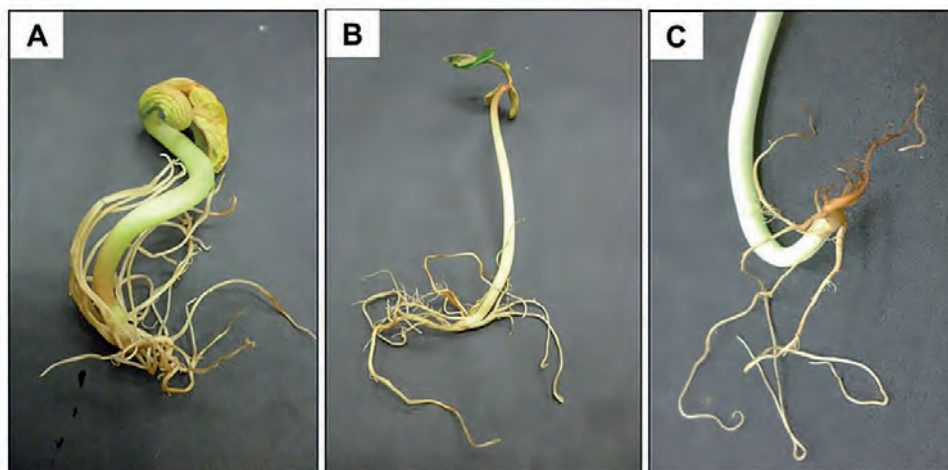




**Figura 1.** Estructuras esenciales de la plántula de frijol utilizadas como criterio de evaluación de la germinación.

También se consideran plántulas normales aquellas con ligeros defectos como descoloraciones y leves daños en el hipocótilo y epicótilo; presencia de solo un cotiledón (si el resto del tejido no está dañado); hojas primarias con daños, descoloración o necrosis leve, hojas deformes o dañadas siempre que la mitad o más del tejido sea funcional; y solo una hoja primaria, sin daño en la yema terminal.

Se consideran plántulas anormales aquellas con una o más de las estructuras esenciales defectuosa. Algunos ejemplos de los defectos incluyen raíces primarias atrofiadas; hipocótilo y epicótilos cortos y gruesos, retorcidos o enrollados; dirección invertida del desarrollo, como por ejemplo, yemas dobladas hacia abajo; y deficiencias clorofílicas (plántulas blancas o amarillas). Algunos ejemplos de plántulas anormales se muestran en la Figura 2.



**Figura 2.** Plántulas de frijol anormales. A) Plántula con hipocótilo engrosado, hojas cloróticas y raíces con crecimiento en sentido contrario. B) Plántula con hipocótilo engrosado. C) Plántula con raíz primaria atrofiada.

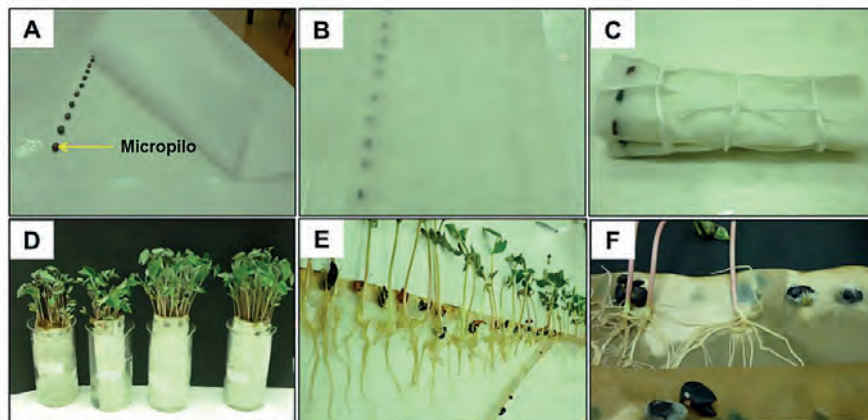
La importancia de tomar en cuenta el estado de las partes esenciales de la plántula radica en que su sanidad y buen funcionamiento determinan el establecimiento satisfactorio de la plántula bajo condiciones de campo.

Para evaluar la germinación con el método de ISTA (2008) se requiere de una muestra de 400 semillas las cuales se colocan en papel (Figura 3) o arena humedecidos en cámaras de germinación a una temperatura de 20 °C a 30 °C. Con este método la primera evaluación se realiza a los cinco días y una segunda y última evaluación a los nueve días. Es importante destacar que este tiempo es suficiente para que las plántulas desarrollen sus estructuras esenciales.



**Figura 3.** Prueba de germinación de semillas de frijol sobre papel a 30 °C.

No todos los productores de semillas o asociaciones cuentan con los materiales, el espacio o las cámaras de crecimiento para realizar las pruebas de germinación bajo condiciones controladas. Por lo tanto, un método alternativo para medir la germinación que puede ser usado es el de rollos de papel, el cual también está descrito por ISTA (2008). Este método requiere de materiales disponibles en cualquier zona, es fácil de realizar y se describe en la Figura 4.



**Figura 4.** Método del rollo de papel para evaluar germinación de frijol. A) Fila de 50 semillas colocadas a 1 cm del borde del papel, con el micrópilo orientado en sentido opuesto a este. B) Semillas de frijol entre dos capas de papel toalla humedecido. C) Rollo de papel con semillas. D) Rollos de papel en recipientes con agua. E-F) Plántulas de frijol listas para ser evaluadas.

La prueba consiste en colocar 50 semillas de frijol sobre papel toalla extendido y humedecido con agua, para lo cual se puede usar un aspersor de botella. Se forma una fila de semillas con el micrópilo orientado hacia el lado opuesto del borde del papel, espaciadas entre sí 3 cm y a 1 cm del borde del papel (Figura 4 A). Posteriormente las semillas se tapan con otra capa de papel toalla, la cual también se humedece (Figura 4 B).

El papel toalla con las semillas se enrolla y se asegura con tres cintas, las cuales deben quedar ajustadas y sin arrugar el papel (Figura 4 C). Los rollos con las semillas se colocan en recipientes limpios, los cuales pueden ser botellas de refrescos o envases tetrapak con 500 ml de agua (Figura 3 D), y se colocan en un lugar limpio, fresco y alejado del sol. La temperatura óptima para la germinación de frijol (de 20 °C a 30 °C) ocurre con frecuencia en las zonas de producción por lo que una cámara de crecimiento con control de temperatura, aunque es deseable, no es indispensable. Luego de ocho días se hace un recuento de las plántulas normales y se obtiene el porcentaje de germinación con la fórmula:  $(\text{número de plantas normales} / \text{número de semillas colocadas en el papel}) \times 100$ . Este cálculo debe realizarse para cada repetición.

## Vigor

El vigor de un lote de semillas es una compleja propiedad de la semilla que determina el potencial para una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de las plántulas bajo un amplio ámbito de condiciones de campo (Rajjou et al., 2012). En general, los resultados de las pruebas de vigor se han relacionado mejor con la emergencia en el campo que las pruebas de germinación (Kalosinska et al., 2000). El desempeño de la semilla se refiere a la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de plántulas, la habilidad de emerger bajo condiciones desfavorables y luego del almacenamiento, mantener la capacidad de germinar (ISTA, 2008).

Los resultados de las pruebas de germinación pueden ser indicadores del vigor, ya que lotes con más plántulas anormales son menos vigorosos que lotes con una alta proporción de plántulas normales, así como lotes más vigorosos germinan más rápidamente que lotes poco vigorosos. En frijol, la velocidad de emergencia y el porcentaje de germinación en arena se han utilizado para determinar el vigor de semillas de frijol (Araya Garay et al., 2006).

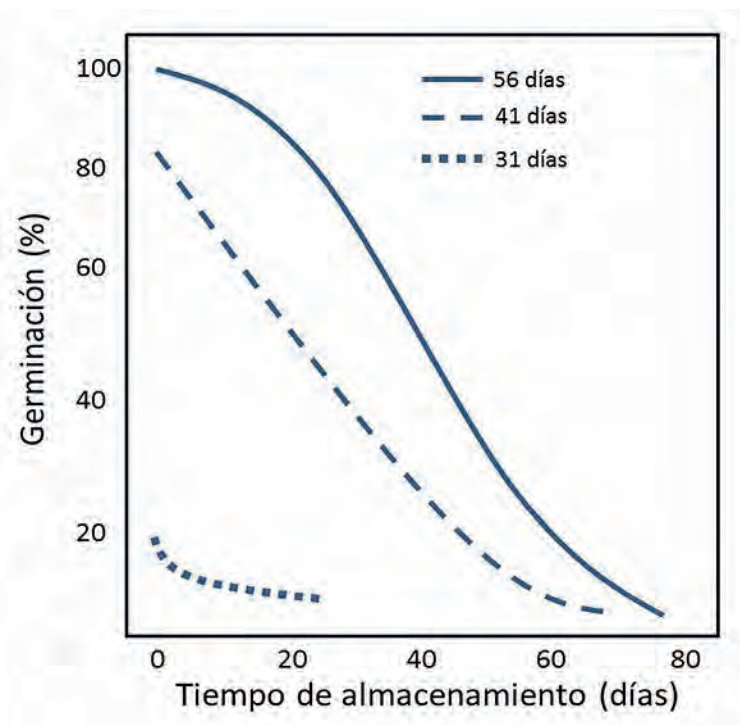
Hasta el año 2008, ISTA únicamente había validado dos pruebas de vigor: la de conductividad eléctrica para *Pisum sativum* y la de envejecimiento acelerado para *Glycine max*, sin embargo, en la literatura existe gran cantidad de información que se ha generado sobre pruebas de vigor en leguminosas (Wang et al., 2004, Khajeh-Hosseini y Rezazadeh, 2011) y específicamente en frijol (Kalosinska et al., 2000, Muasya et al., 2002; da Silva et al., 2013).

El vigor de los lotes de semillas se puede medir al aplicar algún tipo de estrés ambiental a las semillas para posteriormente medir el porcentaje o la tasa de emergencia, la cual se define como la salida del sustrato (suelo, arena) de una planta que se desarrolla a partir de un embrión (ISTA 2008). Un ejemplo de este tipo de medida es la prueba del envejecimiento acelerado, en la cual las semillas se colocan en un ambiente de alta humedad y temperatura (41°C para soya) por 72 horas. Durante la primera hora luego de la remoción de las semillas del tratamiento de envejecimiento, se realiza con estas una prueba de germinación estándar como la descrita anteriormente. El porcentaje de germinación de la muestra con el tratamiento de envejecimiento se compara con la de una muestra del mismo lote sin el tratamiento. Cuando la diferencia entre los dos porcentajes de germinación no sobrepasa el máximo establecido por ISTA, la prueba de germinación y la de envejecimiento acelerado son compatibles (ISTA, 2008).

Otra forma de medir el vigor es mediante alguna variable o característica que esté directamente relacionada con el desempeño de las semillas. La prueba de conductividad eléctrica es un ejemplo de este tipo de medida. Una muestra del lote de semillas se coloca en agua desionizada y posterior a un periodo de tiempo establecido, se mide la conductividad eléctrica de la solución en la que se encuentran las semillas. El principio se basa en que semillas de bajo vigor tienen la característica de sufrir mayores pérdidas de electrolitos en la solución de remojo que semillas de alto vigor, aun cuando el lote tenga un porcentaje de germinación aceptable, por ejemplo, superior al 80 % (Matthews y Powell, 2006).

Para garbanzos, las medidas de conductividad eléctrica que indican bajo vigor están listadas en el manual de ISTA (2008). En leguminosas, las dos causas más comunes de pérdida del vigor es el envejecimiento y el daño causado por la imbibición (Matthews y Powell, 2006). Para este último caso, cuando el agua entra rápidamente a través de la cubierta de la semilla hacia los cotiledones, esto puede causar la muerte celular y la pérdida de solutos al medio circundante, los cuales pueden ser medidos por medio de pruebas de conductividad eléctrica.

Cuando se presentan problemas de germinación, se debe realizar un análisis detallado de las posibles causas. La ausencia o baja germinación de un lote de semillas puede estar relacionada con diversos factores que incluyen desde problemas por la utilización de semillas cosechadas prematuramente (Figura 5), condiciones de secado y empaque inadecuadas, daño mecánico, adquisición de dormancia, daño causado por microorganismos o insectos, entre otros.



**Figura 5.** Supervivencia de semillas de frijol cosechadas a los 56, 41 y 31 días posterior al 50 % de floración y almacenadas a 40 °C y con un contenido de humedad de 14 % (Adaptado de Sanhewe y Elis, 1996).

Un análisis que se utiliza para determinar si son viables las semillas con problemas de germinación, es la prueba de tetrazolio. Para esto, 100 semillas de la variedad de interés previamente imbibidas, se colocan en una solución de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio. Las que adquieren color rojo en sus tejidos se consideran vivas, mientras que tejidos no funcionales no adquieren dicha coloración. La persona encargada del análisis debe examinar los tejidos para determinar si las estructuras esenciales funcionales y en caso de que éstas estén dañadas, decidir si el grado de daño compromete la germinación. La determinación de la viabilidad por este método requiere de personas entrenadas para ello, por lo que se recomienda que la prueba se realice en un laboratorio de semillas.

## Humedad de las semillas

La capacidad de germinación y el vigor de las semillas se pueden perder durante la etapa de almacenamiento o mercadeo, si factores críticos como el contenido de humedad, no son controlados. Es importante medir la humedad de las semillas de frijol para determinar si esta requiere secarse, ya que para ser almacenada debe poseer una humedad que evite el crecimiento de microorganismos y que aceleren su deterioro.

La determinación de la humedad se puede realizar de forma directa mediante el pesado y posterior secado a 130°C de la muestra de semilla pura. El contenido de humedad se expresa como porcentaje en peso de la muestra. Además se pueden hacer determinaciones con medidores de humedad como el que se muestra en la Figura 6, para lo cual se requieren tablas de conversión de la medida observada a porcentajes de humedad.

**Figura 6.** Equipo utilizado para la determinación de humedad.

## Muestreo

Para evaluar la calidad de las semillas es necesario obtener una muestra representativa del lote de semillas. Se debe contar con un protocolo de muestreo establecido de acuerdo al tamaño de lote de semillas y para la obtención de una muestra compuesta. Detalles sobre protocolos de muestreo se detallan en el manual “International Rules for Seed Testing” publicado por The International Seed Testing Association (ISTA). Es importante que aunque este manual es la guía para el análisis de semillas a nivel internacional, es criterio de la persona encargada de realizar el muestreo asegurar que la muestra es representativa.

## Características del grano

La calidad del grano de frijol es el conjunto de características físicas y químicas relacionadas con el valor nutricional, sanitario, industrial y comercial del producto (Mederos 2006). Las características del frijol que será usado para semilla o para grano dependen de factores genéticos asociados a la variedad de frijol, las condiciones de campo, el manejo que se le da al cultivo pre y pos cosecha y los métodos de cocción. Este último factor añade complejidad a determinar la calidad nutricional del frijol ya que además de mejorar la palatabilidad, este proceso provoca un cambio en la composición química del grano que depende de tratamientos como el tiempo de remojo de los granos, el tiempo y método de cocción, como por ejemplo el uso del horno de microondas o la cocina al vapor (El-Syiad y Hassan, 2014).

La importancia del frijol en la dieta de los países latinoamericanos se relaciona con ser una fuente de importante de proteínas y minerales. Además del valor nutricional, las semillas de las leguminosas contienen antioxidantes (Dueñas et al., 2006) que pueden tener un efecto beneficioso en la salud humana. Así como las concentraciones de minerales en la semilla dependen de la variedad de frijol (Dalfollo Ribeiro et al., 2013), esto también aplica para la concentraciones de antioxidantes. Estos se encuentran principalmente en la cubierta de las semillas y se ha observado que el contenido de polifenoles es superior en variedades de frijol negro. Sin embargo, existe la preocupación de que las propiedades antioxidantes pueden reducirse con los procesos de cocción (López et al., 2013). Aunque los reportes sobre reducciones en contenido total de antioxidantes ha sido variable, en un estudio conducido por Xuand y Chang (2008) con diferentes métodos de cocción, se demostró que pueden ocurrir pérdidas del 66 % al 78 % en el contenido de polifenoles totales para la variedad de frijol negro Eclipse, tanto con ollas de presión como en olla común. Por otra parte, una reducción en la capacidad antioxidante puede ser importante en frijoles que han sufrido endurecimiento, puesto que esto conlleva a mayores tiempos de cocción (Machado et al., 2008).

El tiempo de cocción está determinado por diferentes factores como la interacción del genotipo con el ambiente, y las condiciones durante la cosecha, procesamiento y almacenamiento. Tiempo prolongado de cocción, además de representar un costo energético superior, puede causar una reducción en la calidad nutricional del frijol, como se mencionó anteriormente (Machado et al., 2008).

Existen diversos estudios sobre los factores que afectan el tiempo de cocción, entre ellos el endurecimiento, fenómeno que puede ocurrir cuando el frijol se almacena a altas temperaturas y alta humedad relativas ambientales, generalmente mayores al 75 % (Madeiro-Coelho et al., 2007, Mujica et al., 2012). En Costa Rica, es una práctica común que el productor de frijol al cosechar las plantas formen montículos con estas y las deje secar en el campo por varios días. En un estudio sobre ambientes protegidos para el almacenamiento temporal y secado del frijol en campo, se realizaron mediciones de temperatura en diferentes zonas de estos montículos y observaron que durante este periodo, cortas exposiciones a altas temperaturas en campo favorecieron el endurecimiento del grano (Gutiérrez-Soto et al., 2009). Se demostró en 32 líneas de frijol brasileño, que el tiempo de cocción es un factor que además está relacionado con la época de producción y variedad (Dalfollo Ribeiro y colaboradores 2013). Los resultados indicaron que el frijol cosechado en un año en el que se presentaron problemas de déficit hídrico tuvo tiempos de cocción superiores al compararlos con frijol que se produjo en condiciones favorables.

Las condiciones de almacenamiento, el efecto de diferentes temperaturas y contenidos de humedad del grano, se evaluaron sobre el tiempo de cocción de la variedad de frijol Pacuaral. Las temperaturas de almacenamiento (15 °C, 20 °C y 25 °C) no influyeron en el tiempo de cocción de frijoles con un 9,2 % de humedad y almacenados en recipientes plásticos, sin embargo, si se observó un aumento en el tiempo de cocción al final del periodo del ensayo en frijol almacenado con 12,3 % y a 25 °C. Granos almacenados con 15,5 % de humedad tuvieron tiempos de cocción mayores que los observados en frijoles con humedades menores, y este incremento fue mayor conforme la temperatura de almacenamiento aumentó (Mora 1982).

El endurecimiento aumenta el tiempo de cocción, puede alterar el color, la textura y el sabor. Además está relacionado con cambios a nivel bioquímico en los cotiledones, específicamente de taninos y fitatos (Madeiro-Coelho, (2007). Cuando se evaluó en dos genotipos el contenido de fitatos, proteínas, taninos y el tiempo de cocción, almacenados 45, 90 y 135 días y a dos temperaturas y 75 % humedad relativa, uno de los genotipos mostró endurecimiento a los 135 días y fue

correlacionado con la reducción en la concentración de fitato y proteína en almacenamiento a 29 °C (Madeiro-Coelho et al., (2007). En este mismo estudio, en frijoles almacenados a 5 °C se pudo evitar el endurecimiento. El mismo resultado fue reportado por Mujica et al., (2012) en un experimento en el cual el frijol se almacenó 120 días a 5 °C y 34 % de humedad relativa y se comparó con frijol almacenado a 37 °C y 75 % de humedad relativa. Los resultados indicaron que el tiempo de cocción se incrementó de nueve minutos a 95,5 minutos en el frijol almacenado a 37 °C, además de observarse otros efectos que afectan la calidad de la semilla, como una reducción en la capacidad de imbibición y un aumento en la conductividad eléctrica. El almacenamiento en frío es una práctica que debe considerarse como una alternativa para manejo del endurecimiento, sin embargo, esta puede no estar al alcance de muchos pequeños y medianos productores.

El conocer el tiempo de cocción de las variedades locales abre la puerta para reducciones en el tiempo de cocción mediante el mejoramiento genético. Además, ya se han descrito QTLs relacionados con el tiempo de cocción, sin embargo, estos todavía deben ser incorporados en programas de mejoramiento genético (Vasconcelos-García et al., 2012).

## Literatura citada

- Araya Garay, O.J., J.M. Pichardo, J.A. Estrada, J.A. Carrillo, y A. Hernández. 2006. Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayacote en el Valle de México. *Agricultura Técnica en México* 32:313-321.
- da Silva, S.S., R. Daiton Vieira, C. R. de Souza Grzybowski, T.C de Carvalho, and M. Panobianco. 2013. Electrical conductivity of different common bean seeds genotypes. *Journal of Seed Science* 35: 216-224.
- Dalfollo Ribeiro N., J. de Abreu Rodrigues, M. Prigol, C. Wayne Nogueira, L. Storck, and E. Muller Gruhn. 2014. Evaluation of special grains bean lines for grain yield, cooking time and mineral concentrations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 14: 15-22.
- Dueñas, M., T. Hernández, and I. Estrella. 2006. Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry* 98:95-103.
- El-Syiad, S.I., and M.A.M. Hassan. 2014. Quality of White Bean Seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by different treatments. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 9: 20-28.
- Graham, P.H., and P. Ranalli. 1997. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 53: 131-146.
- Gutiérrez-Soto, M., N. Chaves-Barrantes, J.C. Hernández -Fonseca, R. Araya-Villalobos, y D. Ureña-Solís. 2009. Ambientes protegidos para el almacenamiento temporal y el secado del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el campo. *Agronomía Mesoamericana* 20:255-262.
- ISTA, 2008. The International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. (ISTA). Bassersdorf, Suiza.
- Kalosinska, K., J. Szyrmer, and S. Dul. 2000. Relationship between laboratory seed quality tests and field emergence of common bean. *Crop Science* 40:470-475.
- Khajeh-Hosseini, M., and M. Rezazadeh. 2011. The electrical conductivity of soak-water of chickpea seeds provides a quick test indicative of field emergence. *Seed Science and Technology* 39: 692-696.
- López, A., T. El-Naggar, M. Dueñas, T. Ortega, I. Estrella, T. Hernández, M.A. Gómez-Serranillos, O.M. Palomino, and M.E. Carretero. 2013. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry* 138:547-555.
- Machado, C.M., M.G. Ferruzzi, and S. Nielsen. 2008. Impact of the hard-to-cook phenomenon on phenolic antioxidants in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and food Chemistry* 56:3102-3110.
- Madeiros-Coelho, C.M., C. de Mattos Bellato, J.C. Pires Santos, E.M. Marcos-Ortega, and S. Mui Tsai. 2007. Effect of phytate and storage conditions on the development of the “hard to cook” phenomenon in common beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:1237-1243.
- Matthews, S., and A. Powell. 2006. Electrical conductivity vigour test: Physiological basis and use. *Seed Testing International* 131:32-35.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales* 27:55-62.



- Mora, M. 1982. Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobre el tiempo de cocción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado durante 18 meses. *Agronomía Costarricense* 6:87-89
- Muasya, R.M., W.J.M. Lommen, and P.C. Struik. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop II. Seed viability and vigour. *Field Crops Research* 75:79-89.
- Mujica M.V., M. Granito, y N. Soto. 2012. Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento. *Bioagro* 24: 163-174.
- Rajjau, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job, and D. Job. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63:507-533.
- Sanhewe, A.J., and R.H. Ellis. 1996. Seed development and maturation on *Phaseolus vulgaris*. II. Post-harvest longevity in air dry storage. *Journal of Experimental Botany* 47:959-965.
- Vasconcelos-García, R.A., P. Nascimento-Rangel, P. Zaczuk-Bassinello, C. Brondani, L. Cunha Melo, S. Tadeu-Sibov, and R. PereiraVianello-Brondani. 2012. QTL mapping for the cooking time of common beans. *Euphytica* 186:779-792.
- Wang, Y.R., L. Yub, Z. B. Nanb, and Y.L. Liua. 2004. Vigor Tests Used to Rank Seed Lot Quality and Predict Field Emergence in Four Forage Species. *Crop Science* 44: 535-541.
- Xuand, B.J., and S.K.C. Chang. 2008. Total phenolic content and antioxidant properties of Eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. *Journal of Food Science* 73: H19-H27.

## CAPÍTULO 9

### SISTEMA ALTERNATIVO DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE ALTA CALIDAD DE FRIJOL COMÚN

*Rodolfo Araya Villalobos  
Juan Carlos Hernández  
Karolina Martínez Umaña*

#### Introducción

Independientemente de que el Estado pueda o no certificar los lotes de producción de semilla certificada según la legislación vigente, debe existir un control interno de calidad en toda empresa semillera. La calidad a obtener es responsabilidad de la empresa, no del estado. La certificación tradicional fiscaliza la producción a nivel de campo y la procedencia de la semilla empleada, pero verifica la calidad luego de envasada y no hay fiscalización durante el acondicionamiento.

El control estatal garantiza al usuario de la semilla una calidad básica con base en la legislación de protección al consumidor. La empresa semillera debe controlar la calidad en el campo y en pos cosecha. El éxito en su aceptación dependerá de su calidad, no de que sea certificada o no. La preocupación sobre el control de calidad en la producción de semilla de granos básicos en un sistema alternativo se evidencia en las Memorias de la Reunión anual de trabajo sobre semilla mejorada para el pequeño agricultor (CIAT 1982), y en Metodología para obtener semilla de buena calidad (CIAT 1983), en la Producción de semillas mejoradas para pequeños agricultores: Memorias segunda reunión (Gómez F., Zapata MI (eds.) 1986.), así como en la Guía para la producción artesanal de semilla de frijol (Zandate y Galindo 2006).

El manejo del cultivo en el campo para la producción de semilla se ha descrito en varias publicaciones (ONS 1987; García et al., 1988; IDEAS s.f; Donelan P. 2009; Rodríguez et al., 2012). Lo más importante en este proceso es iniciarlo con semillas debidamente verificadas en su sanidad y no seleccionadas con base en su apariencia (Gómez y Zapata eds. 1986). Producción de semilla de frijol de alta calidad (1999) y López et al., 2010). Pero la producción en un sistema alternativo o local ha sido subvalorada debido a que se le relaciona con actividades en el campo y prácticas pos cosecha, sin controles de calidad (ausencia de fiscalizaciones y desconocimiento de la sanidad). Se ha sugerido generar un cambio hacia la “Producción no convencional de semilla de calidad”, donde sí se aplican normas de control desde la siembra (Antonio Silva G., y Hernández M. (eds). 1996), pero se resalta la falta de una metodología apropiada para implementarlo.

El Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Frijol (PITTA Frijol) de Costa Rica, introdujo el Sistema Alternativo de Producción de Semilla (SAPS) entre las organizaciones de pequeños productores, debido a que el control de calidad era desconocido para estas y porque tradicionalmente la producción se había efectuado bajo certificación. Para dar solución a esta situación se diseñó un protocolo de producción local de semilla en el campo en el año 2004 (Araya y Hernández 2007), que fue luego complementado con el protocolo para el manejo pos cosecha de semilla de frijol, desarrollado conjuntamente con el proyecto regional de la FAO: Reforzamiento

de las Políticas de Producción de Semilla de Granos Básicos en Apoyo a la Agricultura Familiar para la Seguridad Alimentaria en Centroamérica “Semillas para el Desarrollo” (Araya et al 2013b). Entre las limitantes por superar sobresalía la falta de capacitación en administración empresarial, además no se contaba con líneas apropiadas para el acondicionamiento (equipos de limpieza, clasificación, secado y almacenamiento temporal), la capacidad para almacenamiento era limitada y había ausencia de capital operativo para la gestión de la producción local de semilla. Se debía desarrollar una estrategia de comunicación como empresa semillera, pero además hacía faltaba una actualización del reglamento de la Ley de Semillas No. 6289, para que respondiera a las necesidades de un sistema alternativo al de la certificación estatal, para la producción local y permitir la inscripción de variedades criollas.

El control interno de calidad en la producción de semilla la puede realizar un comité técnico, que esta conformado por un grupo de personas debidamente capacitadas para efectuar la planificación, el control de calidad, el acondicionado y almacenamiento (Elizondo et al., 2013. Araya et al., 2013a). Este puede formar parte de la estructura administrativa de las organizaciones de pequeños productores agropecuarios o de las empresas productoras de semilla. Sus miembros son nombrados mediante acuerdo de la junta directiva de cada organización y son capacitados en agro negocios y control interno de calidad.

## La buena calidad de la semilla

La buena calidad de la semilla no es solo responsabilidad del grupo organizado de agricultores que la produce, sino también de los programas de mejoramiento genético, que son los encargados de brindar la semilla genética o básica de las nuevas variedades.

Corresponde a la parte gubernamental (Ministerios de Agricultura, Institutos de Investigación Agrícola y Universidades) suministrar los documentos oficiales con la descripción básica de cada variedad, producir la semilla de fundación o registrada o básica que demanden las empresas productoras, y además es conveniente brindar asesoramiento técnico en la producción y la fiscalización de la producción de semilla.

Para el grupo organizado que produce la semilla es importante una capacitación en control de calidad, y luego un seguimiento al menos durante dos años, para garantizar su adecuada implementación.

Los grupos organizados que se involucren en la producción de semilla deben tener acceso a crédito y otros beneficios que se les brinda a las pequeñas y medianas empresas, para que pueda darse su producción con base en las necesidades de sus asociados y la demanda externa potencial. La producción de semilla de calidad brindará a las asociaciones de productores prestigio e independencia en la producción y accesibilidad a la semilla, y seguridad a sus clientes.

## Producción Artesanal de Semillas (PAS) y el Fitomejoramiento Participativo (FP)

Los fitomejoradores, basados en técnicas tradicionales de mejoramiento genético, no habían incorporado a los agricultores dentro del proceso de selección de nuevas variedades (CIAT 1982). Hasta el año 1995 predominaban las variedades de frijol criollas debido a su mejor adaptación y menores requerimientos de insumos. Como solución a la baja adopción de variedades mejoradas surgió la Producción Artesanal de Semillas (PAS), pero luego de su im-

plementación el uso de variedades mejoradas se mantuvo similar. El cambio radical se dio con la introducción de una nueva herramienta de mejoramiento genético, conocida como “Fitomejoramiento Participativo” (FP), donde hay creación, selección y validación de variedades con la participación y bajo las condiciones y necesidades de los agricultores, lo que facilita la mayor adopción de los nuevos materiales porque estos conocen y deciden desde sus primeras etapas de selección, sobre los cultivares que les conviene a nivel local.

Los productores disponen ahora de variedades mejoradas adaptadas a sus suelos, topografía y clima, que requieren menores cantidades de insumos, y con producción mayor o similar a las variedades criollas. Este gran avance no resolvió el problema del empleo de semilla de alta calidad pero sí aumentó la adopción de estas nuevas variedades.

### ¿Por qué fomentar la producción local de semilla en organizaciones de pequeños productores?

Por lo general, los entes oficiales de certificación no incorporan en su sistema la producción de semilla de variedades para uso regional, las variedades nativas o las criollas. Además, cuando los productores están localizados en zonas de laderas, fincas de difícil acceso y en áreas pequeñas (0.5-3 ha), se dificulta la certificación estatal.

Las grandes empresas semilleras no están interesadas en un mercado para pequeños productores dispersos en una gran área geográfica, y no ven rentable producir y almacenar pequeñas cantidades de semilla de frijol (Gómez y Zapata, 1986), lo que evidencia la importancia de la producción local con control de calidad en el campo y en pos cosecha para garantizar el acceso a semilla de calidad de las variedades seleccionadas en su región y en la cantidad que necesitan los pequeños agricultores.

Todo indica que la viabilidad de la producción local de semilla solo se da cuando su gestión se lleva a cabo con grupos organizados, pero no se ha establecido bajo qué condiciones de infraestructura y equipo, y cuáles necesidades de capacitación deben satisfacerse. Además, no existía una guía para la producción local y análisis de calidad (CIAT 1982). La estrategia se puede basar en implementar un protocolo de fácil adaptación a las condiciones de los pequeños agricultores y adecuado a la infraestructura, organización y recursos financieros de cada Asociación de Productores (ASOPRO) o cooperativa. Lo más importante es asegurar la calidad, lo cual se puede lograr capacitando un grupo de agricultores mediante la formación de un comité técnico, que planifique las actividades, obtenga la semilla base, contrate reproductores y fiscalice la producción en el campo y en pos cosecha con base en un protocolo preestablecido. Esto permite la supervisión objetiva del desarrollo y la sanidad del cultivo en el campo y de la calidad de la semilla en pos cosecha. Cuando existe el apoyo estatal para estas actividades, se puede incluir a un técnico capacitado para determinar el buen manejo agronómico y valorar la incidencia de enfermedades que se transmiten por semilla (Frank y Vern, 1972).

### ¿Qué es una semilla?

La semilla es el óvulo fecundado y maduro que se desarrolla dentro de la vaina. Está compuesta por un embrión o futura planta de frijol, rodeada por un alimento de reserva (cotiledones). Estos cotiledones le dan la oportunidad al embrión de crecer y desarrollar raíces, tallos, ramas y hojas para

aprovechar la luz solar y tomar los nutrimentos del suelo. Posee además una protección exterior llamada tegumento o cáscara. El embrión permanece latente, hasta que penetre el agua, lo active y provoque la germinación, condición que se puede dar desde que la semilla termina su crecimiento en la vaina.

En el campo, cuando se llega a madurez fisiológica, se detiene su crecimiento y la semilla alcanza su máximo contenido de materia seca, de vigor y germinación, además del color definitivo de la testa o cáscara, y con un contenido de agua entre 30 % a 45 %. El embrión está totalmente maduro, pero en un estado de latencia.

### ¿Cómo estar seguros de la calidad de la semilla?

La calidad de la semilla no está determinada solo por el aspecto visual: tamaño uniforme, color similar y sin daños ni defectos. Esto no garantiza que no está contaminada con hongos, bacterias o virus, que sea genéticamente pura (no está mezclada con semilla de otras variedades), y que tenga alto porcentaje de germinación y vigor. Pueden tener un buen aspecto y un reducido porcentaje de germinación, pero estar contaminadas con hongos, virus y bacterias o mostrar mal aspecto y tener buen vigor y germinación y estar sanas.

Como el frijol se autopoliniza, los riesgos de cruzamiento con otras variedades son muy bajos en comparación con el maíz (cultivo alógamo), cuya polinización se da principalmente por efecto del viento. La contaminación en frijol en su mayoría es física, por mezcla con semillas de otras variedades, tanto en el campo como durante su desgrane, secado y almacenamiento. Esta contaminación se puede dar por la presencia de semillas de siembras anteriores que lograron crecer en el campo y mezclarse durante la cosecha, semillas que quedaron en la trilladora o en los envases (sacos, bolsas) que pueden contener semillas de otras variedades.

La calidad de la semilla se logra con una oportuna fiscalización de su producción y cosecha en el campo, con un apropiado beneficiado de la semilla, más un análisis de laboratorio y un adecuado almacenamiento.

### Importancia de la disponibilidad de semilla

El éxito de una variedad (nativa, criolla o mejorada), reconocida por sus características de rendimiento y calidad de grano, dependerá de la producción de semilla y su disponibilidad y acceso a los agricultores. Las ASOPRO pueden satisfacer esta demanda acorde a las necesidades de sus asociados.

El potencial que brinda una nueva variedad no se obtiene hasta que su semilla esté disponible; incluso se puede lograr mejorar la producción con variedades criollas si se dispone de semilla de alta calidad (Hocdé et al., 1999).

Los sistemas nacionales de producción de semillas están ausentes en varios países de la región o resultan de difícil acceso a los pequeños productores, por la lejanía de los centros de distribución, su alto costo, y principalmente porque solo producen semillas de variedades inscritas para uso nacional y no regional, y se excluyen las variedades nativas y criollas. Esto está limitando el acceso a la nueva tecnología ofrecida por el FP para la selección de nuevas variedades.

Las organizaciones deben basar su éxito en la comercialización de semillas, con base en la motivación de sus socios para su uso y la coordinación de su venta para otras organizaciones o cooperativas. Los socios reciben el beneficio de utilizar una semilla de buena calidad, disponible cuando la requieran y en la cantidad necesaria para sus áreas de siembra, además de asegurar la disponibilidad de las variedades de mayor valor agronómico y comercial.

## Uso de grano como semilla

Como lo tradicional entre agricultores es el intercambio de grano, el reservar parte de la cosecha para la próxima siembra, intercambiar con sus vecinos o adquirirlo en los mercados locales, se corre el riesgo de utilizar como semilla un grano infectado y mezclado que podría contaminar los suelos con patógenos, e introducir malezas a los terrenos. Se considera grano cuando no se valora si tiene alto % de germinación o alto vigor, y se desconoce a qué variedad o variedades pertenece. Puede estar contaminada con patógenos, plagas o semilla de malezas. Además el uso de grano como semilla puede conducir a un mal establecimiento del cultivo (baja germinación o bajo vigor) (Barrantes y Araya, 2014).

La semilla puede contaminarse con virus, hongos y bacterias, que pueden estar dentro de ella o en la cubierta seminal y pueden provocar enfermedades, reducir la germinación y el vigor, y deteriorar su apariencia. Se convierte así en el principal medio de dispersión de las enfermedades a grandes distancias, incluyendo países y continentes. Algunos hongos como la antracnosis se dispersan principalmente por semilla, por lo que el uso de semilla de calidad puede conducir a la ausencia de esta enfermedad, aún cuando la variedad sea susceptible. La mancha angular se dispersa por el viento, y el control de este patógeno se logra con el uso de semilla de calidad y el combate químico.

En una semilla de mala calidad se pueden transportar hongos del suelo, que una vez introducidos al terreno son de muy difícil control (*Fusarium*, *Sclerotium*, *Macrophomina*, *Rhizoctonia*). La sobrevivencia de los patógenos que atacan al frijol en Centroamérica y El Caribe, que se transmiten por semilla y permanecen en el suelo o residuos de cosecha, se muestran en el Cuadro 1. Para el hongo telaraña o mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*), la semilla es un medio muy efectivo de sobrevivencia y fuente de inóculo para la parte aérea de las plantas (Problemas de producción del frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. 1980).

**Cuadro 1.** Supervivencia de hongos, bacterias y virus fitopatógenos en la semilla de frijol común. 2006.

Patógenos	Ubicación en la semilla		Supervivencia en la semilla	Supervivencia en el suelo
	Interna	Externa		
Mancha angular	X	X	Al menos un año*	Dos años en residuos de cosecha*
Antracnosis	X	X	Tres años*	Tres años en residuos de cosecha*
Mustia hilachosa	X	X	Al menos dos años**	Al menos tres años en el suelo y más de un año en residuos de cosecha**
Bacteria	X	X	Dos años*	Dos años en residuos de cosecha*

\*/ Jara, Carlos. 2006. Programa de fitopatología del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Comunicación personal.

\*\*/ Godoy, Graciela. 2007. Supervivencia de *Thanatephorus cucumeris* en semilla de frijol y en el suelo. Centro de Investigaciones Agrícolas del Suroeste (CIAS). San Juan de la Maguana. República Dominicana. Comunicación personal.

## ¿La calidad de la semilla me asegura el éxito?

Cuando un agricultor tiene semilla de alta calidad dispone en sus manos del principal insumo agrícola. De ella depende que se obtenga la calidad requerida por los consumidores de frijol y una producción rentable. Pero además el éxito comercial de un cultivo está basado en la selección de la variedad apropiada a sus terrenos, clima, insumos, manejo agronómico y condiciones de mercado. La situación contraria se da cuando el agricultor posee una buena variedad, pero no dispone de semilla de buena calidad, y la inversión que haga en todo el proceso de producción se podrá perder.

## Experiencias sobre producción local de semilla

En Centroamérica, las experiencias sobre producción local de semilla se han documentado ampliamente (PRIAG, 1996, Rosas y Castro, 1998). En estos estudios se indican diversas situaciones relacionadas con la producción local: pérdida de variedades criollas por mal manejo de semilla, desabastecimiento por problemas climáticos, uso del grano comercial como semilla, cambios institucionales que redujeron o eliminaron infraestructura y personal dedicado a su producción, y falta de experiencia en su comercialización, causado en parte por la producción individual, dificultándose la comercialización.

La principal iniciativa regional para incentivar la producción local de semilla se basó en la metodología “aprender haciendo”, enfocado en capacitar a los productores para producir semilla para autoconsumo. No se lograron los objetivos propuestos, pero se encuentra un ejemplo exitoso en Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua, con un grupo de agricultores organizados que produjeron semilla con sus propios recursos (PRIAG, 1996). Se concluyó que para lograr la producción de buena calidad a nivel local es necesario un cambio radical en las estrategias implementadas. La semilla obtenida se destinó al autoconsumo, aunque sugieren su potencial para venta. Otro aspecto que se enfatiza es la necesidad de brindar asesoramiento técnico en las parcelas de producción. El Programa de Desarrollo de la Cuenca de San Dionisio (PRODESSA), en Nicaragua, incentivó la producción de semilla considerando aspectos económicos y organizativos, que buscaban el éxito técnico, su disponibilidad real y su uso. Se formó una comisión de semillas y solo se otorgaron créditos a los agricultores organizados. PRODESSA se encargó de brindar capacitación en producción, aspectos técnicos, selección del lote y procesamiento. En 1991, debido a su demanda, se forma la primera Comisión de Productores. Tres años después se ve la importancia de acopiar y acondicionar la semilla producida para mejorar su comercialización, pero los productores de semilla no lograron consolidar una organización formal, lo que no dio sostenibilidad a su producción (PRIAG, 1996).

La semilla producida en la misma zona donde se va a utilizar reduce los costos y facilita su acceso. El beneficio que recibe la organización de agricultores por producirla es un beneficio para todos sus socios. Los créditos y los seguros de cosecha que se den a esta, por lo general están relacionados con la existencia y uso de semilla de alta calidad. Además se reduce la dependencia externa, y se fortalece su “empoderamiento” en su producción.

En los estudios sobre la producción local de semilla se reconocieron factores básicos en la producción comercial de frijol: la semilla de calidad garantiza las características deseadas de la variedad; contribuye a fortalecer el cultivo de las variedades nativas y criollas, lo que favorece la conservación *in situ* de la variabilidad nativa, y es el único factor de producción que no se puede obviar.

Uno de las primeras producciones de semilla local, se desarrolló en Guatemala en el año 2002, con la producción bajo riego. En el año 2004 se formó la Asociación de Semilleristas de Jocotán (ASEJO) que ha comercializado 52 toneladas de maíz y 77 toneladas de frijol (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación 2006).

## Semilla certificada y descripción varietal

La mayoría de los procesos de certificación tiene las siguientes categorías de semillas: 1-Genética, 2-Fundación, 3-Registrada y 4-Certificada. Otra categoría es la Autorizada. Este proceso se inicia con la primera semilla obtenida, luego sigue seleccionar y liberar oficialmente una variedad mejorada. El incremento de la semilla genética da origen a la de Fundación, en el segundo incremento (siembra de la semilla de Fundación), se obtiene la Registrada, y el proceso finaliza con el último incremento (siembra de la Registrada); su cosecha da origen a la Certificada.

La semilla certificada o autorizada es la categoría que se vende a los agricultores. Su multiplicación se efectúa bajo un manejo agronómico óptimo, considerando la protección contra patógenos que se transmiten por la semilla. Cuando se inicia con semilla de Fundación o Registrada, se podrá apartar un lote para los incrementos posteriores. Debe quedar un respaldo de la semilla original que garantice incrementos anuales durante al menos cinco años. Esto garantizará su disponibilidad con las características originales de la variedad.



La semilla certificada o autorizada garantiza una identidad genética conocida (ejemplos: variedad Bribri de Costa Rica, ICTA Ligero de Guatemala, Amadeus 77 de Honduras y Pueblo Nuevo JM de Nicaragua) y alta pureza (sin contaminación con otras variedades, malezas, insectos o patógenos).

La producción local se inicia con semilla de fundación o registrada proveniente de un organismo estatal, organización no gubernamental o empresa privada. La primera semilla obtenida se conoce como registrada. Si se emplea la categoría registrada para obtener semilla en organizaciones de agricultores, se denominará a su producto “autorizada”, ya que no fue certificada por un funcionario de la Oficina Nacional de Semillas.

La descripción varietal permite la adecuada supervisión de los lotes de producción de semilla certificada, con el objetivo de controlar la pureza genética y física de cada variedad. La descripción varietal es de gran importancia cuando se trata de nuevas variedades con las cuales no se está familiarizado, tanto por parte de los encargados de la certificación como por los productores de semilla certificada (CIAT, 1983; ONS 2006; Reglamento Técnico Centroamericano 2006; Oficina de Normas y Procedimientos, 2006).

### ¿Qué es un cultivar o variedad?

El término “cultivar” indica un grupo de plantas cultivadas que se distingue de las demás de su especie por cualquier característica (morfológica, fisiológica, citológica, química u otras) y que al reproducirse, mantienen las características que le son propias. El término “variedad”, cuando se utiliza para indicar una variedad cultivada, es equivalente al de “cultivar”.

### Entes oficiales de certificación de semillas de Centroamérica

En Costa Rica el ente encargado de fiscalizar la producción de semilla es la Oficina Nacional de Semillas; en Nicaragua el Departamento de Semillas de la Dirección General de Protección y Sanidad Agropecuaria del Ministerio Agropecuario y Forestal; en Honduras el Programa Nacional de Producción de Semillas de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (Departamento de Certificación de Semillas, Honduras 2006. Ley de semillas de Honduras 1980); en El Salvador, la Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal; en Guatemala, el Departamento de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación; en México, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y en Cuba, la Empresa Nacional de Semillas, Ministerio de Agricultura.

### La Oficina Nacional de Semillas de Costa Rica

La Ley de Semillas número 6289, del 4 de diciembre de 1978, dio origen a la Oficina Nacional de Semillas (ONS) en Costa Rica. Esta oficina tiene independencia en su funcionamiento operativo y en su administración tiene personería jurídica. La ONS actúa como el certificador oficial de semillas. Certifica las nuevas variedades con base en Comités Calificadores, que se basan en los requisitos de certificación establecidos por la ONS, y en el Reglamento Técnico Centroamericano (Reglamento Técnico Centroamericano 2006).

## Control de calidad en el campo

En toda organización de agricultores interesados en la producción local de semilla debe establecerse un comité técnico, como se detalla en la “Guía para el establecimiento de comités técnicos” (Elizondo et al 2013). Se sugiere que esté integrado por al menos tres de sus socios.

### Comité técnico

Los miembros del comité técnico, como se detalla en el Protocolo para la Producción Local de Semilla de Frijol (Araya y Hernández 2007) y en el Protocolo Pos Cosecha de la Semilla de Frijol (Araya et al 2013b) se deben capacitar en el reconocimiento de las enfermedades, la identificación de plantas fuera de tipo, el reconocimiento de semillas afectadas por enfermedades y plagas, la evaluación de la germinación y el vigor, y las técnicas de muestreo de los campos de producción. También deben capacitarse en las estrategias de comercialización, la operación eficiente de los equipos de acondicionamiento de la semilla, y de las condiciones de almacenamiento.

Los requisitos de calidad que se indican en Protocolo para la Producción Local de Semilla de Frijol (Araya y Hernández 2007) y en el Protocolo Pos Cosecha de la Semilla de Frijol (Araya et al 2013b), son de aplicación rigurosa en cuanto a los factores que se pueden controlar (terreno, aislamiento, presencia de patógenos o su combate, limpieza de la semilla), pero deben ser flexibles para los factores de los que no se tiene control, como la humedad del grano en la época lluviosa y las condiciones de almacenamiento de las que se dispone.

### Actividades del comité técnico

El comité técnico establece la demanda potencial por variedad entre los socios y la posible demanda externa, y con base en los recursos disponibles debe establecer el volumen de compra (Araya et al., 2013a) La organización de agricultores debe tener dinero dedicado a esta actividad (fondo capital semilla), que determinará el total que se puede comprar. Además debe incluir los costos de la supervisión de los campos de producción, la verificación en la planta y en el laboratorio, exámenes de laboratorio y los costos anuales de inscripción como empresa semillera y de la inspección por parte de la Oficina de Semillas.

El comité debe gestionar ante las instituciones estatales de investigación, ONGs y empresa privada, la semilla de fundación o registrada de las variedades a incrementar. Debe aprobar los protocolos de producción de semilla, seleccionar los agricultores reproductores y analizar con ellos el protocolo de producción de semilla en que se basarán para aceptar o rechazar los lotes de semilla.

### Selección del terreno

El Comité selecciona y efectúa la inspección previa de las fincas aptas para la producción de semilla. Durante al menos un año, el reproductor no debe haber cultivado frijol en el terreno seleccionado. El terreno deberá rotarse con una gramínea: maíz, sorgo o arroz. Con esta estrategia se evita la contaminación con otras variedades y se reduce la presencia de patógenos en el suelo o en los rastrojos. La ubicación del terreno debe ser de fácil acceso, con el propósito de facilitar las fiscalizaciones.

## Variedad y cantidad de semilla para la siembra

El Comité técnico asignará la variedad y la cantidad a reproducir, con base en las características de los terrenos seleccionados y la época de siembra y la demanda de los socios de las organizaciones.

## Manejo agronómico

Se sugiere la siembra en la época veranera o segunda época de siembra en el pacífico de Centroamérica, en donde la cosecha coincide con una época seca. También se sugiere la siembra con una mayor distancia entre surcos o hileras de siembra que la usada a nivel comercial. El combate de malezas se debe iniciar de 30 a 15 días antes de la siembra, después de la siembra aplicar herbicidas pre-emergentes, lo que facilita posteriormente el combate de malezas entre surcos, con el uso de cobertores de boquilla (Hernández y Araya 2003). Al momento de la siembra se debe iniciar el control preventivo de plagas y patógenos con la aplicación de fungicidas e insecticidas sistémicos a la semilla, si la siembra es mecanizada y si es manual se recomienda no tratar la semilla e iniciar el combate de patógenos con base en su adecuada identificación y bajo las buenas prácticas agrícolas.

## Fiscalización del cultivo

Se planifica la fiscalización del cultivo con al menos tres visitas en los estados fenológicos de: 1- floración, 2- llenado de vainas y 3- antes de la cosecha.

El muestreo de los campos con producción de semilla incluye la selección del método de muestreo para garantizar la selección al azar de los puntos de evaluación de la sanidad del cultivo. Este método además debe asegurar una duración en el campo no mayor de dos horas debido a la limitación en tiempo de los integrantes del comité para evaluación de los campos (los integrantes del comité son también agricultores, con actividades propias), así como los costos que implica esta inspección. Se recomienda un mínimo de seis muestras de todo el terreno (Faria-Vieira et al., 1993).

## Muestreo de los campos de producción

Se debe establecer un croquis para identificar los puntos de muestreo, de manera que el reproductor pueda conocer los puntos muestreados, y se sugiere que el reproductor siempre acompañe al fiscalizador. Cada punto muestreado debe abarcar todas las vainas de las plantas ubicadas en los dos metros lineales (aproximadamente 20 plantas). Si se obtienen seis muestras, el total de plantas por evaluar por lote sería de aproximadamente 120.

Se sugiere iniciar la evaluación luego de caminar 30 pasos por el perímetro, penetrar 30 pasos y efectuar la evaluación. Seguir 30 pasos más para efectuar otra evaluación hasta llegar al otro límite del terreno. Luego caminar 20 pasos por el perímetro y penetrar de nuevo con 30 pasos. El formulario de esta fiscalización lo llena el fiscal (miembro del comité, o un técnico, capacitado en inspección de lotes de semilla) y luego lo firma el reproductor. Se recomienda elaborar un croquis del lote de producción (en el envés de la hoja de fiscalización), para tener de respaldo y verificación de los sitios muestreados. Se sugiere anotar las observaciones efectuadas al lote, una vez concluido el muestreo, y luego revisar en grupo (Comité, técnico y reproductor) dichas anotaciones.

## Recomendaciones para los reproductores de semillas

Debe tenerse como rutina la eliminación de plantas fuera de tipo y las plantas de otras variedades. Se sugiere iniciar esta labor luego de la emergencia de las plántulas, cuando se podrían eliminar las plántulas con hipocotilo diferente al de la variedad a incrementar, ejemplo: si es Brunca la variedad plantada y aparecen plántulas con hipocotilo verde, deberán eliminarse, porque pertenecen a otra variedad. Deben eliminarse todas las plantas que presenten patógenos transmisibles en la semilla. Los focos de antracnosis, bacteriosis y mustia hilachosa deben ser erradicados sacando las plántulas fuera del cultivo y aplicando al cultivo agroquímicos específicos para su prevención y combate. En floración será fácil eliminar las plantas con flores de otro color, así como durante la maduración de las vainas, cuando podrían aparecer vainas de otro color o con rayas, etc.

## Inspección de campo

### Normas para la aceptación de los campos de producción

Las normas para la aceptación de los campos de producción de semilla local aparecen en el Cuadro 2. Para efectos de sanidad, la incidencia de los patógenos como antracnosis, bacteriosis, telaraña, mancha angular y ascochyta (Cardona et al., 1997), solo se verifica en vainas con base en la premisa de que habrá combate agroquímico preventivo antes de la floración. Como el rango del número de vainas varía según el número de vainas por planta y el total de las plantas muestreadas, así variará el máximo número de vainas que se aceptarán como máximo para no rechazar el lote de producción de semilla. Como ejemplo, para un promedio de 15 vainas por planta (1800 vainas en 120 plantas muestreadas), el máximo número de vainas infectadas será de cuatro. Si el promedio de vainas es mayor, 20 vainas por planta (2400 vainas en 120 plantas muestreadas), el máximo número de vainas infectadas será de cinco. Valores mayores indican que el campo debe ser rechazado para obtener semilla. Se debe tomar en cuenta que estas normas solo califican la infección en vaina a excepción de la presencia de virus, en la cual se toma en cuenta la planta en cualquier estado de desarrollo.

**Cuadro 2.** Normas para la aceptación de campos de producción de semilla local de frijol. 2006<sup>1</sup>.

Factor	Categoría autorizada
Otras variedades, plantas fuera de tipo	1:200 ( 0,5 %) *
Otros cultivos	0
Malezas comunes	Que no compitan significativamente con
el cultivo, ni propicien un medio adecuado	
para el desarrollo de enfermedades	
Patógenos	
Virus del mosaico común (BCMV) Plantas enfermas	1:500 ( 0,2 %) **
Bacteriosis común <i>Xanthomonas campestris</i> pv <i>phaseoli</i> (Smith). Vainas infectadas	1:500 ( 0,2 %) **
Antracnosis <i>Colletotrichum indemuthianum</i> (Sacc.Magn.) Vainas infectadas	1:500 ( 0,2 %) **
Telaraña <i>Thanatephorus cucumeris</i> (Frank) Donk. Vainas infectadas	1:500 ( 0,2 %) **
Mancha angular <i>Pseudocercospora griseola</i> (Sacc.) Vainas infectadas	1:10 (10 %) **
Ascochyta <i>Phoma exigua</i> var. <i>diversispora</i> Vainas infectadas	1:500 ( 0,2 %) **
Aislamiento mínimo	Dos metros

1/ Basado en el Reglamento Técnico para la Producción de Semilla Certificada de Frijol. Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica. 1990.

\*/ En 120 plantas muestreadas, no debe aparecer más de una planta de otra variedad, o fuera de tipo, para no superar el valor del 0,5 %.

\*\*/ \*\*/ El rango de vainas varía según el número de vainas por planta y el total de vainas en las plantas muestreadas: Como ejemplo, para un promedio de 15 vainas por planta (1800 vainas en 120 plantas), el número máximo de vainas infectadas será de cuatro. Si el promedio de vainas es mayor, 20 vainas por planta (2400 vainas en 120 plantas), el número máximo de vainas infectadas será de cinco.

La distancia mínima entre lotes de producción de semilla o entre lote de semilla y lote comercial debe ser de dos metros. La separación con hileras de maíz se efectúa con una distancia de al menos dos metros del lote de semilla, para que la sombra del maíz al frijol no afecte el frijol. Los productores deben avisar al comité con al menos quince días de anticipación, la fecha de cosecha de su campo de producción de semilla.

Cuando el lote de incremento de semilla está de cosecha, solo debe cosecharse este lote, se debe colocar la semilla en sacos debidamente identificados con colilla externa y colilla dentro del saco, con

el nombre de la variedad, lote, agricultor y fecha de cosecha. Se debe limpiar y clasificar la semilla lo más pronto posible y asegurar que el secado sea adecuado. Altas temperaturas o exposiciones prolongadas al sol reducirán su vigor y germinación. Se almacena separado del grano comercial. La máquina trilladora se debe limpiar antes y después de desgranar cada variedad para evitar contaminación física.

## Control de calidad en pos cosecha

En pos cosecha, de forma similar al control de campo, se continúa con la inspección de la semilla para verificar su calidad, así como su acondicionamiento, envase y almacenamiento. La eficacia de la supervisión estará basada en la capacitación del personal asignado y de la normativa a emplear. El mal manejo de los campos de producción o condiciones climáticas adversas provocarán plantas mal desarrolladas (da Silva, 2005), lo cual podrá afectar el llenado de la semilla y su sanidad, lo que no será corregido con un buen manejo pos cosecha. Las buenas prácticas de cosecha, secado, acondicionamiento y almacenamiento, únicamente lograrán mantener la calidad que proviene de esa cosecha y hacer más lento su deterioro.

## Posibles riesgos de contaminación

La contaminación se puede dar por la presencia de semillas de siembras anteriores que lograron crecer en el campo y mezclarse durante la cosecha, por semillas que quedaron en la trilladora o en los envases (sacos, bolsas ya utilizadas anteriormente) que pueden contener semillas de otras variedades, o por una mala ubicación de las semillas durante el acondicionado (junto al grano, cerca o junto con agroquímicos).

## Operaciones

En granos básicos las principales operaciones en pos cosecha son:

1. Secado
2. Desbasurado
3. Entrega de la semilla a la organización
4. Evaluación de la calidad de la semilla (física, fisiológica y sanitaria)
5. Limpieza mecánica o manual
6. Selección mecánica y manual
7. Desinfección y desinfestación (tratamiento de patógenos y plagas)
8. Empaque y etiquetado
9. Almacenamiento
10. Monitoreo de calidad de la semilla (humedad, temperatura, germinación y vigor) durante su almacenamiento

## Control de puntos críticos

Los puntos críticos se inician con el recibo de la semilla para su acondicionamiento final. Es básico el análisis de humedad, % de germinación, vigor, y aspectos de tamaño de la semilla, daños y decoloraciones, así como contaminantes. Luego seguirá su clasificación (con su debido control contra un patrón o muestra de semilla que se prepara para tenerlo de referencia), el envasado y etiquetado, y su almacenamiento en condiciones apropiadas.

## Cosecha y transporte a la planta de procesamiento

Luego de que la semilla ha alcanzado su madurez fisiológica, el momento de cosecha dependerá de las condiciones ambientales, las cuales influyen directamente sobre el contenido de humedad de la semilla, y es factor determinante en todas las operaciones posteriores. Cuando está lista para la cosecha y las condiciones son húmedas y lluviosas, el secado de las semillas en la vaina se prolongará. La cosecha se realiza cuando tienen entre un 18-20 % de humedad. Por lo general la cosecha y el transporte le corresponden efectuarlos al reproductor. La semilla se entrega en el área de acondicionado de la organización de productores, luego de aprobado su campo. Debe seguir en forma estricta las condiciones en que debe entregar la semilla (humedad, vigor, basuras, contaminantes, daños y tamaño de la semilla).

En el área de acondicionado se debe disponer de infraestructura y equipo básico para la recepción, análisis preliminar, pre lavado, selección mecánica, selección manual, empaque y almacenamiento. Si es factible se incluye además una evaluación de la presencia de enfermedades y plagas. Lo recomendable es que un laboratorio oficial de semillas o uno de fitopatología se encargue de estos análisis. Durante el acondicionamiento se eliminan impurezas, semillas partidas o dañadas y se clasifican según su tamaño.

La semilla se almacena bajo condiciones de baja humedad (menos del 13 %). Se termina el proceso con un adecuado envase (silos, estañones plásticos, bolsas de papel, sacos de yute, polipropileno, bolsa SuperGrainbag, etc.). El envase se identifica con una colilla interna y externa para garantizar la trazabilidad. Antes de envasar o vender, se debe tratar con agroquímicos para prevenir el ataque de hongos, bacterias, nematodos o insectos.

## Registros

Los registros consisten en los formularios que garantizarán el control de calidad y permitirán la trazabilidad de este proceso. Se debe llenar un formulario en cada etapa de fiscalización: entrega de semilla, análisis de calidad física y fisiológica, selección y acabado final de esta, etiquetado y envasado.

## Control del acondicionado y del control de calidad

### Recepción del lote de semillas

El comité técnico aprueba los campos de semilla, con base en el Protocolo de Producción de Semilla (Araya y Hernández, 2007). Posteriormente el reproductor procede a cosechar y entregar a la organización la semilla limpia y seca. Debido a que la semilla se puede contaminar durante el desgrane,

el acondicionado y el transporte (Faria-Vieira et al., 1993), es necesario el análisis de calidad luego de recibida la semilla. El comité técnico continúa su fiscalización durante el recibo, los análisis de control de calidad, el acondicionado, el etiquetado y el envasado.

## Formulario de recibo de la semilla

Uno de los miembros del comité técnico o personal calificado designado o contratado debe llenar el formulario de recibo pos cosecha. En este formulario se anota el nombre del reproductor, la variedad y la procedencia de la semilla de fundación, registrada o autorizada con que se sembró el lote, debe ser firmado por el reproductor y el inspector, y se debe indicar el número de lote y de sacos entregados. En Costa Rica la Universidad de Costa Rica (UCR) suministra la semilla de fundación o registrada de frijol y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología (INTA) o el Consejo Nacional de Producción (CNP), suministran semilla registrada.

Se anota la entrada de la semilla, con base en el número de la boleta de ingreso a la organización, la cual incluye el peso total del lote y número de sacos entregados por el reproductor (carga). La boleta oficial de ingreso de grano a la organización, es también empleada en Costa Rica para recibir la semilla.

## Muestreos

Luego de recibir la semilla se procede a obtener una muestra (aproximadamente un kilogramo) proveniente de todos los sacos que entregó cada reproductor a la organización (Aguirre y Silma, 1992). El muestreo es muy importante para poder verificar su calidad, por lo que la muestra debe ser representativa de todo el lote de semilla (Baudety Peske, 2005). El muestreo se efectúa con un calador o chuzo (conocido también como calador Nobbe o calador de bayoneta (Moreno, 1984).

## Homogenización de la muestra del lote de semilla

Luego del muestreo hay que homogenizar la muestra, lo cual se efectúa mediante un equipo para tal propósito o manualmente. Se obtienen tres submuestras representativas del lote de semilla, una para realizar el examen de impurezas y humedad, otra para determinar la presencia de patógenos y la tercera para verificar la germinación y el vigor. El primer equipo a emplear es el divisor u homogeneizador de muestras, también conocido como Boerner o divisor cónico (Moreno, 1984), y si no se dispone de este equipo se debe uniformizar manualmente.

## Contenido de humedad

Para verificar el contenido de humedad la USS utiliza el determinador marca GEHAKA Modelo G919-AGRI, que pesa la muestra y brinda en forma automática el porcentaje de humedad, o el Motomco modelo 919.

## Evaluación de la condición física

La normativa para el recibo de semilla de frijol del Consejo Nacional de Producción (CNP) de Costa Rica se muestra en el Cuadro 3. La sumatoria máxima de contaminantes es de 2 %. Valores superiores implican el rechazo del lote.



**Cuadro 3.** Valores máximos tolerados de humedad, impurezas y contaminantes para el recibo de semilla de frijol.

Rubro *	%	# semillas
Humedad **	13	---
Impurezas ***	5	(50 g/kg)
Contaminantes		
Semilla decolorada (contrastante)	0,2	10
Mezcla varietal	0,2	10
Semillas fuera de tipo ****	0,2	10
Semillas con daño mecánico	2	100
Semillas dañadas por hongos	1,5	75
Semillas con daños por insectos	1,5	75
Semillas deformadas o arrugadas	2	100
Semillas pre germinadas	0,3	15
Semillas de malezas	0	0
Semillas de otros cultivos	0	0

El número máximo aceptado en cada rubro se basó en 5000 semillas por kilogramo (peso promedio de la variedad, 20 g por 100 semillas).

\*\* Lectura de germinación a los nueve días y un mínimo de 85 %.

\*\*\* Para el rendimiento de la semilla se emplea la criba N° 9/64x3/4, el remanente podrá ser considerado como grano con base en la normativa de cada organización, para este tipo de producto.

\*\*\*\* Con base en las características morfológicas propias de cada variedad se considera el tamaño, forma, color, tono y presencia o ausencia de brillo.

Para realizar el análisis físico se emplea la criba 8/64 con su respectivo fondo para separar las impurezas. Para conocer el peso de las impurezas de la muestra (materia inerte, semillas dañadas, etc.) se emplea una balanza con capacidad de 0,01 g a 5 kg, mecánica o electrónica. Una lupa con brazo ajustable, un aumento de 4X e iluminación, facilita la verificación del contenido de materia inerte, daños y otros contaminantes. Se evalúa además la presencia de semillas de otras variedades (negras, rojas u otro color), “contrastantes” o decoloradas, partidas, arrugadas o pequeñas, y materia inerte como los tallos, hojas o terrones.

### Evaluación de la condición fitosanitaria

De la muestra total obtenida de todos los sacos de semilla entregados por el reproductor, se toma una sub muestra de 250 gramos. Esta debe tener un acabado igual al que se le brindará a la semilla (eliminación de impurezas, grano pequeño, dañado, decolorado, partido o manchado) de forma similar a como se desea que quede la semilla seleccionada manualmente. Se envía al Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional, en una bolsa de papel rotulada con el número de boleta de ingreso a la organización, el nombre del productor y el nombre de la variedad. El objetivo es determinar la ausencia o presencia de patógenos: hongos, bacterias o virus.

En el Cuadro 4 se muestran los patógenos que comúnmente se pueden transmitir en la semilla y las enfermedades que causan. Más información sobre este tipo de patógenos los brinda Didonet y Silvando, 2005 y en el Capítulo 5 de este libro.

**Cuadro 4.** Principales patógenos que se pueden transmitir en la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y la enfermedad que causan\*.

Patógeno	Enfermedad
<i>Alternaria solani</i>	Mancha de alternaria*
<i>Ascochyta phaseolorum</i>	Mancha ascochyta**
<i>Phoma exigua</i> var. <i>diversispora</i>	Mancha de ascochyta***
<i>Colletotrichum dematium truncata</i>	Sarna*
<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Antracnosis**
<i>Curtobacterium flaccumfasciens</i> pv. <i>flaccumfasciens</i>	Marchites de curtobacterium*
<i>Fusarium moniliforme</i>	Pudrición radical**
<i>Fusarium oxysporum</i>	Pudrición radical**
<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	Pudrición radical**
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Pudrición gris**
<i>Microbotryum phaseolis</i>	Carbón*
<i>Pseudocercospora griseola</i>	Mancha angular**
<i>Rhizoctonia solani</i>	Pudrición radical**
<i>Sclerotium rolfsii</i>	Pudrición radical**
<i>Thanatephorus cucumeris</i>	Mustia hilachosa**
Virus mosaico común de frijol	BCMV**
<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i>	Añublo bacteriano**

\*/Cândido da Silva, C. 2005

\*\*/Carlos Araya 2012. Patógenos transmitidos en la semilla de frijol (carlosmanuel.araya@gmail.com). Laboratorio de Fitopatología, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

El control de sanidad aquí descrito ya se ha sugerido en Cuba para la producción de semilla (Producción de Semilla de Frijol de Alta Calidad. 1999) y fue establecido por el PITTA Frijol, desde el año 2007.

El porcentaje máximo de patógenos que puede estar presente sin significar riesgo de infecciones en el campo, se puede consultar en el Cuadro 1 del Capítulo 5, del presente libro. En la Cuadro 5 se presentan los resultados de la evaluación de seis lotes de producción de semilla en una organización de agricultores de Costa Rica. Dos de ellos rechazados por tener porcentajes de patógenos superiores al máximo establecido en el análisis efectuado en el laboratorio de Fitopatología de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para el Centro Agrícola Cantonal de Los Chiles.

**Cuadro 5.** Resultado del análisis de sanidad de los lotes de semilla de frijol del Centro Agrícola Cantonal de los Chiles. Alajuela, Costa Rica, 2012.

Identificación de la muestra	Procedencia	Nombre del agricultor	Variedad	Organismo	% semilla sana
59-12	Los Chiles	Moisés Paniagua	Cabécar	Cladosporium	98.0
60-12	Los Chiles	Moisés Paniagua	Cabécar	Curvularia sp 2.0 %	97.0
62-12	Los Chiles	Heberto Morales	Cabécar	Macrophomina sp 36.0 %	46.0
65-12	Los Chiles	Javier Morales	Guaymí	Rhizoctonia sp 9.0 %	91.0
67-12	Los Chiles	Dennis Rojas	Línea 6		100.0
68-12	Los Chiles	René Castro Boniche	Cabécar	Macrophomina sp 15.0 %	77.0

Análisis realizado en Cultivo en PDA acidificado, PDA sin acidificar y AA para el crecimiento de hongos, bacterias y actinomicetos, respectivamente, por Steffany Orozco Cayasso. Revisado por: Carlos Manuel Araya Fernández.

## Evaluación de la germinación en las Organizaciones de Agricultores

Las pruebas de germinación se efectúan para determinar en un lote el porcentaje de semillas que tienen la capacidad de producir plántulas normales. Estas deben estar estandarizadas y basadas en un método común de fácil empleo, que garantice la comparación entre lotes en un mismo sitio y entre diferentes localidades, y cuyo propósito final es brindar información fiel acerca de la calidad de la semilla producida. Se emplea un formulario para el análisis de su calidad, como el descrito en el anexo 2 del Protocolo para el manejo poscosecha de la semilla de frijol (Araya R. et al., 2013). La información se basa en la submuestra obtenida durante el recibo.

La evaluación de la germinación se realiza a los siete días después de iniciada la prueba. Se cuentan las semillas que germinaron y formaron plántulas normales. Como plántula normal se considera aquella que presenta todas sus estructuras esenciales (raíz primaria, hipocótilo, epicótilo, cotiledones, hojas primarias y yema terminal); estas serán las únicas que se indicarán como germinadas. Como plántula anormal se consideran todas las que tengan defectos letales en la parte foliar o en la radical y se considerarán como no germinadas. En el caso del frijol, el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero, describe las plántulas normales y anormales en el Manual para Evaluación de Plántulas en Análisis de Germinación (1980). Se debe obtener el porcentaje de germinación con base en el promedio de cuatro repeticiones. El porcentaje mínimo de germinación aceptado será del 85 %.

Si en la organización no puede efectuar las pruebas de germinación se debe enviar una muestra a un laboratorio especializado en determinar la germinación y el vigor, como el Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica. Esta muestra debe tener un aca-

bado igual al que se le brindará a la semilla (eliminación de impurezas, grano pequeño, dañado, decolorado, partido o manchado). A continuación se indican varios métodos para evaluar el porcentaje de germinación.

### Método en papel toalla

Este método de papel toalla se considera uno de los más apropiados para organizaciones de pequeños productores, por su fácil aplicación y medición.

Para medir la germinación de las semillas con este método se requiere de:

1. Papel toalla.
2. Botellas de refresco gaseoso de litro y medio o dos litros de capacidad, o cajas de tetra brick de un litro, a las cuales se les elimina la parte superior (Araya et al., 2013b), donde se ubican las semillas en papel toalla húmedo para su germinación.
3. Mecate tipo piola.
4. Agua a temperatura ambiente y previamente hervida.
5. Los pasos a seguir son los siguientes:
6. Contar 50 semillas de frijol.
7. Cortar dos pliegos de papel toalla de aproximadamente 1,50 cm de largo y tres amarras de mecate de unos 35 cm cada una.
8. Colocar un pliego del papel toalla sobre una superficie plana.
9. Humedecer el papel toalla con agua hervida.
10. Colocar los frijoles sobre el papel toalla formando una hilera horizontal (dejar de 1,5 cm desde el borde del papel toalla y una distancia entre los frijoles de 1,5 cm).
11. Después de colocar todos los frijoles, se deben rociar con agua (agua previamente hervida y enfriada a temperatura ambiente).
12. Colocar encima el otro pliego de papel toalla y humedecerlo con agua,
13. Empezar a arrollar el papel toalla (un giro cada dos frijoles aproximadamente).
14. Luego de arrollar todo el papel, colocar las amarras de mecate (una arriba, en el centro y en la parte inferior del rollo). Evitar apretar el rollo en exceso con los mecates, estos no deben formar marcas en el papel.
15. Colocar el rollo en un recipiente de aproximadamente un litro con 500 ml de, agua previamente lavado (puede ser una botella de refrescos o un envase tetrabrik).
16. Poner el recipiente con el rollo en un lugar en la cual la temperatura no sea mayor de 30 °C.
17. Repetir este proceso cuatro veces.

### Método en cajas con arena

Otro método para medir la germinación de las semillas es en arena en cajas plásticas o metálicas (50 semillas por caja). Las dimensiones de la caja deben ser aproximadamente de 30 cm a 40 cm

de lado por 15 cm de profundidad. La arena debe estar desinfectada, lo cual puede hacerse con solarización. Esta consiste en el calentamiento mediante la radiación solar (FAO 2004). Este efecto se logra al cubrir la arena húmeda con plástico transparente. Las temperaturas superficiales pueden llegar a más del 50 °C. Esta condición de alta temperatura durante el día y enfriamiento en la noche produce la desinfección. Como es poca la cantidad de arena necesaria para emplear en la medición de la germinación, se sugiere removerla cada semana. Se recomienda realizar este tratamiento de desinfección durante al menos dos semanas. La FAO (2012a) sugiere otros métodos simples de evaluación de la germinación, sin tener que seguir la estricta normativa Internacional ISTA (ISTA. 1995), o los de la AOSA (AOSA, 2013; Reusche, 1987).

La experiencia del CNP en su planta de acondicionado en Barranca, Puntarenas Costa Rica, y otros autores (Producción artesanal de semilla de frijol, sf), indican 90 % como mínimo de germinación como una medida para asegurar, luego de su almacenamiento, un adecuado establecimiento del cultivo. En el cuadro 6 se observa que el lote de semilla del reproductor # 3 no aprobó la normativa basada en porcentaje de germinación, y fue rechazado.

**Cuadro 6.** Resultado del análisis de germinación en los lotes de semilla de la variedad Cabécar en la ASOPRO Veracruz, Pejibaye de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, febrero 2012.

Repro- ductor	Varie- dad	Fecha inicio	Fecha conteo	Germinación (%)				
				REP 1	REP 2	REP 3	REP 4	Prom.
1	Cabécar	02/02/2012	09/02/2012	98 %	100 %	99 %	100 %	99 %
2	Cabécar	02/02/2012	09/02/2012	91 %	98 %	95 %	99 %	96 %
3	Cabécar	02/02/2012	09/02/2012	77 %	75 %	78 %	77 %	77 %
4	Cabécar	02/02/2012	09/02/2012	88 %	93 %	90 %	95 %	91,5 %
5	Cabécar	02/02/2012	09/02/2012	98 %	99 %	100 %	99 %	99 %

\*/Información procesada por Adrián López, CNP, Región Brunca, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, 2012.

## El vigor de la semilla

El vigor es la suma de las propiedades que van a influir en el desempeño de las semillas durante la germinación y el establecimiento (OSU Seed Laboratory, Sf). Las que germinan de manera rápida y uniforme son más vigorosas, a lo que se ha llamado energía o fuerza de crecimiento. La primera definición de vigor de la ISTA fue: “el vigor de la semilla es la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o del lote de semillas, durante la germinación y emergencia de la plántula. Las de buen comportamiento se denominan de alto vigor y aquellas de pobre comportamiento serán consideradas de bajo vigor”. El vigor de un lote de semillas no se evidencia en las etiquetas de control de calidad (McDonald, 2012; 1994), pero sin embargo es el primer componente que muestra señales de deterioro, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente su muerte.

En situaciones edáficas limitantes (suelos arcillosos y de baja fertilidad), siembra manual a espeque y bajo alta precipitación durante la siembra, un alto vigor mejora el establecimiento en el campo. Lo más significativo es que el vigor se reduce en forma más rápida que la germinación y

este deterioro no es visible considerando solo el porcentaje de semillas que germinaron (Salinas et al., 2001; Ferguson, 1995). Pero las actuales métodos de su evaluación se refieren a pruebas de laboratorio (McDonald, 1988; Gupta, 1993; Tao, 1980), esto indica la importancia disponer de una guía práctica para medirlo.

Se considera de alto vigor si la tasa media de germinación es rápida, si el tamaño promedio de las plántulas es grande y la emergencia es buena. Además de un alto porcentaje de germinación y vigor, las plantas que se originan a partir de estas deben ser clasificadas como normales. Esto indicará además un alto potencial de almacenamiento. Es importante considerar que entre variedades existen diferencias en cuanto a la tasa media de germinación (días de germinación de cada variedad). La germinación y el vigor podrán ser afectadas por cosechas tardías, durante el secado y acondicionado, y por la temperatura y la humedad del área de almacenamiento.

## **Prelimpieza**

La pre limpieza empieza por el primer “desbasurado” que efectúa el reproductor antes de entregar la semilla al área de acondicionado.

## **Secado**

Si el secado se pretende iniciar en el campo, las plantas no deben permanecer por periodos mayores a una semana. Se sugiere efectuar al trillado lo más pronto posible. Una vez cosechadas, la calidad disminuye con el transcurso del tiempo (Araya et al., 2010. Faria Vieira et al., 1993; Ennen, 2011). La tasa de deterioro dependerá del periodo de acondicionado (se recomienda no pasar de 20 días de cosecha a envasado), y las condiciones en que estas permanecerán almacenadas: de humedad, de temperatura, envase y del periodo en el almacén (Ferguson, 1995),

## **Secado al sol**

El secado al sol se puede efectuar en una lona (tela fuerte de algodón o cáñamo o plástica, para toldos, tiendas de campaña y otros usos), sobre concreto o asfalto, formando una capa de 10 cm de grosor. La superficie de la capa de semillas debe ser ondulada para un secado más rápido y uniforme (Baudet y Peske. 2005). Se deben mover en intervalos de dos horas con el fin de evitar el calentamiento excesivo de las mismas, y una vez que han alcanzado el 13 % de humedad, almacenarlas (FAO 2012c). Durante el secado no deben sobrepasarse los 40 °C, por lo que es necesario utilizar un termómetro para medir la temperatura cada dos horas, y remover la semilla cuando supere los 40 °C para que se seque uniformemente (Cuadro 7). En la localidad de Veracruz de Pejibaye de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, la temperatura en las semillas expuestas al sol puede alcanzar 49,9 °C, lo cual es perjudicial.

**Cuadro 7.** Temperatura máxima del aire para el secado de semilla o grano de maíz y frijol, e intervalos de tiempo para revolver las semillas durante el secado.

Producto	Finalidad	Temperatura máxima (°C)	Intervalo para revolver (horas)
Maíz	Semilla	40	2
	Grano	60	2
Frijol	Semilla	40	2
	Grano	45	2

Fuente: Secado en Lecho Fijo. FAO. <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S0b.htm>

Para evitar el secado artificial (con secadoras a base de leña, diesel o gas), se debe sembrar bajo riego o en una época donde coincida la cosecha con un periodo seco. En la Región Brunca de Costa Rica esta época de siembra se da a finales de octubre e inicios de noviembre. Sobre métodos artesanales de medir la humedad de la semilla: con la uña, con el diente o por el sonido que causan las semillas, consultar López et al., 2010.

## Secado artificial

Si se requiere de secado artificial, solo se recomienda el empleo de secadoras con control regulado de la temperatura, conocidas en Centroamérica como “estáticas”. El proceso de secado de semilla debe ser lento, con temperaturas máximas de 35 °C. De esta manera se evita el calor excesivo y la pérdida muy rápida del agua, lo cual puede producir daños al embrión.

## Limpieza

El lote de semilla debe estar en un sitio o espacio diferente al del grano comercial hasta que se obtengan los resultados de los análisis físico, sanitario y de germinación. Si aprueba estos tres análisis se procede con el acondicionamiento, el cual consiste en la eliminación de impurezas (materia inerte), semillas dañadas, arrugadas, partidas, pequeñas o decoloradas, o que no correspondan a la variedad. Esta labor mejora la calidad fisiológica del lote de semilla (no de cada una de las semillas), ya que se eliminan las deterioradas.

El calor y la humedad imperantes en el sitio donde se efectúe el acondicionamiento (almacenamiento temporal) pueden afectarlas, por lo que si se tienen temperaturas mayores a 24 °C y una humedad relativa mayor del 70 %, no podrá pasar más de 20 días en este periodo de acondicionamiento y deberán enviarse a un cuarto frío.

## Clasificación

Para la clasificación se pueden emplear los siguientes equipos: pre limpiadoras (viento y zarandas) y la densimétrica o “brincona”, también conocida como “tipo Olliver”, que clasifica las semillas por su peso. Se puede incluir la catadora o clasificadora de viento, ubicada luego de la pre limpiadora y la densimétrica, para una limpieza y selección más finas. La catadora funciona por presión o

por succión, y se considera a la catadora por presión la que mejor clasifica las semillas. Estos equipos no brindan un adecuado acabado final por lo que se debe recurrir a la clasificación manual. El equipo de pre limpieza elimina basuras y granos pequeños, y la densimétrica clasifica por densidad o peso, lo que disminuirá el tiempo invertido en la selección manual final.

Previo a las labores de acondicionado los equipos deben recibir una limpieza profunda. Para realizar esta tarea es recomendable nombrar un supervisor de control de calidad. Esta persona será la encargada de verificar que la pre limpiadora, densimétrica o “brincona” y catadora, estén limpias y sin presencia de granos que puedan contaminar la semilla. También es importante que el sitio donde están las máquinas y donde se ubicarán los sacos con semilla estén limpios para evitar mezclas varietales (Aguirre y Silma. 1992).

## Acabado final

El acabado final de la semilla se efectúa manualmente y consiste en eliminar semillas con decoloraciones, dañadas, manchadas, arrugadas o materia inerte, que no fueron eliminadas por las máquinas. Se recomienda tener disponible una muestra o patrón de referencia del acabado final deseado, que debe ser aprobada por el comité técnico. El procedimiento seguido para verificar la calidad de la semilla de frijol escogido manualmente, es el siguiente:

- Cada hora el encargado (a) o supervisor(a) hace un muestreo de la semilla seleccionada, a cada una (o) de las personas que están en el proceso de selección manual.
- Se toma la muestra y se homogeniza. Se pesan 200 g para tener una muestra más representativa. y se separa la semilla no deseada (descolorado, tamaño, color, otros daños), o materia inerte.
- Después de que se identifican la semilla no deseada y la materia inerte, se pesa en una balanza.
- El peso de las semillas dañadas se divide entre dos, el resultado es el porcentaje dañado, deformado o partido, que no debe superar el 3 %.
- El control se realiza cada hora por si alguna persona no cumple con el rango establecido, debe escoger de nuevo la semilla pero el volumen a escoger no será muy grande, el supervisor debe informar a los escogedores como van realizando la labor, cada vez que hace este proceso.

## Tratamiento

La protección de la semilla con agroquímicos contra patógenos y plagas del campo no se recomienda para siembras manuales debido a la contaminación severa del agricultor al manipular la semilla manualmente para su siembra y luego de su familia. Esta sería la situación por lo general con los pequeños agricultores. Además si se trata la semilla y no se puede vender, no se podrá aprovechar para venderla para consumo humano.

## Envasado

Se debe enfatizar que el envase o sacos empleados deben ser exclusivos para semilla y su ubicación dentro de la infraestructura es diferente a la asignada a los granos. Se sugiere emplear sacos de diferente color al empleado en el grano y rotularlos con la información específica sobre su contenido (variedad, número de lote, fecha). Además se debe coser una etiqueta de control de calidad



(etiqueta de control de la empresa y etiqueta de la Oficina Nacional de Semillas) para identificar los lotes y se almacena hasta su comercialización o durante uno o dos años en un cuarto frío con temperaturas entre 20 °C y 15 °C y una humedad relativa inferior al 60 %, y se debe estar monitoreando su calidad. Se ubican en un sitio diferente al del grano comercial o de agroquímicos, para evitar confundir sacos de semilla con los de grano, o afectarla por la toxicidad de los agroquímico.

Para el control del número de sacos por lote de semilla se emplea el formulario, donde se anota el número de lote y su peso, la cantidad de sacos y su identificación con base en la colilla de control de calidad, además de la fecha de envío al cuarto frío. Este formulario debe ser firmado por el inspector y el coordinador del comité técnico (Araya et al 2013b).

Los sacos rotulados y con la colilla de control de calidad se llevan al lugar ya asignado para su almacenamiento temporal, mientras se trasladan a los cuartos fríos. En Costa Rica esta el cuarto frío de la ASOPRO El Águila o Guagaral o los del del CNP, ubicados en Barranca, Puntarenas.

Todo saco con semilla que cumpla las normas de calidad, deberá llevar una etiqueta de color morado para la semilla registrada, el color azul para la semilla certificada y el color verde para la semilla autorizada). En Costa Rica el CNP, como institución involucrada en la producción de semillas de frijol, brinda orientación a los agricultores para el apropiado almacenamiento local (CNP 2009).

Se pueden emplear recipientes especiales para el almacenamiento como la Super Bolsa 1B, de GrainPro, Inc. (Red SICTA, 2013, GrainPro Inc., sf.), que es reutilizable, protegen contra el ingreso de vapor de agua favoreciendo altas concentraciones de dióxido de carbono y bajos niveles de oxígeno, por lo que brindan un ambiente adecuado para la conservación de la semilla en condiciones de temperatura ambiente en periodos menores a un año.

## **Almacenamiento**

La humedad de la semilla se mantiene en equilibrio con la del medio ambiente. De esta manera, si el aire está muy húmedo las semillas absorberán agua y si la humedad baja, se secarán. Se ha demostrado que el frijol se puede secar hasta un 7 % sin disminuir su calidad, pero perdería peso para su venta y además es más vulnerable a la separación de los cotiledones. Cuando se almacenan en un cuarto frío, la baja temperatura disminuye su respiración (o metabolismo) y puede mantener o reducir su humedad. Al reducir el metabolismo, la semilla conserva por más tiempo su germinación y vigor. Así los factores básicos para un adecuado almacenamiento son: la humedad de la semilla, la cual debe ser del 13 % o menos, una temperatura ambiente o en cuarto frío de 20 °C o menos y una humedad relativa menor a 60 % (FAO. 2012b).

## **Muestreo de la semilla almacenada**

Se debe verificar cada dos meses la condición de germinación y vigor de la semilla almacenada en cuartos fríos. El comité técnico es el responsable de realizar este monitoreo.

## **Control de inventario**

Se requiere un control de inventario de semilla, un registro del ingreso y salida de la semilla de los cuartos fríos por comercialización, sobre el estado de la germinación y el vigor o utilización de la misma para otros fines. Esto se realiza con base en el empleo de un formulario el cual indique la

fecha de ingreso y salida, la procedencia, la variedad, el cultivo, la cantidad de ingreso o salida, el tipo de empaque, y debe estar firmada por el encargado o custodio de la semilla, así como por la persona que retira o entrega la semilla para almacenamiento.

## Equipos de protección personal

La protección personal en una área de acondicionado se relaciona principalmente con el polvo y el ruido, por lo que se recomienda el empleo de protectores de oído cuando se manipulan los equipos de acondicionado y mascarillas para polvo.

## Pesticidas

Para prevenir el ataque de insectos se puede recurrir a protección natural cuando son pequeñas cantidades, pero a partir de más de 1/4 de tonelada (6 quintales o 276 kg) por lo general la protección con fumigantes es lo más empleado.

Debido a que la causa más común de daños en las semillas son los insectos (Faria Vieira et al., 1993; CNP 1990), se debe iniciar el control preventivo mediante el uso de pastillas a base de fosforo de aluminio en la semilla ya acondicionada (no emplear productos con Dichlorvos). Las pastillas de Phostoxin® (Manual de uso Phostoxin Tableta. 2011; Degesch América, Inc. 2010) reaccionan con la humedad atmosférica para liberar “gas fosfino” (fosforo de hidrógeno) que es altamente tóxico, por lo que solo debe ser aplicado por personas entrenadas por un profesional agrícola, y deben seguir todas las indicaciones de seguridad aprobados para este agroquímico. Los niños, animales domésticos deben mantenerse alejados de las áreas tratadas durante al menos dos días para evitar cualquier posibilidad de exposición a las tabletas mientras están activas. Phostoxin® se descompone en un pequeño montón de polvo gris, que no tiene ningún efecto residual.

## Verificación oficial de la calidad de la semilla

En Costa Rica la Oficina Nacional de Semillas (ONS) verifica la calidad de la semilla acondicionada y almacenada, bajo el marco jurídico para la producción y comercialización. Este monitoreo aplicado en el campo y en poscosecha le brinda a la organización de agricultores un respaldo legal sobre las condiciones de calidad indicadas en la etiqueta. Lo anterior es un sistema alternativo de control oficial, bajo la categoría de autorizada, situación que está considerada en la normativa de semillas a nivel nacional (ONS, 1979. ONS, 1981. ONS, 2005).

Cuando la semilla está en el cuarto frío (El Águila, Guagaral o en el CNP), el comité técnico tramita una solicitud a la ONS para que envíe un inspector a realizar el muestreo oficial de los lotes de semilla. Las muestras tomadas por los inspectores de la ONS se remiten al laboratorio del CIGRAS para la realización de los análisis oficiales de calidad de pureza física, contenido de humedad y de germinación. De acuerdo a los resultados de los análisis emitidos por el laboratorio oficial, los cuales son cotejados con las normas establecidas para cada una de las categorías, la ONS define la condición de los lotes en cuanto a su aceptación, degradación de categoría, o su rechazo. Si los lotes son aprobados, la ONS brinda etiquetas oficiales (bajo la categoría de semilla Autorizada) para ubicar en cada saco.

## Comentarios finales y conclusiones

No es suficiente con indicar que se requiere de semilla de calidad cuando la producción recae en organizaciones de pequeños productores. Hay que establecer comités técnicos, a los cuales se les capacita en todas las etapas que se requieren para la producción de semilla.

Cuando hay certificación de semilla, el control de calidad en campo y pos cosecha recae en el personal oficial destinado para este fin. Pero cuando la producción de semilla esta a cargo de una empresa y en particular en una organización de pequeños productores, los comités técnicos deben estar a cargo del control de calidad. Se debe cumplir además con la legislación nacional de semillas en la inscripción de la empresa como productora de semillas, la inscripción de los lotes, la adquisición oficial de semilla de fundación o registrada y finalmente en la solicitud de muestreo oficial de la semilla obtenida. Se puede lograr así una etiqueta oficial, que en el caso de Costa Rica se denomina como autorizada, a diferencia de la certificada.

En organizaciones de pequeños productores la empresa de semillas se sugiere administrarla por separado de las demás actividades de la organización. Debe capacitarse en la administración de “capital semilla”, con el objetivo de lograr un aumento anual del dinero que se invierte cada año en beneficio principalmente de los socios de la organización.

El comité técnico hay que capacitarlo además en planificación y en comunicación, para tener una apropiada inversión del capital así como un potencial de clientes acorde a su capacidad de producción de semilla.

La conservación de la semilla es un gran reto principalmente cuando se debe almacenar en condiciones de alta temperatura y humedad, por lo que se debe valorar la inversión en cuartos fríos o en envases que permitan conservar la semilla al menos durante un año. Si es viable se podría recurrir a cuartos o cámaras de frío privadas o estatales, para asegurar su óptima conservación.

## Literatura citada

- Aguirre R., y P. Silma. 1992. Manual para el beneficio de semillas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 248 p.
- Antonio Silva G., y M. Hernández. (eds). 1996. Producción local de semilla de calidad: la experiencia Centroamericana. PRIAG (Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre Granos en Centroamérica). (Memorias PRIAG 4). San José, Costa Rica. 140 p.
- Araya R., y JC. Hernández. 2007. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. San José, Costa Rica. 42 p.
- Araya R., W. Quirós, O. Carrillo, MV. Gutiérrez, y A. Murillo. 2010. Semillas de buena calidad. Plegable. Proyecto FAO: GCP/RLA/182/SPA. San José, Costa Rica.
- Araya R., FL. Elizondo, JC. Hernández, y K. Martínez. 2013a. Guía para el funcionamiento del comité técnico: mejora genética participativa y el control de calidad de la semilla en la agricultura familiar. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA/182/SPA. San José, Costa Rica. 27 p.
- Araya R., K. Martínez, L. Adrián, y W. Murillo. 2013b. Protocolo Pos Cosecha de la Semilla de Frijol. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA/182/SPA. San José, Costa Rica. 15 p.
- Baudet, L., y S. Peske. 2005. Semillas: ciencia y tecnología. Universidad Federal de Pelotas, Brasil. ISBN 85-7192-292-6. 345 p.
- Cardona, C., C. Flor, F. Morales, y M. Pastor-Corrales. 1997. Problemas de campo en los cultivos de frijol en el trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. ISBN 958-9183-55-7. 220 p.
- Cândido da Silva, C. 2005. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais: produção de semillas (en línea). Consultado el 17 agosto 2012. Disponible en <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/autores.htm#corival>.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1980. Semilla de frijol de buena calidad. 2 ed. Cali, CIAT. 37 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Elementos esenciales para el éxito de un programa de semillas. Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audio tutorial sobre el mismo tema. Serie O4Sse-04.01. Cali, Colombia. 32 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Memorias de la reunión anual de trabajo sobre semilla mejorada para el pequeño agricultor. Cali, Colombia. 193 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Metodologías para obtener semillas de calidad: arroz, frijol, maíz, sorgo. Serie CIAT 07Sse-(1) 83. Cali, Colombia. 198 p.
- Chaves N., y C. Araya. 2014. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del frijol. EUNA, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 127p. ISBN 978-9977-65-413-3.
- CNP (Consejo Nacional de Producción). 1990. Recomendaciones técnicas para el cultivo del frijol. Programa Nacional de Frijol, Departamento Agrotécnico, División Fomento. 27 p.
- CNP (Consejo Nacional de Producción). 2009. Manejo poscosecha de semillas de granos básicos. Programa Nacional de Generación y Producción de Semillas. Plan Nacional de Alimentos. 8 p.

Degesch América, Inc. 2010. Manual para el aplicador Degesch Phostoxin. Forma # 17948 (R7/2010). Consultado 25 enero 2013. Disponible en <http://www.degeschamerica.com/docs/Spanish/SpanishPrepacandRopemanual.pdf>

Departamento de Certificación de Semillas. 2006. Honduras. 15 p. snt.

Didonet AD., y C. da S. Silvano. 2005. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, No.5 ISSN 1679-8869, Versão eletrônica, Dezembro.

Donelan P. 2009. Cultivo de semillas. 3 ed. Mini-Serie de auto enseñanza # 13. Imprenta Nacional. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 56 p.

Elizondo, FI., R. Araya, JC. Hernández, N. Chaves, y K. Martínez. 2013. Guía para el establecimiento de comités técnicos. El fitomejoramiento participativo y la producción de semilla de calidad. Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Frijol (PITTA Frijol). Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica (FPMA). Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/SPA. San José, Costa Rica. 26 p.

Ennen, RD. 2011. Earlier harvest and drying of soybean seed within intact pods maintains seed quality (en línea). Consultado el 31 de Julio de 2013. Disponible en <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=etd&sei-redir=1&referer=http%3A%2F%2F>

Faria Vieira R., C. Vieira, y JS. De O. Ramos. 1993. Producao de sementes de feijao. Empresa de Pesquisa Agropecuaria de Minas Gerais (EPAMIG). Vicosá, Rio de Janeiro, Brasil. 131 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2004. Solarización del suelo (en línea). FAO Plant Production and Protection Papers. Departamento de Agricultura. ISBN 9253050195. 318 P. Consultado 20 enero 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s00.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012a. Evaluación de la calidad de la semilla (en línea). Consultado el 27 noviembre 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/Q2180S/Q2180S06.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012b. Manual de manejo poscosecha del grano (en línea). Viale delle Terme di Caracalla 00100 Roma, Italia. Consultado el 9 de enero de 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S00.htm#Contents>.

Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In H.A. Vander Venter (ed.) Proc. International Seed Testing Association (ISTA) Pre-Congr. Seminar on Seed Pathology, Copenhagen, Denmark. 6 June 1995. Int. Seed Testing Assoc., Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association, 1995. p. 1-9.

Frank G., y L. Vern. 1972. Como cultivar semilla certificada. Centro Regional de Ayuda Técnica. Alianza para el progreso. Plegable.

García, C. M., A. Conrado, F. Rivas, y D. Meneses. 1998. Producción de semilla de frijol de calidad. Manual para agricultores # 4. PRIAG (Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los Granos Básicos en Centroamérica, CR). Convenio CAC-UE / ALA 88/23. La Nación, San José, Costa Rica. 56 p.

GrainPro Inc. Sf. GrainPro GrainSafe TM: portable granary (en línea). Consultado 30 marzo 2013. Disponible en <http://es.slideshare.net/csiasaproject/grainpro-cocoon-1-mt-grain-safe>

Gómez F., y MI. Zapata (eds). 1986. Producción de semillas mejoradas para pequeños agricultores: Memorias segunda reunión. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa Semillas. ISBN 84-89206-67-8. 289 p.

Gupta, PC. 1993. Seed Vigour Testing. In: Handbook of seed testing, Ed. P.K. Agarwal. National Seed Corporation, New Delhi. pp. 245-246.

Hocdé, H., JC. Hernández, R. Araya, A. Bermúdez, T. Bermúdez, y J. Morera. 1999. Proceso de fitomejoramiento participativo con frijol en Costa Rica: la historia de Sacapobres. 21 p. *In*: Memorias de un Simposio internacional y talleres sobre fitomejoramiento participativo (FMP) en América Latina y el Caribe: un intercambio de experiencias. Quito, Ecuador. Disco compacto 8 mm, elaborado con la colaboración del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el programa Global de Investigación Participativa y Análisis de Género para el Desarrollo de Tecnologías y la Innovación Institucional.

Hernández, J.C., y R. Araya. 2003. Nueva estrategia en el manejo de malezas en frijol. Universidad de Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria, Fundecooperación. Alajuela, Costa Rica. Hoja Plegable.

IDEAS (Instituto para el Desarrollo y la Acción Social). S.f. Nuestras semillas: Manejo local de la semilla de frijol. Fondo Agropecuario Nuestra Tierra. San José, Costa Rica. 32 p.

Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. 1980. Manual para evaluación de plántulas en análisis de germinación. España. 130 p.

ISTA (International Seed Testing Association). 1995. The accelerated ageing test. ISTA Seed Vigor Testing Handbook.

Ley de Semillas de Honduras. 1980. Grain <http://www.grain.org/brl/?docid=253&lawid=2587>

López A., B. Molina, y J. Munjía. 2010. Guía técnica para la producción artesanal de semilla de frijol. Red SICTA/ IICA/ Corporación Suiza en América Central/ INTA. Estelí, Nicaragua. 26 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 1989. Ley de Sanidad Vegetal. Guadalupe, Costa Rica. 20 p.

Manual de uso Phostoxin Tableta. 2011. Versión: 1.1. REF: CE 2011 526/LVC (en línea). Consultado 25 julio 20123. Disponible en <http://www.degesch.cl/php/medios/pdf/Manual%20de%20Aplicacion%20Phostoxin%20Tableta.pdf>

McDonald, MB. 1988. Challenges in seed technology. In Proceedings 10<sup>th</sup> Seed Technology Conference. ed. J.S. Burriss. Ames, IA. pp. 11-31.

McDonald, MB. 1994. The history of seed vigor testing. *Journal of Seed Technology*, 17, 93-101.

McDonald, MB. 2012. Seeds: Trade, Production and Technology. Standardization of Seed Vigor Tests (en línea). P. 200-208 <http://www.seedconsortium.org/PUC/pdf%20files/30-Standardization%20of%20Seed%20Vigour%20Tests.pdf>. Consultado 23 mayo.

Metodología para obtener semilla de buena calidad. 1983. Compilado y editado Unidad de Semillas del CIAT y Comité Técnico Regional de Semillas para América Central y El Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia, 200 p. Serie CIAT 07 S: Se (1) 83.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2006. Creación de la Comisión Técnica de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos: acuerdo ministerial # 00722-2001. Guatemala, Guatemala. 3p.

Moreno E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 380 p.

Nuestras Semillas: Manejo local de la semilla de frijol. 198?. Fondo Nacional de Desarrollo Agropecuario e Instituto para el Desarrollo y la Acción Social IDEAS. San José, Costa Rica. Snt.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1979. Ley de semillas # 6289. San José, Costa Rica. 23 p. San José, Costa Rica. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 28 p. [http://www.ofinase.go.cr/htm/reglamento\\_ley\\_oficina\\_semillas.htm](http://www.ofinase.go.cr/htm/reglamento_ley_oficina_semillas.htm)

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1981. Reglamento a la Ley de semillas número 6289. Sn. 28 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1987. Guía práctica para la producción de semilla certificada de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). San José, Costa Rica. 14 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1990. Reglamento Técnico para la producción de semilla certificada de frijol. San José, Costa Rica. Plegable (2 páginas). Disponible en: [http://www.ofinase.go.cr/htm/reglamento\\_tecnico\\_frijol.htm](http://www.ofinase.go.cr/htm/reglamento_tecnico_frijol.htm)

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2005. Reglamento para la importación, exportación y comercialización de semillas. San José, Costa Rica. 15 p. [http://www.ofinase.go.cr/htm/reglam\\_reg\\_variedades\\_comerciales.htm](http://www.ofinase.go.cr/htm/reglam_reg_variedades_comerciales.htm)

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2006. Reglamento para el registro de variedades comerciales. San José, Costa Rica. Disponible en:

OSU. Seed Laboratory. Sf. Importance of Seed Vigor Testing (en línea). Consultado el 31 de Julio 2013. Disponible en <http://seedlab.oregonstate.edu/importance-seed-vigor-testing>.

PRIAG (Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los Granos Básicos en Centroamérica). 1996. Producción local de semilla d centroamericana. Memorias PRIAG 4. Edt. Silva A y Hernández M. San José, Costa Rica. 140 p.

Problemas de producción del frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. 1980. Eds. Howard F. Schwartz y Guillermo Gálvez. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 103-110 p.

Producción artesanal de semilla de frijol. sf. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Manual para agricultores. Guatemala, Guatemala. 64 p.

Producción de semilla de frijol de alta calidad. 1999. La Estación territorial de Investigaciones Agropecuarias de Holguín. Representación FAO en Cuba. Ministerio de Agricultura. Cuba. 20 p.

Reglamento Técnico Centroamericano. 2006. Registro de variedades comerciales. Requisitos de inscripción. 12 p. Disponible en: <http://www.reglatec.go.cr/descarga/variedades.pdf>

- Rodríguez, E., Lorenzo E., De Gracia R., González G., y González F. 1997. Manual técnico del manejo integrado del cultivo del frijol común o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) en el sistema de mínima labranza. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 75 p.
- Rosas, J.C., y A. Castro. 1998. Producción artesanal de semilla de frijol en Centroamérica. Memorias del Taller de Producción y Distribución de Semilla de Frijol. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Bean Cowpea CRSP. Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica, México y El Caribe (PROFRIJOL). Zamorano, Honduras. 92 p.
- Red SICTA (Proyecto Red de Innovación Agrícola). 2013. Promueven uso de superBolsa plástica para almacenar grano y semilla. Consultado 26 abril 2013. Disponible en <http://redsicta.org/Boletines/boletin127.html>
- Tao, KJ. 1980. The vigor “referee” test for soybean and corn. Association of Official Seed Analysis Newsletter, 54(3), 53-68.
- Zandate, R., y G. Galindo. 2006. Guía para la producción artesanal de semilla de frijol. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Folleto para productores # 33. México. 31 p.



## CAPÍTULO 10

### CONTROL DE CALIDAD DE LA SEMILLA DE FRIJOL: COMITÉS TÉCNICOS EN ORGANIZACIONES DE AGRICULTORES

*Rodolfo Araya Villalobos  
Flor Ivette Elizondo Porras  
Juan Carlos Hernández Fonseca  
Karolina Martínez Umaña*

#### Introducción

En la producción de semilla a cargo de organizaciones de agricultores, un grupo de personas debidamente capacitadas pueden efectuar la planificación, el control de calidad, el acondicionado y su almacenamiento, estas personas integran un comité técnico. Este comité además de garantizar la calidad, cumple con la normativa legal sobre semillas al dar seguimiento a la inscripción de la organización como empresa semillera y cada año a los lotes de producción. Así el ente encargado de la legislación de semillas puede fiscalizar los campos, verificar su calidad en pos cosecha y emitir colillas que dan validez legal a la semilla producida.

La estrategia de formación de los comités técnicos se originó en Costa Rica y se basó en las experiencias del fitomejoramiento Participativo (FP) (Hocdé, 2006), en la necesidad de organizar la investigación en mejoramiento genético participativo (FPMA 2013) y la producción de semilla de las variedades obtenidas en su localidad. Información sobre el Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica, puede ser consultada en <http://www.programafpma.com/index.html>.

#### Organización y administración del comité técnico

##### Integrantes del comité técnico

El comité técnico debe estar integrado al menos por dos personas: un coordinador y un secretario. Se incluye un tesorero (cuando la organización no tiene un administrador) y opcionalmente un promotor o extensionista según la finalidad del comité, más el equipo de apoyo. Sus miembros son nombrados mediante acuerdo de la junta directiva de cada organización, la cual establece una estrategia administrativa, logística y económica para apoyar la operatividad de dicho comité. Le corresponde a la junta directiva de la organización la aprobación de los planes de trabajo e inversión de recursos de la organización en cada comité y la evaluación del progreso de la ejecución de las actividades.

Similar a los comités técnicos en Costa Rica, son los Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL) en Honduras, conocidos también como Colectivos de Productores Experimentadores Comunes (CPEC), en Nicaragua. Si no se ha establecido un comité técnico se puede consultar la “Guía para el Establecimiento de los Comités Técnicos: el fitomejoramiento participativo y la producción de semilla de calidad” (Elizondo et al., 2013). Una descripción más amplia sobre su funcionamiento se da en la “Guía para el funcionamiento de los comités técnicos: mejora genética participativa y el control de calidad de la semilla en la agricultura familiar” (Araya et al., 2013c).

A continuación se detallan las funciones y características de cada miembro del comité:

## Funciones de los miembros del comité técnico

### Coordinador

Al coordinador le corresponde:

- a. Efectuar el enlace del comité con la junta directiva de la organización, los reproductores de semilla, los agentes de extensión agrícola, técnicos regionales y con los productores investigadores. En el caso de Costa Rica los enlaces se realizan con los técnicos de los PITTA Frijol y PITTA Maíz.
- b. Gestiona ante la organización los recursos económicos necesarios para el buen funcionamiento las actividades y de la ejecución del plan de trabajo del comité.
- c. Presenta un informe anual a la asamblea de asociados y a la junta directiva cuando lo requiera.
- d. El coordinador (a) debe ser una persona activa, responsable, colaborador (a), que mantenga buenas relaciones y comunicación con los demás, además de líder con la autoridad suficiente para lograr que se cumplan los objetivos del comité.

### Secretario

Al secretario le corresponde:

- a. Llevar la bitácora del comité.
- b. Disponer de un archivo actualizado con la información que se genera.
- c. Programar y organizar las reuniones y velar porque las actividades del comité se cumplan.
- d. Tramitar los pedidos de la semilla de fundación o registrada con los fitomejoradores o entidades que la suministran: Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, en Costa Rica, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) en Guatemala, Escuela Agrícola Panamerican/Zamorano y Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) en Honduras, Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Nicaragua, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) en El Salvador, El Instituto de Investigación Agropecuaria (IDIAP) en Panamá, y la Caribbean Agricultural Research and Development Institute (CARDI) en Belice.
- e. Coordinar las inspecciones de campo y de pos cosecha. Además de la conservación de la semilla hasta su venta.

### Tesorero

El tesorero es el funcionario de la organización que se encarga de:

- a. Custodiar el dinero, llevar los asuntos relacionados con los movimientos económicos o flujos monetarios y el control de las inversiones.
- b. Recibir todo el dinero que ingresa a la organización, así como los fondos que provienen de otras fuentes, los deposita en la cuenta del banco o los bancos autorizados.
- c. Pagar las obligaciones, solamente con la autorización del presidente o de la junta directiva (incluye las inversiones del comité técnico). Debe dar seguimiento a la emisión de cheques y comprobantes.

- d. Custodiar y mantener los registros de los recibos y desembolsos.
- e. Preparar y presentar mensualmente y semestralmente informes financieros y brinda fiel cumplimiento de sus funciones como lo determine la junta directiva.

### **Promotor**

Al promotor le corresponde:

- a. Promover, promocionar y fomentar los productos y servicios de la empresa semillera (comité técnico).
- b. Motivar el uso de semilla de calidad entre los agricultores y participa en eventos de producción de semilla para resaltar sus características en campo.

## **Renovación de los integrantes del comité técnico**

La renovación de los miembros del comité se debe hacer de forma parcial y no total, para que la experiencia generada por uno o dos de los miembros, que continúen en el comité, sirvan para capacitar a los nuevos integrantes.

## **Equipo de apoyo**

El equipo de apoyo estará integrado por funcionarios de instituciones públicas y ONGs que apoyan a la organización, y están relacionados con la producción local de semilla y los procesos de FP.

Al equipo de apoyo le corresponde capacitar a los productores de semilla en temas relacionados con: cultivo, producción de semilla y organización, colaborar en la elaboración y presentación de los informes de resultados, apoyar en la búsqueda de financiamiento para nuevos proyectos, asesorar al comité en aspectos técnicos y administrativos, canalizar la demanda de investigación y capacitación, y sugerir nuevos temas de investigación y capacitación, con base en los planes de trabajo de los comités técnicos.

## **Comité Central**

El comité central se establece cuando varias organizaciones de productores ejecutan en forma cooperativa la producción de semilla, estas pueden unirse para fortalecer su actividad. Para lograr este fin se puede formar un comité central integrado por un representante de cada comité técnico o comité encargado de la producción de semilla en cada organización, y puede incluir además representantes de los organismos estatales que los asesoran. Como referencia sobre la conformación de un comité central se sugiere consultar el Reglamento de la Unión de Semilleros del Sur (Araya et al., 2012). Este cuenta con un reglamento para la administración del Fondo capital semilla (Araya et al., 2013b).

## **Objetivos del Comité Central**

1. Producir semilla de calidad para abastecer la demanda de los afiliados de las organizaciones que lo conforman.
2. Coordinar y administrar la producción local de semilla entre las organizaciones.

## Integrantes del Comité Central: Coordinador y secretario

El coordinador y el secretario del comité central serán elegidos por mayoría absoluta entre los coordinadores de los comités técnicos.

El coordinador tendrá como función elaborar la agenda, convocar a las reuniones, y coordinar con la administración del fondo capital semilla, según las directrices aprobadas por el comité central:

- a. Dar seguimiento a los acuerdos del comité central.
- b. Solicitar a la entidad oficial certificadora de semillas el monitoreo de los campos de producción de semilla.
- c. Solicitar el muestreo de la semilla una vez almacenada, para obtener la etiqueta oficial como semilla autorizada.

El secretario tendrá como función levantar y dar seguimiento a las actas de las reuniones y los acuerdos tomados.

## Funciones del comité técnico

El comité técnico debe cumplir con una serie de funciones en la producción de semilla, la capacitación y la divulgación, las cuales se detallan a continuación:

- a. Planificar con la junta directiva, la reproducción de semilla (variedades, áreas y fechas de siembra) con base en la demanda de los socios y de otros clientes de la comunidad o región y acorde con la capacidad logística y financiera.
- b. Gestionar la semilla fundación (básica) o registrada con suficiente anticipación (al menos un año) ante los entes oficiales respectivos.
- c. Seleccionar las áreas para reproducción con base en los requisitos detallados en el protocolo de producción local de semilla (Araya y Hernández 2007).
- d. Seleccionar los agricultores reproductores de semilla, con base en su experiencia, responsabilidad en el manejo de los lotes y por su ética. Informar a la junta directiva para su aval.
- e. Establecer un expediente con información detallada de cada reproductor, debe contener un croquis del lote, área sembrada, fecha de siembra, una copia del formulario de cada una de las fiscalizaciones, del formulario de recibo de semilla, de calidad de la semilla, de acondicionado de la semilla, copia del resultado de análisis del laboratorio de fitopatología (en Costa Rica se incluye en el expediente el resultado del análisis de laboratorio del Centro de Investigación en Granos y Semilla (CIGRAS), y del monitoreo de lotes por la ONS).
- f. Inscribir los reproductores y lotes de producción de semilla ante el ente oficial de semillas: en Costa Rica, la Oficina Nacional de Semillas; en Nicaragua, en el Departamento de Semillas de la Dirección General de Protección y Sanidad Agropecuaria del Ministerio Agropecuario y Forestal; en Honduras, en el departamento de Certificación de Semillas de la Secretaría de Agricultura y Ganadería; en El Salvador, la Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal; en Guatemala, Dirección de Fitozoogenética del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación; en Panamá, el Comité Nacional de Semillas a través de su departamento de Certificación, que forma parte del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA); en Belice, la Dirección de Agricultura del Ministerio de Recursos Naturales y Agricultura (MNRA).

- g. Fiscalizar los lotes de reproducción de semilla, con base en lo especificado en el protocolo de producción local de semilla (Araya y Hernández 2007). Se harán tres fiscalizaciones de campo. El no cumplimiento invalidará el campo de semilla.
- h. Verificar en cada centro de acopio la limpieza del equipo de acondicionado antes del ingreso de la semilla (equipo libre de granos y otros contaminantes).
- i. Verificar el cumplimiento de requisitos mínimos de calidad en el recibo, acondicionamiento y almacenamiento de la semilla, con base en el protocolo pos cosecha (Araya et al., 2013a).
- j. Determinar la sanidad de las semillas con base en el protocolo para el control pos cosecha de la calidad de la semilla de frijol (Araya et al., 2013a).
- k. Coordinar con el ente oficial de semillas, su muestreo para obtener la etiqueta oficial.
- l. Verificar mensualmente la calidad de la semilla almacenada, de acuerdo con el protocolo de manejo pos cosecha (Araya et al., 2013a).
- m. Velar por el adecuado funcionamiento del cuarto frío.
- n. Identificar y verificar las alternativas de almacenamiento.
- o. Entregar al comité central el plan de producción de semilla con el fin de que éste supervise su ejecución y lleve a cabo los controles de calidad en campo y pos cosecha.
- p. Fiscalizar los lotes de reproducción de semilla con base en el protocolo de producción de semilla, que será de carácter obligatorio. Si un lote de reproducción de semilla no pasa los análisis de laboratorio después de haber aprobado las fiscalizaciones, la ASOPRO podrá indemnizar al reproductor, con un monto a definir a criterio de cada comité de acuerdo con la junta directiva.
- q. Mantener una copia del registro de clientes y cantidades de semilla comercializados por la organización.

### Cuarto frío u otro método de almacenamiento y conservación de semilla

Las actividades en el área de almacenamiento bajo responsabilidad del comité técnico, son las siguientes:

- a. Mantener un registro de todo ingreso o egreso de semilla o de germoplasma de la reserva comunitaria al cuarto frío u otro sitio de almacenamiento. Además, se debe anotar todo ingreso de personas, internas o externas a la organización, indicando el objetivo de su visita. Esta información debe quedar indicada en una bitácora ubicada dentro del cuarto frío o sitio de almacenamiento.
- b. Llevar una bitácora para el registro de la temperatura y la humedad, ubicada dentro del cuarto frío o sitio de almacenamiento.
- c. Brindar mantenimiento del equipo. Diariamente se debe observar el medidor de temperatura y de la humedad relativa. La temperatura no debe ser superior a 18 °C y una humedad relativa máxima del 60%. El deshumecedor se debe revisar quincenalmente para ver su funcionamiento y evacuación de agua.
- d. Vigilar o corroborar que la semilla se encuentre debidamente estibada para asegurar una apropiada humedad y temperatura de la semilla.

## Área de capacitación

Las actividades del área de capacitación a cargo del comité técnico, son las siguientes:

- a. Identificar las necesidades de capacitación de los miembros del comité técnico, de los reproductores de semilla y de los participantes en el proceso de investigación.
- b. Coordinar, con los entes especializados, la capacitación de los miembros del comité, de los reproductores de semilla y de los participantes en el proceso de investigación.

## Área de divulgación

Las actividades del área de divulgación a cargo del comité técnico, son las siguientes:

- a. Promover el uso de semilla de buena calidad a través de la difusión por diferentes medios (afiches, radio, televisión local, prensa escrita, días de campo, charlas, asambleas de socios, entre otras).
- b. Informar a los socios y a la comunidad sobre la disponibilidad de semilla.
- c. Informar a los socios y la comunidad acerca de la importancia de usar semilla de calidad.

## Bitácora del comité técnico

Todo proceso debe registrarse de una forma sistemática y ordenada, por eso es necesario que las actividades del comité se anoten en una bitácora, la cual se llevará, preferiblemente, en un libro de actas, con sus hojas debidamente numeradas.

Además de:

- a. Incluir los asuntos relevantes que se presenten, tales como la demanda de semilla, variedades que se reproducirán, nombre de los reproductores, fechas de siembra, fechas de fiscalización, acontecimientos o situaciones que se presentan que podrían modificar el plan de reproducción de semilla, ensayos, parcelas demostrativas y estrategias de divulgación, y sirve de control para verificar el avance de las actividades.
- b. No presentar tachaduras ni borrones. No se debe escribir sobre lo ya escrito, ni entre los renglones.
- c. En caso de ser necesario realizar alguna corrección, se deberá escribir una nota donde se indique lo que se está corrigiendo basado en el número de hoja y de renglón (es).
- d. No dejar espacios en blanco (renglones o parte de un renglón), por lo que éstos deberán anularse pasando una raya sobre ellos.

## **Recursos financieros para el proceso de investigación participativa y para la producción local de semilla**

### Fondo operativo

- a. El comité técnico debe solicitar o presentar a la junta directiva de la organización, la asignación anual de un fondo operativo, para cubrir los gastos de reuniones, fiscalizaciones, estable-

cimiento y manejo de ensayos y parcelas de validación, selección de reproductores, selección de lotes de producción local de semilla y su fiscalización en campo y en pos cosecha, y para la coordinación de todas las actividades planificadas en cada semestre.

- b. Respecto a la producción de semilla, todos los gastos en que se incurra forman parte del costo final de la semilla. El margen de utilidad, contribuirá a incrementar el fondo capital semilla.
- c. La junta directiva adquirirá la semilla de fundación o registrada, con base en la planificación del comité técnico.
- d. Los fondos asignados por la junta directiva al comité técnico serán administrados por el tesorero de cada organización.

### **Fiscalización de la operatividad del comité técnico**

- a. La fiscalización del comité técnico estará a cargo de un fiscal nombrado por la junta directiva, no debe ser parte del comité técnico.
- b. Su función será verificar el cumplimiento de lo planificado anualmente con base en los objetivos del comité técnico, la inversión del dinero y la rendición de cuentas. Además, debe de considerar el informe anual junto con el informe del tesorero de la organización, sobre la inversión de los recursos y los planes estratégicos y de negocios, aprobados por la junta directiva.
- c. Con base en el informe del fiscal la junta directiva podrá sancionar al comité técnico por incumplimiento de labores indicadas en esta guía y remover a los integrantes que cometan faltas graves.

## Literatura consultada

- Araya, R., y J.C. Hernández. 2007. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Frijol (PITTA Frijol), Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 44 p.
- Araya, R., F.I. Elizondo, J.C. Hernández, y K. Martínez. 2012. Reglamento de la Unión de Semilleros del Sur. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/SPA. San José, Costa Rica. 11 p.
- Araya, R., K. Martínez, A. López, y A. Murillo. 2013a. Protocolo para el manejo pos cosecha de semilla de frijol. San José, Costa Rica. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/SPA. San José, Costa Rica. 36 p.
- Araya, R., F.I. Elizondo, J.C. Hernández y K. Martínez. 2013b. Reglamento para la administración del fondo capital semilla. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/ SPA. San José, Costa Rica. 8 p.
- Araya, R., y J.C. Hernández. 2006. Mejora genética participativa de la variedad criolla de frijol “Sacapobres”. *Agronomía Mesoamericana* 17(3): 347-355.
- Araya, R., F.I., Elizondo, J.C. Hernández, y K. Martínez. 2013c. Guía para el funcionamiento de los comités técnicos: mejora genética participativa y el control de calidad de la semilla en la agricultura familiar. Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/SPA. San José, Costa Rica. 14 p.
- Elizondo, F.I., R. Araya, J.C. Hernández, N. Chaves, y K. Martínez. 2013. Guía para el establecimiento de comités técnicos. El fitomejoramiento participativo y la producción de semilla de calidad. Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Frijol (PITTA Frijol). Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica (FPMA). Oficina de la FAO en Costa Rica, proyecto GCP/RLA182/SPA. San José Costa Rica. 26 p.
- FPMA (Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica). Consultado 05 julio 2013. Disponible en <http://www.programafpma.com/index.html>.
- Hocdé, H. 2006. Fitomejoramiento participativo de cultivos alimenticios en Centro América: panorama, resultados y retos. Un punto de vista externo. *Agronomía Mesoamericana* 17(3): 291-308.



# CAPÍTULO 11

## LEGISLACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMERCIO Y USO DE SEMILLAS

*Walter Paulo Quirós Ortega*

### **Introducción**

La semilla es la base de todo sistema alimentario, es un insumo indispensable y estratégico para la producción agrícola. Es el elemento que contiene la información genética que define el potencial y las características de una variedad vegetal y por tanto, es un mecanismo de transferencia de tecnología por excelencia.

La condición de calidad de la semilla es determinante para el establecimiento del cultivo, de su comportamiento y rendimiento. El resultado final de una actividad agrícola depende en gran medida de los atributos de la variedad y la calidad de la semilla a utilizar. Por la particularidad de ser un organismo vivo, las semillas están expuestas al deterioro causado tanto por factores externos como internos. Además, es uno de los principales medios de diseminación de enfermedades y plagas, lo cual resalta aún más la importancia del concepto de la calidad de la semilla.

En la agricultura antigua el abastecimiento de semillas no respondía a una actividad comercial, sino que el agricultor seleccionaba y guardaba sus mejores semillas para el siguiente periodo de siembra, o las intercambiaba con otros agricultores. Si bien esta práctica se mantiene hoy día, la evolución del mejoramiento genético, la expansión de la actividad agrícola, el surgimiento y desarrollo de la industria y del comercio “formal” de semillas, crearon la necesidad de establecer reglas para una serie de aspectos relacionados con calidad, comercio, abastecimiento, uso, etc. de este insumo agrícola.

Este capítulo contempla una serie de aspectos que en general están incluidos en las legislaciones sobre la producción y el comercio de semillas, en particular las de Costa Rica (FAO 2003; ONS 1979; ONS 1981; ONS 1987; ONS 2005; ONS 2007). Es importante conocer lo que las leyes de semillas establecen tanto para las actividades de producción y su comercio, así como aquellos aspectos que deben conocer los usuarios o consumidores de este insumo.

### **Objetivos de la legislación**

Las legislaciones de semillas tienen como propósito fundamental el servir como marco normativo para ordenar, regular y promover las actividades de producción y comercio de semillas de un país. Cumple la doble función de proporcionar protección a los compradores y de favorecer el desarrollo de un mercado apropiado de semillas.

El marco jurídico circundante debe tener una visión integral de la actividad de la producción de semillas y considerar las necesidades e intereses de todos los actores o actividades que participan alrededor de este insumo. Asimismo, la Ley debe ser un instrumento acorde a las políticas agrícolas,

que permita el cumplimiento de los planes de desarrollo del país. Es por ello que este marco legal procura brindar seguridad jurídica para el desarrollo de la industria y las actividades de producción y comercio de semillas, y en general para la inversión en estas actividades, en aras del desarrollo de esta actividad en el país. Pero este desarrollo debe darse bajo un equilibrio con el concepto de protección del consumidor: un usuario o consumidor de semillas informado, conocedor de los conceptos de calidad y de los derechos que le asisten como comprador de este insumo. De ahí que en términos generales, los objetivos que procuran las legislaciones en el campo de las semillas son:

- Promover el uso de semillas de calidad superior.
- Procurar una sana competencia en el comercio de semillas.
- Protección del consumidor de semillas.
- Velar por un adecuado abastecimiento.
- Promover el desarrollo del sector de semillas del país.

## **Características de la legislación regional en semillas**

En términos generales, la legislación vigente en Centroamérica en materia de semillas, se caracteriza por lo siguiente:

- Fue elaborada durante los años 70 y 80's.
- Está basada en sistemas centralizados de control oficial de calidad.
- El control de calidad es orientado hacia el sistema de certificación.
- El énfasis de la certificación se presenta en semillas de granos básicos.
- Salvo casos excepcionales, el ente nacional competente que implementa la ley corresponde a áreas, departamentos o programas que pertenecen a los servicios fitosanitarios o unidades de normas y regulaciones de los Ministerios de Agricultura y Ganadería
- Sistemas de regulación obligatorios para el “sector formal”, aunque no eximen explícitamente la producción “artesanal” o local de semillas, orientados básicamente a:
  - Certificación
  - Registro de variedades comerciales
  - Regulación del comercio
- No se definen con claridad en la Ley los sistemas alternativos de control de calidad

## **Actividades reguladas**

De lo anterior se desprende que el marco jurídico que regula la actividad de semillas abarca los temas de:

- Producción
- Comercio
- Uso

Esto sin menoscabo de la tendencia de las legislaciones a abordar nuevas áreas o temas que las condiciones actuales de mercado, tecnología, convenios internacionales y otros, propician para que las entidades regulatorias en materia de semillas, amplíen su rango de acción hacia temas como la propiedad intelectual, bioseguridad y recursos fitogenéticos. Por ello es que en diversas leyes de semillas o en legislación conexas se puede encontrar un ámbito de aplicación que cubre también estos temas.

## **Autoridad nacional competente**

Esta función puede asignarse mediante la creación, en la misma Ley, de una entidad nueva que será la encargada de ejercer todas las acciones necesarias para la implementación de la Ley, o podría asignarlas a algún ente u órgano que ya exista dentro del aparato estatal por su afinidad con el tema. Por ejemplo, la creación de una unidad o dirección en el respectivo Ministerio de Agricultura. A esta entidad, entre otras funciones le corresponde:

- Establecer los sistemas de certificación y otros sistemas de control oficial de calidad, tanto para semillas producidas en el país como importadas, destinadas a la comercialización.
- Establecer las normas de calidad para los diferentes cultivos.
- Coordinar acciones con los actores del sector de semillas relacionados con producción, procesamiento, almacenamiento, distribución y comercialización de semillas, con el propósito de:
  - A-Verificar el cumplimiento de las disposiciones de Ley mediante mecanismos de control para la circulación y comercio de semillas.
  - B-Promover la consecución de un adecuado abastecimiento nacional.
- Llevar el registro de las importaciones y exportaciones de semillas.
- Implementar el registro de variedades comerciales y en su caso el registro de variedades protegidas (cuando así se establezca en la Ley).
- Atender las denuncias relacionadas con el incumplimiento de la normativa de semillas y aplicar las sanciones que le correspondan en función de los alcances de la Ley

## **Ámbito de aplicación**

Existen diferentes sistemas de producción y abastecimiento de semillas, con sus propias características y que, para efectos del tema de legislación, es conveniente describir.

En primer lugar tenemos el autoabastecimiento de semillas para una producción de subsistencia, en el que el agricultor siembra para producir sus alimentos y no para la venta del producto a terceros. En este caso el agricultor por lo general invierte poco en insumos y utiliza un manejo elemental de producción y almacenamiento de su semilla, generalmente de variedades criollas o locales. No se emplea un control de calidad (Araya y Hernández 2007; Araya et al 2010; Araya et al 2013. Producción de semilla de frijol de alta calidad 1999).

También está la producción artesanal o “informal” de semillas, para autoabastecimiento o para compartir o intercambiar con otros productores. No es un sistema “formal” de venta de semillas. En este caso tampoco se emplea un control de calidad salvo la aplicación de medidas o prácticas

empíricas de manejo (tanto en campo como en almacenamiento) que procuran obtener semilla de buena calidad aparente, con el riesgo de sufrir problemas en germinación, vigor, sanidad y representatividad del genotipo buscado. Aquí predomina el uso de variedades locales o criollas, que en algunos casos podría tratarse de variedades mejoradas que en algún momento fueron compradas y que, por el uso continuo, la selección intuitiva y la reutilización de la semilla, han llevado a la pérdida de la identidad original de la variedad.

Existen sistemas industriales de producción de semillas, con una fuerte inversión en programas de mejoramiento genético, bajo esquemas estrictos de control de calidad y el manejo pos cosecha tecnificado mediante el uso de equipos de acondicionamiento y con instalaciones para el almacenamiento (silos, bodegas, en muchos casos bajo condiciones de ambiente controlado). Esta producción es con fines estrictamente comerciales.

Otra forma de producción de semillas es el que incorpora rasgos de los sistemas artesanal e industrial. Aunque no alcanza niveles de tecnología como el anterior, incorpora el uso de variedades mejoradas, adquiridas inicialmente del mercado formal o desarrolladas localmente mediante mejoramiento participativo, maneja algunas prácticas de control interno y externo de calidad, por ejemplo mediante la selección de campos de mejor condición agronómica y podría incorporar la valoración de algunos factores de calidad pre y post cosecha, incluyendo el muestreo y análisis de laboratorio.

Habiendo identificado estos sistemas de producción de semillas, cabe preguntarse ¿para cuál de ellos se aplica la legislación de semillas? En realidad, las leyes de semillas generalmente no hacen referencia a algún sistema de producción o su manejo; en otras palabras, normalmente no hacen excepciones en su aplicación aunque probablemente se da por sentado que la Ley funciona para sistemas formales de producción y comercio de semillas.

Sin estar definido qué es un sistema informal, podría incluirse bajo este concepto el intercambio de semillas entre agricultores o transacciones en pequeña escala a nivel local o en ferias, en que no media una factura de venta. Este “movimiento” de semillas es una actividad propia de la cultura y tradición de este nivel o tipo de agricultura. En estos casos, algún reclamo por un asunto de calidad difícilmente se arreglaría en procesos judiciales.

Debe quedar muy claro que el agricultor puede utilizar cualquier tipo de semilla, siempre que no afecte a terceros. Sin embargo, cuando se incursiona en un sistema formal de comercio de semillas, se adquiere un compromiso con el consumidor de este insumo.

## Derechos del consumidor de semillas

Aunque los derechos de consumidor no necesariamente están presentes explícitamente en muchas leyes de semillas, los siguientes se deberían considerar como derechos irrenunciables del usuario o consumidor de semillas:

- El acceso a una información veraz y oportuna sobre la calidad de la semilla y las características de la variedad vegetal que adquiere (más adelante se profundizará en estos dos aspectos).
- La protección administrativa y judicial de sus derechos e intereses legítimos.
- El acceso a mecanismos de tutela administrativa y judicial, para hacer valer sus derechos, con el objeto de prevenir, sancionar y reparar con prontitud la lesión de éstos.

## Producción y comercio de semillas

La Ley debe garantizar el derecho de toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, para dedicarse a la producción y comercio de semillas, siendo responsabilidad del Estado, a través de la autoridad nacional competente en materia de semillas, ejercer el control correspondiente para estas actividades.

### ¿Por qué se debe controlar la producción y el comercio?

La calidad de la semilla no se limita a una buena apariencia. Los factores que definen la calidad no se pueden detectar a simple vista. Para ello se requiere en algunos casos, una evaluación a nivel de laboratorio (germinación, vigor, sanidad, pureza física) y otros factores (identidad y pureza varietal, enfermedades transmisibles por semilla) requieren de una valoración y seguimiento a nivel de campo.

El agricultor es un consumidor de un insumo muy sensible al deterioro (la semilla) y cuyo nivel de calidad se logra principalmente durante la fase de producción. De ahí la necesidad de establecer sistemas de control de calidad, los cuales deberían recaer principalmente en manos de quien produce la semilla y de verificación de la calidad por parte del ente regulador.

Al comercializarse una semilla se genera una responsabilidad del comerciante para con el consumidor de este producto, como sucede en cualquier otra relación comercial. De ahí la importancia de que el comerciante esté bien seguro de las características del producto que está vendiendo y las condiciones de calidad del mismo. Se requiere de reglas claras en cuanto a requisitos, procedimientos y normas de calidad (definidos en la normativa de semillas), así como un ente que aplique su cumplimiento a todos los posibles actores que intervengan en esta actividad (productores, comerciantes) para propiciar una sana competencia en el comercio. Esta es una condición necesaria para favorecer el desarrollo de la actividad de semillas.

Hay dos aspectos importantes que el comerciante debe cumplir en su responsabilidad con el usuario de semillas:

1. En primer lugar que la semilla que expende cumpla con las normas de calidad establecidas oficialmente o, en su defecto ante la ausencia de normas oficiales, el cumplimiento de las especificaciones de calidad indicadas en la etiqueta (todo envase debe llevar indicación del nivel de calidad de la semilla contenida).
2. La variedad de la semilla que se comercializa debe haber sido registrada como variedad comercial (Registro de Variedades Comerciales).

### ¿Por qué se registran las variedades?

La semilla, al igual que otros productos que se utilizan en el proceso de producción (herbicidas, plaguicidas en general), es un insumo agropecuario. Para estos otros insumos existe un registro en el que se inscriben aquellos que han demostrado idoneidad en su uso para determinado cultivo y en ciertas condiciones y dosis, etc., lo cual le da certeza de que dicho producto es efectivo en las condiciones especificadas.

En el caso de semillas es necesario evaluar su comportamiento bajo determinadas condiciones de clima, suelos, manejo agronómico, etc. y compararlo con otras variedades. Esto incluye su adaptación a condiciones de ambiente (temperatura, humedad, altura), respuesta a enfermedades, poten-

cial de rendimiento, etc., así como las características de esa variedad (tipo de planta, grano, fruto, ciclo de vida de la planta, características industriales, culinarias, etc.). Esta información permite al comerciante llevar al mercado un producto con conocimiento de su posible comportamiento y permite también al agricultor tener mayor seguridad respecto al resultado a esperar, en el entendido de que la respuesta final de una variedad dependerá también de otros factores externos y de manejo.

Es responsabilidad del ente regulador informar sobre la lista de variedades inscritas en el Registro de Variedades Comerciales, así como la actualización periódica de este Registro.

## **Requisitos generales para la producción y comercio de semillas**

Todo productor o comerciante de semillas debe estar registrado ante el ente regulador. Asimismo, para operar en estas actividades deberá cumplir con la normativa técnica y administrativa correspondiente.

### **Productores de semillas**

En términos generales, el productor de semillas debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Inscripción de los terrenos, viveros, invernaderos y/o laboratorios según el tipo de semilla para la reproducción o multiplicación.
- b. Descripción y capacidad del equipo mínimo e instalaciones disponibles para el acondicionamiento, almacenamiento de semillas y análisis de calidad (laboratorio) o acreditar que cuenta con el servicio de terceros, debidamente autorizados para estos fines.
- c. Personal técnico para el adecuado manejo y control de la producción.
- d. Facilitar las inspecciones oficiales.
- e. Ejecutar las indicaciones que le sean presentadas por los inspectores en cada visita, permitirles la toma de muestras y brindar la información requerida para el cumplimiento de sus funciones durante las diferentes fases del proceso de producción.

### **Comerciantes de semillas**

Los comerciantes de semillas deben cumplir con las siguientes obligaciones:

- a. Mantener las semillas en condiciones de almacenamiento que eviten la alteración de los atributos de calidad
- b. Comercializar únicamente semillas de variedades inscritas en aquellos cultivos que así se determine
- c. Velar porque la semilla se mantenga dentro de los parámetros de calidad establecidos
- d. Permitir las visitas de control y toma de muestras del ente regulador
- e. Suministrar la información requerida por el ente oficial;
- f. Llevar un control de comercialización de semilla que incluya número de factura, vendedor, comprador, número de lote, variedad y cantidad vendida;
- g. Cumplir con la normativa de semillas existente

## Rotulado y etiquetado

La etiqueta es el medio por el cual se le brinda al consumidor de semillas la información veraz sobre la calidad y procedencia de la semilla.

Toda semilla que se ofrezca en el mercado deberá contar con un correcto rotulado y etiquetado. Ningún envase de semillas podrá ostentar etiqueta de cualquier tipo cuando no cumpla con las normas establecidas (FAO 2012).

Las semillas expuestas a la venta o entregadas a terceros para su comercio deberán estar debidamente envasadas y los envases tendrán una etiqueta y rotulación que describa y garantice su contenido, incluyendo como mínimo las especificaciones siguientes:

1. Nombre del productor
2. Especie, variedad, categoría
3. Número o identificación del lote
4. Especificaciones del nivel de calidad
5. Peso
6. Si las semillas han sido tratadas con algún producto químico, el productor deberá indicar el tratamiento químico utilizado.

## Otros sistemas de control de calidad

Tal como se señaló anteriormente, la legislación de semillas normalmente no establece excepciones en la aplicación del control de calidad según el tipo de producción o el sistema de abastecimiento de semillas. Asimismo, se contempla la certificación como el sistema generalizado de control de calidad. Sin embargo, puede haber previsiones en la legislación que permitan establecer excepciones o sistemas *sui generis* de control en aquellos casos que por sus características especiales lo justifiquen. Para tal efecto, las normas deben definir aquellos casos que califiquen en esta condición. Por ejemplo, estos sistemas podrían aplicar para variedades locales, tradicionales o criollas, previendo inclusive un sistema especial de inscripción o registro de variedades adecuado a las características propias de éstas y a la vez como mecanismo de apoyo a la conservación de recursos fitogenéticos y que puedan ser catalogados oficialmente como conocidos.

La implementación de sistemas alternativos de control de calidad, permite también la atención de situaciones particulares en las que por diferentes razones el ente regulador no tiene la posibilidad de llevar toda la trazabilidad del proceso de producción de la semilla, como se hace en el caso de la certificación. Con ello, el productor de la semilla asume un mayor compromiso en cuanto al control interno de la calidad y el ente regulador realiza un monitoreo del flujo de producción en campo y verifica el cumplimiento de normas de calidad principalmente en laboratorio.

En estos casos deberá tenerse en cuenta varias consideraciones a fin de no incurrir en lo que podría calificarse como un retroceso de los sistemas de semillas al promover semillas de calidad incierta o de menor calidad:

- a. No debe haber una reducción de las normas de calidad (“no debe sacrificarse la calidad”): el hecho de que estos sistemas apliquen generalmente para el abastecimiento de semillas para el pequeño agricultor, no implica que debe aceptarse una semilla de segunda categoría.

- b. Debe identificarse la categoría de esta semilla diferenciándose de la certificada, de modo que no se desvirtúe el concepto de certificación. El ente certificador es quien puede establecer si el seguimiento y verificación que realizó permite definir la semilla producida bajo la calificación de certificada o si es conveniente asignar una categoría diferente. Algunos aspectos como el de la pureza varietal solo pueden ser verificados eficazmente en la fase de producción en campo, por lo cual, si el certificador no tuvo un buen control durante esta fase, no podría ser capaz de certificar ese factor de calidad.
- c. El productor de semillas bajo este esquema debe estar capacitado en todos los aspectos de calidad y seguir un protocolo de control interno que permita ser documentado.

Dentro de estas previsiones también podría darse la posibilidad de acreditación en algunas fases o actividades del control de calidad, siendo ésta una tendencia a nivel internacional. No implica ello que la autoridad de semillas delegue una responsabilidad que es de imperio del Estado, en cuanto a la verificación de la calidad de las semillas que se comercialicen en el país, sino el de establecer mecanismos que faciliten o hagan más eficiente la labor reguladora del ente oficial.



## Literatura citada

Araya, R., y J.C. Hernández. 2007. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. San José, Costa Rica. 42 p.

Araya, R., FI. Elizondo, JC. Hernández, K. Martínez, y A. Murillo. 2013. Protocolo para el manejo de la calidad pos cosecha de semilla de frijol. San José Costa Rica. FAO, GCP/RLA182/SPA, Reforzamiento de las Políticas de Producción de Semillas de Granos Básicos en Apoyo a la Agricultura Campesina para la Seguridad Alimentaria en Países Miembros del CAC. “Semillas para el Desarrollo”. 46 p.

Araya, R., Q. Walter, O. Carrillo, M.V. Gutiérrez, y A. Murillo. 2010. Semillas de buena calidad. Plegable. Proyecto FAO: GCP/RLA/182/SPA, San José. Costa Rica.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Sistema de semillas de calidad declarada. Departamento de Agricultura. Servicio de Semillas y Recursos Fitogenéticos de la FAO. Versión PDF. 272 P. <http://www.fao.org/docrep/010/a0503s/a0503s00.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Evaluación de la calidad de la semilla (en línea). Consultado el 30 noviembre 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/Q2180S/Q2180S06.htm>

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1979. Ley de semillas número 6289. Sn. 23 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1981. Reglamento a la Ley de semillas número 6289. Decreto N° 12.907. Sn. 28 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 1987. Guía práctica para la producción de semilla certificada de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). San José, Costa Rica. 14 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2005. Reglamento para la importación, exportación y comercialización de semillas. San José, Costa Rica. 15 p.

ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2007. Proyecto de Reforma Integral a la Ley de Semillas N° 6289. Expediente N° 16.098. Asamblea Legislativa. Costa Rica.

Producción de semilla de frijol de alta calidad. 1999. La Estación territorial de Investigaciones Agropecuarias de Holguín. Representación FAO en Cuba. Ministerio de Agricultura. Cuba. 20 p.

## CAPÍTULO 12

### CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS Y CONTROL DE CALIDAD

*Orlando Carrillo Araya*

#### **Introducción**

A nivel internacional, la certificación en semillas nace de la necesidad originada en que las nuevas variedades desarrolladas, producto de la mejora genética por instituciones públicas, después de años de investigación y de onerosas inversiones en recursos humanos, tecnológicos y financieros, no tenían el impacto deseado.

Las variedades mejoradas, al cabo de pocos años de su liberación informal para su uso por los agricultores, sufrían un proceso de contaminación genética, física o sanitaria, llegando a perder sus características originales, que habían justificado precisamente su liberación, e incluso en muchos casos perdían su identidad varietal. Esta situación motivo la obtención de un método o sistema que permitiera multiplicar o reproducir la semilla de estas variedades, conservando sus atributos genéticos y a su vez cumplir con otras normas o estándares de calidad. Así las variedades no son afectadas por contaminaciones o mezclas y conservan su identidad, pureza varietal y denominación.

En sus orígenes el objetivo primario de la certificación fue el mantenimiento de la pureza genética de las variedades, posteriormente se determinó que si bien es cierto la pureza varietal es básica, era necesario contemplar otros factores de calidad como: la germinación, los contenidos de malezas nocivas, presencia de patógenos en la semilla y la pureza física.

La certificación de semillas se define como un sistema integral diseñado para el control externo de calidad en las principales fases del proceso de producción de semillas, ejecutado por un organismo imparcial reconocido, con el fin de mantener e incrementar las variedades mejoradas, preservar su identidad, pureza varietal y asegurar la calidad mediante el cumplimiento de normas preestablecidas.

En nuestros países con la promulgación de legislaciones en semillas, se asigna a organismos oficiales, entre otras funciones, la certificación y el control externo de calidad.

En los inicios de operación de los entes competentes en materia regulatoria en semillas, se establecen formalmente los sistemas de certificación en cultivos de importancia económica, especialmente en semillas de especies de interés agrícola. Con el transcurrir de los años y conforme van surgiendo nuevas necesidades y prioridades en otros cultivos, se van estructurando y poniendo en ejecución nuevos programas de certificación y/o control de calidad. Es así como, se implementa y consolida en una amplia gama de cultivos, la modalidad de control oficial de calidad en los procesos de producción y comercio de semilla

La certificación y en general los sistemas de control oficial de calidad, han contribuido al registro y liberación formal de nuevas variedades así como al mantenimiento de la pureza genética e identidad varietal de los nuevos cultivares, desarrollados en los diferentes países.

## Relevancia del insumo semilla de buena calidad

Una de las finalidades básicas de la legislación en semillas es la de promover y asegurar la calidad e identidad de la semilla que se produzca y comercialice.

La semilla de buena calidad de variedades mejoradas, producto de la investigación y desarrollo en fitomejoramiento, representa el insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas, contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad.

Al tratar el tema de la calidad en semillas, en general se valoran las ventajas y beneficios que conlleva su utilización; sin embargo, no siempre se tiene un pleno conocimiento de los múltiples factores que determinan los atributos de calidad.

En primera instancia, se podría juzgar la calidad de un lote de semillas por su apariencia física, observando su tamaño, forma, color, uniformidad, etc., pero esta valoración es insuficiente puesto que, existen otros atributos de mayor relevancia como la pureza varietal, la capacidad germinativa, la viabilidad, el vigor y la sanidad, cuya condición no se puede determinar a simple vista.

Por la naturaleza tan particular que presentan las semillas en relación a su calidad es que, se hace necesario contemplar una serie de cuidados especiales, y el aseguramiento de la calidad durante las fases de producción: reproducción o multiplicación, cosecha, secado, acondicionamiento, almacenamiento y mercadeo.

Ente las razones por las cuales se da tanto énfasis a la semilla como insumo esencial y estratégico en toda actividad agrícola, se pueden mencionar las siguientes:

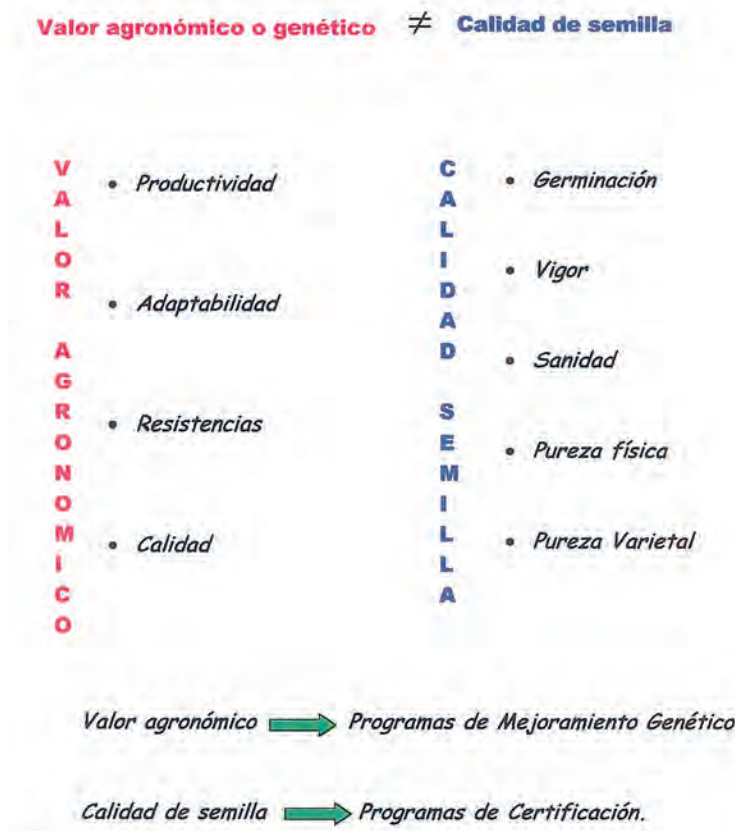
- La semilla es el único insumo indispensable: no se puede prescindir de este.
- A diferencia de la mayoría de los insumos utilizados en la producción agrícola, con la excepción de algunos biológicos tipos plaguicidas e inoculantes, la semilla es un ente vivo por su naturaleza. Esto lo hace sumamente sensible al deterioro con consecuencias significativas en el establecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.
- Es el elemento que encierra el potencial genético determinante de aspectos agronómicos y comerciales tales como: rendimiento, adaptabilidad, resistencia a plagas y patógenos y calidad industrial.
- Puede ser el principal vehículo de plagas y patógenos de importancia económica, que pueden afectar los cultivos o bien infestar zonas libres de estas.
- La utilización de semilla de variedades mejoradas y de alta calidad, permite potenciar y optimizar el aprovechamiento de los demás insumos aplicados y, de los recursos productivos.

## Mejoramiento genético y calidad de semilla

En todo sistema de producción agrícola, debe considerarse inicialmente el material genético que ofrezca la mejor respuesta productiva, con un uso racional de otros insumos. Pero no se puede desligar ese componente genético o variedad, del vehículo que lo transporta, la semilla.

Una semilla de buena calidad no garantiza un comportamiento satisfactorio en el campo, si no tiene a su vez el componente genético adecuado para responder ante determinada condición agroclimá-

tica o sistema de producción. La situación inversa también se cumple, una variedad con determinado potencial genético no logrará expresarse a plenitud si la semilla que contiene la información genética de esa variedad, no reúne ciertas condiciones mínimas de calidad. Estos dos elementos indisolubles deben manejarse conjuntamente (Figura 1).



**Figura 1:** Procesos interrelacionados de mejoramiento genético y control de calidad en semillas.

Se estima que una variedad es de valor agronómico y/o utilización comercial si representa, un valor que sea como mínimo similar al de otras variedades inscritas en el Registro de Variedades Comerciales (RVC) o liberadas formalmente, ya sea en relación con su cultivo, productividad, uso, calidad o productos derivados.

Un programa de mejoramiento genético que desarrolle variedades mejoradas, acorde a las necesidades del agricultor y del mercado, no tendrá éxito o impacto si las semillas de esas variedades no llegan al usuario en las cantidades requeridas, en el lugar y momento oportuno y de buena calidad.

## **Registro y elección de variedades para certificación u otras modalidades de control de calidad**

Las variedades seleccionadas para propósitos de certificación y comercio deben ser inscritas en el Registro de Variedades Comerciales. Para tal fin, los nuevos cultivares promisorios se someten a ensayos nacionales y/o regionales de adaptación y rendimiento en las principales zonas de cultivo dependiendo de la especie que se trate, los cuales son conducidos por instituciones nacionales y

regionales de investigación o por los mismos interesados. El propósito de estas pruebas es determinar, bajo diferentes condiciones ambientales o sistemas representativos de cultivo, el valor agronómico y de uso comercial de las variedades, comparándolas con cultivares testigo.

En adición al valor agronómico que incluye entre otras características el potencial de rendimiento, reacción a las principales plagas y enfermedades, calidad industrial y culinaria, es necesario disponer de una adecuada descripción varietal que permita distinguir las variedades, lo cual es de gran ayuda durante el proceso de certificación de semillas y /o control oficial de calidad.

Las solicitudes de inscripción, acompañados con los atestados técnicos correspondientes, se presentan por los interesados a los entes competentes que tiene a cargo llevar el registro de variedades vegetales comerciales, para su resolución.

Entre los requisitos para la inscripción de variedades se incluyen: La denominación propuesta para la variedad, origen y procedimiento de mejoramiento genético empleado, información sobre el comportamiento agronómico (potencial de rendimiento, reacción a plagas y patógenos de importancia económica, calidad industrial), descripción de características morfológicas, fisiológicas y de otra naturaleza que faciliten su diferenciación de otras variedades, áreas geográficas de adaptación y cualquier restricción si existiera para su utilización. En resumen se inscriben en el RVC las variedades que cumplen las condiciones técnicas de: distintas, estables y homogéneas, tener una denominación apropiada y atestados técnicos relacionados con su valor agronómico y/o de utilización.

El registro de variedades es un proceso dinámico, así como ingresan nuevas variedades también pueden salir aquellas que son superadas por nuevos materiales genéticos, por razones agronómicas o comerciales.

## **Factores que determinan la calidad de la semilla**

La expresión del potencial genético de la variedad no se logra a plenitud, si no se presentan ciertas condiciones favorables: ambiente (clima-suelo), manejo tecnológico adecuado y calidad de semilla.

El concepto de calidad, es un conjunto de cualidades deseables que debe poseer la semilla, que permiten un buen establecimiento del cultivo con plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad. Comprende muchos atributos entre ellos se incluyen: la germinación, el vigor, la sanidad, la pureza física y varietal. Es la integración de cuatro componentes a saber: genéticos, físicos, fisiológicos y fitosanitarios.

## **Valor genético y calidad varietal**

Es oportuno diferenciar el componente genético o valor genético de una variedad, del factor varietal como elemento de calidad en semillas.

El valor genético es el cúmulo de información determinada por el genotipo de una variedad que define entre múltiples características: la resistencia o tolerancia a plagas, adaptación a ambientes específicos, potencial de rendimiento, hábito de crecimiento, ciclo vegetativo y calidad industrial. Mientras tanto, el concepto de calidad varietal se aplica al “porcentaje de pureza varietal” o sea el porcentaje de semilla que corresponde a la variedad en particular.

## Calidad fitosanitaria

Una de las estrategias más efectivas para el combate de patógenos en los cultivos es a través del mejoramiento genético, sin embargo, no siempre es factible obtener variedades resistentes.

Las semillas pueden ser un medio ideal para el transporte de inóculo de patógenos de origen viral, bacterial o fungoso e inclusive de nemátodos, que afectan la germinación y consecuentemente la emergencia y población de plantas. Estos patógenos pueden causar epidemias en los cultivos una vez establecidos, así como diseminarse en determinadas regiones donde estaban ausentes. La utilización de semilla de buena calidad proveniente de variedades resistentes o tolerantes, constituye el método más económico y eficiente para su combate.

En frijol cerca del 50 % de los agentes causantes de enfermedades en este cultivo pueden ser portadas en las semillas. La Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y la Mustia (*Thanatephorus cucumeris*) son de fácil transmisión en la semilla de esta leguminosa.

La utilización de terrenos nuevos o libres de inóculo, sistemas de riego, rotación de cultivos, la zonificación, épocas de siembra adecuadas, el entresacar plantas enfermas, el control fitosanitario, cosecha oportuna, y el mismo tratamiento de la semilla se constituyen en prácticas recomendables para la producción de semilla sana.

## Calidad fisiológica

La capacidad germinativa, viabilidad y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas. El concepto de vigor es un tanto complejo, sin embargo en forma muy general se podría decir que es el potencial biológico de la semilla que favorece un establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones incluso desfavorables de cultivo. En tanto que germinación, es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables.

La semilla presenta su más alto nivel de vigor y potencial germinativo cuando alcanza la madurez fisiológica. En este estado la semilla alcanza el máximo peso seco (ha acumulado la máxima cantidad de reservas nutritivas) y el embrión ha completado su desarrollo. A partir de este momento, se inicia el proceso de deterioro de la semilla en forma continua e irreversible hasta perder su capacidad germinativa. El deterioro podría entenderse: como la serie de cambios que ocurren en las semillas con el transcurrir del tiempo, afectando funciones vitales y por ende su desempeño hasta su provocar su muerte.

Durante el proceso de deterioro de las semillas, el cual es influenciado por factores genéticos, ambientales y asociado a la presencia de microorganismos patógenos, lo que primero se ve afectado es el vigor antes que la germinación. Por ello, cada vez hay más interés de estudiar y conocer mejor los mecanismos bioquímicos relacionados con el vigor, así como la identificación e implementación de pruebas para su medición.

La calidad fisiológica depende de múltiples factores, pudiendo verse afectada en cualquier fase del proceso de producción. Retrasos en la cosecha si las condiciones ambientales no son favorables, situación que es común en nuestras condiciones tropicales, deficiencias en el desarrollo de los cultivos, retrasos en el secado de la semilla, daños mecánicos durante la recolección y trilla o en

el procesamiento, el almacenamiento bajo condiciones desfavorables, son factores que afectan la calidad fisiológica.

Para clarificar mejor la calidad fisiológica y concretamente el vigor y su influencia en el desempeño de las semillas, a continuación se citan algunas cualidades directamente relacionadas con este atributo biológico de calidad:

- Velocidad de germinación y desarrollo.
- Uniformidad de germinación, emergencia y desarrollo de la planta bajo diferentes condiciones.
- Habilidad para emerger en suelos con problemas de preparación, diferencias en contenidos de humedad y con patógenos.
- Desarrollo morfológico de plántulas.
- Capacidad de almacenamiento de la semilla bajo condiciones óptimas y adversas.
- Potencial de rendimiento de los cultivos.
- Vulnerabilidad y competitividad de los cultivos.

## Calidad física

Una semilla con atributos físicos es la que presenta un alto porcentaje de semilla pura, el mínimo contenido de semilla de malezas, de otras especies y materia inerte.

A través de la semilla se pueden introducir a un país, región o finca, diversas malezas, muchas de las cuales son de difícil erradicación. Malezas catalogadas como nocivas u objetables, no solo afectan la calidad del producto cosechado, sino también, provocan un problema de manejo a nivel de campo con el consecuente aumento en los costos de producción por su combate.

Las semillas cosechadas generalmente vienen del campo con algunos contaminantes como pueden ser: residuos de plantas, malezas, semillas dañadas por plagas o enfermedades, porciones de suelo, así como con altos contenidos de humedad. Por lo tanto, requieren de su acondicionamiento, labor que se realiza en las plantas de beneficio de semillas equipadas para el recibo, secado, acondicionamiento, empaque y almacenamiento de semillas. De esta manera se adecua la semilla para su comercialización. Es importante indicar que existen algunas semillas de malezas como el caso del arroz rojo, que por sus características semejantes a la semilla de arroz, se hace muy difícil su separación, de ahí que su control deba realizarse en los campos de reproducción de semillas.

Otros atributos físicos en las semillas son el contenido de humedad, el tamaño, color, la uniformidad y densidad.

## Procedimientos y normas de calidad

La producción de semilla certificada o bajo otras modalidades de control de calidad, de cualquier cultivo, requiere del establecimiento de procedimientos. Estos se definen para su aplicación y cumplimiento en las inspecciones de campo, y en los análisis de calidad a los lotes semilla, mediante pruebas que se realizan en laboratorio.

Los organismos oficiales se encargan de la elaboración y publicación de reglamentos técnicos para la certificación y control de calidad, en diferentes cultivos en las cuales se incluyen las normas de

campo y laboratorio para la producción y comercio de las diferentes categorías. Así como requisitos del terreno, aislamiento de los campos destinados a reproducción de semillas y otros procedimientos generales.

Las normas para las inspecciones de campo incluyen aspectos como: distancias de aislamiento de los campos de reproducción o multiplicación de semilla respecto a otros campos de la misma especie, con el objetivo de prevenir la contaminación genética la cual puede ocurrir por polinización extraña o por mezclas físicas con otras variedades. En campos de reproducción de semilla certificada de maíz, se requiere una distancia mínima de 200 metros, por ser una especie alógama y por tanto las posibilidades de cruzamientos con polen extraño son mayores. En cultivos como frijol, arroz, soya (cultivos autógamos) las distancias de aislamiento requeridas son mucho menores, y son con el objeto de evitar mezclas físicas con semilla de otras variedades.

El aislamiento puede establecerse no solamente en términos de distancia sino también en tiempo. Se sabe que en el maíz un mes de separación entre dos cultivos es suficiente, para prevenir la contaminación genética. Las distancias dependerán de la especie que incluye entre otros aspectos su tipo (autopolinización o polinización cruzada) y mecanismos de polinización (insectos, viento etc.).

En las normas de campo también se definen tolerancias para plantas de otras variedades y fuera de tipo, malezas y enfermedades transmisibles por semilla de importancia económica.

Existen malezas que causan perjuicios a los cultivos, deterioran la calidad del producto y que por sus características semejantes con el cultivo, una vez mezclada en la semilla es prácticamente imposible su separación durante el acondicionamiento, de ahí la necesidad de contemplar estos factores dentro de las normas. Un caso de estos es la semilla de arroz rojo, una de las principales causas de rechazo de campos de reproducción de semilla certificada de arroz.

Los estándares para los análisis de laboratorio involucran factores como: pureza física, germinación, contenido de humedad y contenidos de semilla de malezas y otros cultivos, sanidad de semillas, principalmente.

En resumen, se establecen normas para las condiciones que deben cumplir los terrenos para el establecimiento de los cultivos, destinados a la reproducción o multiplicación de semillas, para el aislamiento de los campos, y para aquellos factores que pueden contaminar los campos y la semilla acondicionada.

## **Limitación de generaciones y categorías de semilla. Categorías de semillas**

La reproducción o multiplicación de semilla dentro de un sistema de certificación se realiza a través de ciclos de incrementos, estableciéndose el número de generaciones permisibles a partir de la semilla original o básica. Al limitar el número de incrementos, se disminuyen las probabilidades de cambios genéticos, físicos (mezclas con semillas de otras variedades o malezas) o la misma contaminación con patógenos que se transmiten por medio de las semillas; asimismo, se posibilita el establecimiento de procedimientos y normas, y su cumplimiento.

De acuerdo a la reglamentación internacional en general, el número de incrementos está limitado a tres generaciones a partir de la semilla genética. Dentro del sistema de certificación se produce semilla genética, básica o fundación, semilla registrada y semilla de la categoría certificada. Además



cuando se considera procedente, se permite un ciclo adicional en casos de necesidad o de alguna limitación en los incrementos iniciales, lo cual, se conoce como recertificación de categoría. Esta forma secuencial de producción de semilla permite la renovación periódica de la semilla, facilitando el control de calidad y el cumplimiento de estándares de calidad.

La limitación del número de generaciones, así como la denominación de las diferentes categorías de semilla puede variar entre cultivos, países y esquemas de certificación, dependiendo de las tasas de reproducción de semilla, índices de contaminación y de los niveles de calidad deseados. Sin embargo, el principio es el mismo, cual es producir la semilla certificada mediante el mínimo posible de incrementos para reducir o minimizar las posibilidades de contaminación por los diferentes factores que pueden afectar la calidad.

### **Semilla genética o material parental**

La semilla genética es producida por o bajo la supervisión del fitomejorador o entidad que ha desarrollado el cultivar; constituyendo el material genético inicial para la conservación o mantenimiento de las características varietales. Es la fuente para la producción de las otras categorías y esta disponible en pequeñas cantidades.

### **Semilla básica o de fundación**

La progenie de la semilla genética o de fundación, generalmente está disponible en cantidades limitadas, empleada para la reproducción o multiplicación de semilla registrada. En aquellos casos de cultivares de dominio privado, es producida por reproductores autorizados y bajo control del obtentor. En variedades de dominio público, esta categoría es obtenida por productores autorizados a partir de material aprobado, y siguiendo normas de selección y conservación varietal establecidas reglamentariamente.

En algunos países la semilla genética y de fundación en cultivos como el arroz, frijol, maíz y papa es producida en estaciones experimentales de los Ministerios de Agricultura o instituciones oficiales de investigación agrícola y, en algunos casos, por el sector privado en sus propias fincas, bajo sistemas especiales de cultivo.

En arroz se ha utilizado el sistema de trasplante para la producción de la semilla genética y básica, el cual entre otros beneficios posibilita un mejor control de la pureza varietal al estar mejor individualizadas las plantas; en frijol la reproducción de esta categoría se realiza principalmente en la estación seca con riego por gravedad. En papa y otros cultivos de propagación asexual, las multiplicaciones iniciales de semilla por razones fitosanitarias principalmente, se realizan en laboratorio e invernaderos; se emplean técnicas de micropropagación y sistemas de cultivo bajo ambientes protegidos, respectivamente.

### **Semilla registrada**

Semilla registrada es la que procede directamente de la reproducción o multiplicación de semilla de fundación. Participan en su producción agricultores especializados o directamente las mismas empresas productoras. Su propósito es incrementar la semilla una generación adicional, antes de la producción de semilla de la categoría Certificada.

## Semilla certificada

Es la progenie de la semilla Registrada, producida en grandes cantidades por agricultores- semilleros de tal forma que, se mantiene la identidad, pureza varietal y se satisface las normas de calidad pre-establecidas, como en las categorías anteriores. Representa el producto final del sistema de certificación y, es la semilla que se vende a nivel de agricultor para las siembras comerciales de los diferentes cultivos.

Para la identificación de las diferentes categorías de semilla, se utilizan etiquetas distintivas, con colores definidos y aceptados internacionalmente. De esta manera, los envases conteniendo semilla genética o básica deben llevar adheridos etiquetas de color blanco, los de semilla Registrada etiquetas de coloración morada y en el caso de la semilla categoría certificada la etiqueta es de color azul.

## Esquema del control oficial de calidad y comercio de semillas

En la Figura 2, se presenta en forma esquemática los principales procesos contemplados para el control oficial de calidad y comercio de semillas. El mismo comprende: El mejoramiento genético, el desarrollo de nuevas variedades, los ensayos de valoración agronómica y caracterización varietal, la inscripción en el Registro comercial, las listas o catálogos de variedades comerciales, el control de calidad y, la multiplicación y comercio de semillas de variedades mejoradas.

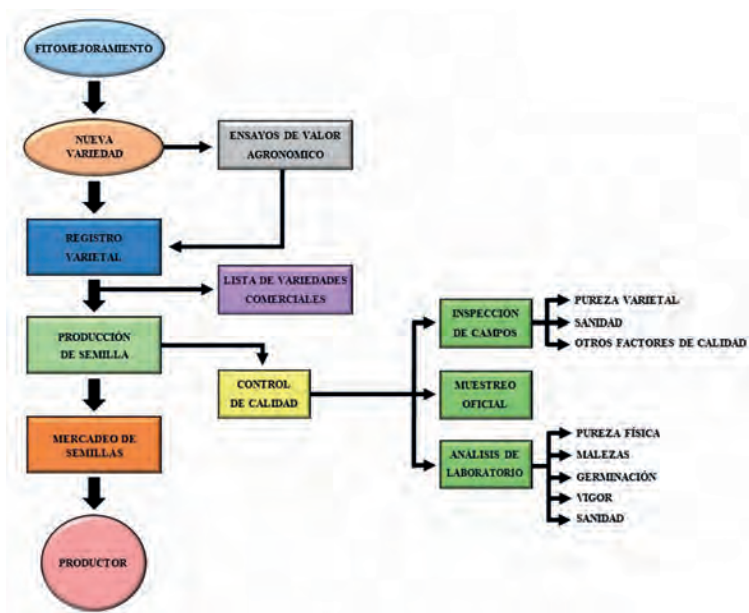


Figura 2. Procedimiento para la certificación de semillas.

Como puede observarse en la Figura 2, se parte de la investigación y desarrollo de nuevas variedades, producto del mejoramiento genético. Para que la adopción y difusión de las nuevas variedades sea efectiva y la mejora genética tenga el impacto pretendido, es necesario disponer de programas organizados para la producción y distribución de semilla certificada u otras modalidades de control de calidad. La integración y persistencia de estos procesos es esencial para la transferencia tecnológica, y promover los beneficios proporcionados por el uso de semilla de buena calidad.

Para que las nuevas variedades desarrolladas por los programas de mejora genética puedan ser adoptadas por los agricultores en las cantidades requeridas, es necesaria su multiplicación sin pérdida de calidad. En este flujo de las nuevas variedades, se debe contemplar el mantenimiento varietal, su reproducción, el acondicionamiento, su almacenamiento y finalmente la distribución y mercadeo. Como columnas o pilares que den el soporte a todo este proceso, es fundamental la investigación en mejora genética, los ensayos de valoración agronómica de las variedades promisorias para efectos de registro o su liberación, la certificación o sistemas alternativos de control de calidad y obviamente los usuarios de las variedades mejoradas, los agricultores.

## **Atribuciones de los entes encargados por ley de la certificación y control oficial en semillas**

En la ejecución del sistema de control externo de calidad, se contemplan una serie de funciones asignadas a las entidades creadas para tales efectos, siendo las principales las siguientes:

- Registro y elegibilidad de variedades.
- Registro de productores y comercializadores.
- Establecimiento de normas y procedimientos.
- Registro e inspección de plantas de beneficio.
- Inscripción e inspección de campos- semilleros.
- Etiquetado de lotes
- Muestreo de lotes de semilla.
- Análisis de calidad.
- Registros de los análisis de calidad.
- Verificaciones de pureza varietal.
- Integración de comités calificadores de variedades (órganos consultivos).
- Registro de importaciones y exportaciones de semilla.

### **Inscripción e inspección de campos**

Los campos destinados a la reproducción o multiplicación de semilla bajo el sistema de certificación, previamente deben inscribirse ante las instancias oficiales correspondientes, para tal fin, se usa el formulario respectivo, en el cual se especifica la información del solicitante, del predio, de la semilla a multiplicar, ubicación y croquis del campo entre otros datos.

Posterior a la inscripción se programan las inspecciones de campo, las que se realizan en etapas de desarrollo del cultivo que permitan valorar: la pureza varietal, el aislamiento, los contenidos de malezas, presencia de plantas de otros cultivos, la condición fitosanitaria en especial las enfermedades y en general aquellos aspectos que puedan afectar la calidad de la semilla, en observancia de la normativa establecida para el cultivo en referencia.

Las inspecciones de campo representan una de las más valiosas medidas de control, por ello se afirma que la calidad en semillas se hace en el campo, puesto que hay atributos de calidad como la

pureza varietal y la presencia de ciertas enfermedades que prácticamente solo es posible valorar a través de este tipo de inspecciones y en definitiva permiten determinar si los cultivos para semilla cumplen con las normas de calidad o en su defecto se deben rechazar.

Entre las principales causas de descalificación de áreas de reproducción de semilla certificada de arroz, han estado factores como la mezcla varietal y la presencia de arroz rojo. En el programa de certificación de semilla de frijol, el deterioro de la semilla (arrugamiento, incidencia de hongo y pre-germinación), causados por periodos de alta humedad coincidentes con la fase de madurez de cosecha, se ha constituido en la principal causa de descalificación de campos. Desde el punto de vista fitosanitario, enfermedades como antracnosis, mustia hilachosa y más recientemente la mancha angular, han representado limitantes fitopatológicas. En menor grado el mal establecimiento, desarrollado deficiente de los cultivos han significado la descalificación de campos de reproducción de semillas.

Las inspecciones de campo también permiten que los inspectores oficiales emitan las recomendaciones, para que se realicen las medidas preventivas y /o correctivas si fueran pertinentes.

El objetivo primario de las inspecciones de los campos de reproducción o multiplicación de semilla certificada, es confirmar que la variedad corresponde con la que se va a certificar y, se satisfacen las normas establecidas en los reglamentos técnicos específicos para cada cultivo.

## Muestreo oficial y análisis de calidad

Inspectores oficiales efectúan el seguimiento de la semilla una vez que ingresa a las plantas de acondicionamiento, verificando que las cantidades recibidas de las diferentes variedades y categorías estén acordes con los estimados de producción en campo.

Posterior al proceso de secado, procesamiento, enfarde y rotulación de la semilla proveniente de campos aprobados, se procede al muestreo oficial de cada uno de los lotes claramente identificados, diligenciándose para tal efecto las actas con la información respectiva.

Las muestras representativas de cada uno de los lotes de semilla son enviadas al laboratorio oficial, donde se realiza el análisis de calidad correspondiente. El análisis usual consiste en la evaluación de la pureza física, determinación del contenido de humedad y la prueba de germinación; obteniéndose información sobre los porcentajes de semilla pura y materia inerte, contenido de semilla de malezas y otros cultivos, plantas normales, anormales, enfermas y semilla muerta. Ocasionalmente también se efectúan otras valoraciones, como pueden ser mediciones de vigor, viabilidad y sanidad de semillas.

Es oportuno indicar que en lo relativo al muestreo y análisis de semillas se procuran seguir los procedimientos y metodologías establecidas por la Asociación Internacional para las Pruebas de Semillas (ISTA por sus siglas en inglés).

Dependiendo de los resultados del análisis oficial y su cotejo con las normas mínimas de certificación o de control de calidad, se define la situación de cada lote de semilla; pudiendo ser la aceptación, rechazo, degradación de categoría o el reproceso si procediera tal medida.

Los análisis de calidad constituyen la fase final en la evaluación de un lote de semilla para certificación o control oficial de calidad.

## Envase, rotulado y etiquetado

Como culminación del proceso, todo envase que contenga semilla certificada puesto a la venta, deberá llevar adherido una etiqueta oficial emitida por la autoridad certificadora. La información impresa en la etiqueta cuyo color dependerá de la categoría de semilla, incluye entre otras especificaciones las siguientes:

- Nombre de la empresa productora.
- Nombre de la especie y variedad.
- Categoría.
- Normas mínimas de calidad.
- Número de lote codificado.
- Fecha de vencimiento del análisis
- Número consecutivo de la etiqueta.

De acuerdo a la legislación en lo que respecta a la comercialización, independientemente si la semilla es certificada, o producida bajo otra modalidad de control externo de calidad, deberá estar debidamente envasada y tener una rotulación que describa y garantice su contenido; siendo responsabilidad del comercializador el correcto rotulado, así como de la veracidad de la información indicada en el envase, rótulo o etiqueta.

## Conclusiones

El concepto de semilla está intrínsecamente relacionado con el aspecto varietal. La semilla es el insumo a través del cual se transfiere la tecnología generada por los programas de investigación en mejoramiento genético. Sin embargo, una semilla de calidad por sí misma, no garantiza un desempeño satisfactorio en campo, si adicionalmente no cuenta con el componente o valor genético de la variedad, producto de programas de fitomejoramiento. La situación inversa también debe cumplirse, es decir, una variedad de excelente potencial agronómico, no logrará expresarse al máximo, si la semilla que contiene ese valor genético, no reúne condiciones mínimas de calidad.

Todo programa de investigación y desarrollo de variedades debe estar enlazado con programas de producción de semillas y los sistemas de control de calidad, a fin de lograr un impacto de la mejora genética en la producción agropecuaria e industrias derivadas.

La semilla puede ser portadora de plagas y patógenos, siendo un vehículo para su diseminación. Además es un insumo vivo y por tanto altamente susceptible de sufrir deterioro. Por tanto, los programas de producción de semillas deben estar enmarcados bajo esquemas de control de calidad, de modo que se aproveche al máximo el potencial genético de los cultivares y a su vez, se puedan evitar eventuales riesgos o problemas que podrían ser acarreados en la semilla.

La certificación de semillas, en los cultivos en los cuales se ha establecido esta modalidad de control oficial de calidad, ha contribuido a crear el ambiente propicio para el incremento sistemático de variedades mejoradas producto de la investigación y desarrollo de variedades; abasteciéndose la demanda de los productores con semilla de buena calidad.

En las circunstancias actuales de apertura e integración de las economías, la certificación y los controles oficiales de calidad de semillas se constituye en un instrumento estratégico, representando un valor agregado que facilita el acceso a nuevos mercados, al generar confianza a los usuarios y seguridad al exportador.

La responsabilidad de los entes oficiales de certificación y de control externo de calidad, consiste en verificar que la producción semilla con fines comerciales, se ajuste a la reglamentación establecida y, en definitiva a determinar si la semilla cumple con los procedimientos y normas; en tanto que las empresas productoras asumen la responsabilidad en lo referente a la producción, manejo, control interno de calidad y comercialización de la semilla.

La certificación de semilla como sistema integral de control de calidad y sistemas alternativos, permiten poner a disposición de los agricultores semilla de variedades mejoradas que han cumplido estándares de calidad. Para su ejecución el ente regulador establece normas de calidad, lleva el registro de productores, variedades elegibles, campos de reproducción e instalaciones de acondicionamiento. Además, se llevan a cabo inspecciones de campos y de seguimiento durante el acondicionamiento, para finalmente realizar el muestreo de los diferentes lotes para los análisis de calidad en los laboratorios oficiales y finalmente concluir con la emisión de las etiquetas de certificación correspondientes.

## Literatura consultada

- Copeland, L.O. 1976. Principles of seed science and technology. Minneapolis, Burgess. pp 297-316.
- Costa Rica. Oficina Nacional de Semillas. 2001. Memoria Anual 2000. San José. 78 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) 1980. Semilla de frijol de buena calidad. 2 ed. Cali, CIAT. 37 p.
- Delouche, J.C. 2002. Germinación deterioro y vigor de semillas. Seed News 6 (6).  
También en: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/print\\_artigo66\\_esp.html](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/print_artigo66_esp.html).
- Douglas, J.E. (Comp y ed.). 1982. Programas de semillas, guía de planeación y manejo. Trad. de la 19 ed. Inglesa. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 358 p. (Serie CIAT 095SE-6 (82).
- Garay, A.E. 1985. Calidad de la semilla y su importancia en la productividad. En curso de enfermedades transmitidas por semilla impartido por el CIAT. Cali, Colombia. 22 p.
- Hampton, J.G. 2001. ¿Que significa calidad de semillas? Seed News 5 (5).  
También en: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed55/print\\_artigo55\\_esp.html](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed55/print_artigo55_esp.html).
- Feistritzer, W.P. 1977. Tecnología de la semilla de cereales: manual de producción, control de calidad y distribución de semillas de cereales. FAO, Roma. 251p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario no. 98).
- Filho, J.M. 2011. Pruebas de vigor: dimensión y perspectivas. Seed News no.1: Año XV 3p. Tema central del mes enero/febrero. También en: [http://www.seednews.inf.br/\\_html/site\\_es/content/reportagem\\_capa/](http://www.seednews.inf.br/_html/site_es/content/reportagem_capa/)
- Krzyzanowski, F., y J.M. Franca. 2003. Agregando valor a la semilla de soya a través del control calidad. Seed News 5: 16-20.  
También en: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed75/print\\_antigo75\\_esp.html](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed75/print_antigo75_esp.html).
- Parson, F.G., C.S. Garrison, y K.E. Beeson. 1984. Certificación de semillas en los Estados Unidos. 9 ed. In Semillas, Anuario de agricultura Traducido de la edición en inglés por Antonio Marino, Pánfilo Rodríguez y Manuel García. Continental. México, D.F. pp. 706-728.
- Poehlman, J.M. 1987. Mejoramiento genético de las cosechas. 10 ed. México, D.F., Limusa. pp. 415-424.
- Peske, S.T. 2011. La semilla y los desafíos de la agricultura. Seed News 5 Año XV.  
Tema central del mes sep/oct.  
También en: [http://www.seednews.inf.br/\\_html/site\\_es/content/reportagem\\_capa](http://www.seednews.inf.br/_html/site_es/content/reportagem_capa)
- Peske, S.T. 2012. O valor de uma cultivar superior. Seed News. 3: Año XVI. 3p.  
Reportagem de capa do mes maio/jun.  
También en: [http://www.seednews.inf.br/\\_html/site/content/reportagem\\_cap](http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_cap)
- Peske, S.T. 2012. As sementes no contexto das inovações tecnológicas. Seed News 2 Año XVI.  
También en: [http://www.seednews.inf.br/\\_html/site/content/reportagem\\_capa](http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa)

Thonson, J. R. 1983. Introducción a la tecnología de las semillas. Traducido de la edición inglesa por Paloma Melgarejo de Nárdiz. Acribia. Zaragoza, España. 301p.

Vieira, R. D., S. R. M. Bittencourt, and M. Panobianco. 2003. Seed vigour-an important component of seed quality in Brazil. ISTA News Bulletin no. 126 October: 21-22.

Wetzei, C. T. y C. C. Pacheco. 2003. La certificación reglamenta la producción de semillas. Seed News 7 (3). También en: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed73/print\\_artigo73\\_esp.html](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed73/print_artigo73_esp.html)



# CAPÍTULO 13

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

*Marco V. Gutiérrez Soto*

*Rodolfo Araya Villalobos*

A lo largo de los doce capítulos que conforman este volumen, se ha abarcado una amplia gama de temas que tienen que ver con la producción, la comercialización y el uso de las semillas de alta calidad del frijol común.

La calidad de las semillas integra un gran número de caracteres genéticos, físicos y fisiológicos, que interaccionan con las prácticas agronómicas aplicadas durante la producción y la post-cosecha. La liberación de variedades con alto potencial de rendimiento y mejores propiedades nutricionales inicia con la disponibilidad de semilla de alta calidad. La producción de semillas debe ser certificada por organismos oficiales o por los protocolos de control de calidad implementados por los comités técnicos de pequeños agricultores.

Es preciso conservar estos aspectos esenciales de la calidad y complementarlos en la forma de productos novedosos con denominación de origen, producción orgánica y ecológica, o bio-fortificados a través de la manipulación genética y las prácticas agronómicas como el abonamiento foliar. Sin embargo, hay necesidades más imperiosas que se deben abordar en el campo de la producción de semillas de alta calidad en general y del frijol común en particular.

La brecha entre los rendimientos potenciales y los promedios alcanzados en las fincas se debe cerrar, lo cual solo puede lograrse poniendo énfasis en el entendimiento del estrés y en las estrategias para lidiar con varios tipos de estrés (sequía, altas temperaturas, hongos, virus, bacterias, nematodos). Para esto se requiere de asesoría técnica y capacitación continua para afrontar los desafíos impuestos por el cambio climático global.

### Legislación

Se debe elaborar una política pública nacional sobre semillas, que incida en el desarrollo de la agricultura familiar, de la seguridad y soberanía alimentaria y del desarrollo del sector semillero. Es preciso elaborar una estrategia para la promoción y difusión de la importancia de empleo de semilla de alta calidad como insumo agrícola esencial.

Se requieren procedimientos técnicos y regulaciones internacionales para estimular la producción de semillas de buena calidad, de variedades de alto valor agronómico y nutricional, dentro de marcos socio-económicos de sostenibilidad agrícola, soberanía agro-alimentaria, y comercio justo. Es necesario divulgar las normas y legislaciones que rijan la definición de calidad y su medición y certificación, y procurar su perfeccionamiento, aplicabilidad y adaptabilidad. Además se debe promover una legislación de semillas que posibilite la inscripción de las variedades locales, tradicionales o criollas e incorporarlas en la producción de semilla de alta calidad.

Hay que promover el desarrollo de sistemas alternativos de control de calidad y el fortalecimiento empresarial administrativo de las organizaciones de pequeños productores involucrados en la producción de semilla autorizada.

## **Promover la producción campesina de semillas de alta calidad**

Es de gran urgencia proponer una estrategia para fortalecer el proceso de producción de semillas a nivel institucional y en organizaciones de pequeños productores, en cantidad suficiente para abastecer a la mayoría de los productores, mediante la articulación institucional. Esto permitiría mejorar el acceso a semilla de alta calidad y daría un panorama real del uso de semilla por todo tipo de agricultor (pequeño, mediano o grande).

Se deben dar las condiciones básicas que permitan que los pequeños agricultores tengan mayor acceso a semillas de alta calidad, debido a que en la actualidad no existe un programa tendiente a incrementar, promover y facilitar su uso. Este es el sector con más baja productividad y con el mayor porcentaje de uso de granos como sustituto de la semilla, lo que limita el acceso a los genotipos más apropiados para sus condiciones socioeconómicas, de mayor rendimiento y menor dependencia de agroquímicos. Esto evidencia la importancia de fomentar la producción de semillas por parte de organizaciones de pequeños agricultores.

Debido a que la producción de semilla es de tipo empresarial, las organizaciones de pequeños productores requieren de capacitación en gerencia empresarial, administración del capital inicial (dinero) y sobre la infraestructura y equipo necesarios para la producción de semillas de calidad. Además se requiere proveer soluciones acordes a las condiciones edáficas y climáticas imperantes en las zonas bajas de Centroamérica, donde prevalecen altas temperaturas y humedad relativa, una de las principales limitantes para la conservación de las semillas. También se deben considerar las condiciones socioeconómicas de los productores y de las regiones, y se deben incrementar los esfuerzos para capacitarlos y acompañarlos en el proceso de producción de semilla a nivel de campo y en pos cosecha.

## **Capacitación académica**

Se requiere establecer estrategias y proyectos nacionales de capacitación sobre calidad de semilla y en el empleo de protocolos para su producción. Se debe proponer la capacitación académica para los técnicos de las instituciones involucradas en la cadena de producción de semillas en aspectos básicos como el análisis de calidad, producción, acondicionado y almacenamiento.

## **Investigación**

Es necesario activar la investigación en la temática relacionada con la semilla de alta calidad, que incluya la revisión de los protocolos para la toma de decisiones sobre la aceptación de la semilla según la presencia de patógenos en el campo, las condiciones fisiológicas, el manejo poscosecha, y el uso de envases apropiados para almacenar semillas por periodos de uno o dos años y en volúmenes de más de 500 kg.

Se debe profundizar en el conocimiento biológico de los fenómenos fundamentales como la formación de las semillas, especialmente de las leguminosas. En términos de la producción agronómica de semillas de alta calidad, este campo se expandirá enormemente en los próximos años con la aplicación de la nueva tecnología sobre los conocimientos moleculares, fisiológicos y técnicas espectrales al “fenotipado”, “screening”, o tamizaje (selección) de los genotipos que darán origen a las nuevas variedades.

Es preciso incrementar la tecnificación, cuantificación y trazabilidad de los procesos pre y post-cosecha que conducen a la producción de semillas de alta calidad, que deben además ser asistidos por la instrumentación disponible que permite documentar la calidad de las semillas a lo largo del proceso productivo.

## RESUMEN DE LOS CAPÍTULOS DE ESTE LIBRO

### **Capítulo 1. La calidad de las semillas es de alto valor comercial y social, y esencial para la seguridad alimentaria**

La base de análisis en este capítulo es la calidad de la semilla como elemento esencial para garantizar la seguridad alimentaria, además de los profundos significados sociales, afectivos, y culturales en las comunidades campesinas, que se perpetúan y transmiten en la forma de reservas comunitarias y familiares, ferias de intercambio de semillas de identidad, y fitomejoramiento participativo. Se indican los factores que controlan la producción de semillas de alta calidad que incluyen la constitución genética, los factores ambientales y el desempeño fisiológico, y que establece el potencial productivo y la composición química general de las semillas. Se analiza la importancia del frijol común y se concluye con recomendaciones para la producción de semillas de alta calidad.

### **Capítulo 2. La calidad de las semillas del frijol se define en el campo: Una perspectiva eco-fisiológica**

Se expone la determinación fisiológica de la calidad de las semillas en el campo. Se examina la reproducción del frijol común como un caso de senectud monocárpica. Se parte de consideraciones arquitecturales de la planta de frijol y de las plantaciones, se especifican los componentes del rendimiento, y se explica cómo la distribución de los asimilados puede ser modificada para aumentar tanto la cantidad como la calidad del rendimiento. Se examina la formación de las semillas en términos de balances nutricionales, y se consideran los efectos maternos y ambientales involucrados, especialmente el estrés, como la falta de luz, el déficit y el exceso de agua, o los suelos de baja fertilidad. Se discuten los efectos del secado en el control del viviparismo, la inyección de la dormancia de algunas semillas, y otros componentes de la calidad como el tiempo de cocción de los granos. Se analizan las relaciones entre el periodo de llenado y el rendimiento, el contenido de humedad, la madurez fisiológica, y la calidad de las semillas cosechadas, y se proponen intervenciones agronómicas dirigidas a mejorar su calidad a varios niveles: molecular y genético, fisiológico, y agro-ecológico.

### **Capítulo 3. Morfogénesis, composición y calidad de las semillas del frijol común**

Se describe la morfología, la estructura, y la composición química de las semillas del frijol común en comparación con otras leguminosas. Se analiza la formación de las semillas como un proceso morfogénético complejo, y se proveen los elementos estructurales y funcionales necesarios para comprender los componentes de la calidad de las semillas como la composición química, la germinación, el vigor, el valor nutritivo, y el deterioro. Se destaca la función de diferentes partes de las semillas, algunas con diferente composición genética, en el control de la dormancia y de la germinación. Se mencionan las técnicas disponibles para la modificación del valor nutricional y la producción de alimentos bio-fortificados.

## **Capítulo 4. El deterioro y la pérdida del vigor y la viabilidad de las semillas. Posibilidades de revitalización**

Se indica que en post-cosecha, casi cualquier combinación de tiempo, temperatura y contenido de humedad que lleve a la pérdida del vigor durante el almacenamiento de las semillas, conduce a una cantidad predecible de cambios genéticos con efectos acumulativos, que resultan finalmente en la pérdida de la viabilidad. Algunos de estos cambios son reversibles si las semillas son hidro-tratadas de forma controlada (osmo-condicionamiento), utilizando los mecanismos sub-celulares naturales de reparación. Se exponen las posibilidades de revertir el deterioro de las semillas y su revitalización, mediante el control de la imbibición a través de la inmersión, la hidratación, la mezcla de las semillas con polímeros hidrofílicos, la hidro-siembra, y la pre-germinación para inducir tolerancia a la desecación (“priming”).

## **Capítulo 5. Patógenos que reducen la calidad de las semilla**

Se describe la etiología, el desarrollo, y el control de las principales plagas y enfermedades que afectan la calidad de las semillas de frijol, desde el campo hasta el almacenamiento. Se destacan la importancia de la densidad de siembra, la rotación de grupos toxicológicos, y la adecuada fertilización en la producción de semilla de alta calidad. Se hace énfasis en la estrategia de combate químico basada en las observaciones de campo que detecten la temprana aparición de síntomas, en contraste con aplicaciones basadas en fechas predeterminadas.

## **Capítulo 6. Plagas insectiles asociadas al cultivo del frijol**

Se explica la ocurrencia y el desarrollo de las plagas del frijol común observadas en el campo y las estrategias de control de las principales plagas que afectan la calidad de las semillas. Se describen los daños causados por larvas de dípteros, lepidópteros y coleópteros a la parte aérea de la planta, en las raíces, y luego se desglosan las plagas que afectan directamente los frutos, las semillas y los granos de frijol, desde el campo hasta el almacenamiento. Desde la siembra, el cultivo es dañado por estas plagas que además de ocasionar un daño directo, forman vías de entrada a bacterias y patógenos. Las fases fenológicas del frijol son afectadas por insectos con diferentes hábitos alimenticios como defoliadores, trips, cortadores, barrenadores y varias especies de chupadores. Se considera a los transmisores de virus como los más importantes. Se muestra una descripción del daño infringido al cultivo, de la biología del insecto y de los métodos de combate de las plagas insectiles asociadas al cultivo del frijol en Costa Rica registrados por el Servicio Fitosanitario del Estado de Costa Rica.

## **Capítulo 7. Acondicionamiento y almacenamiento de las semillas de frijol**

Se exponen los métodos disponibles para el control de la humedad, la limpieza, el secado, y el almacenamiento temporal de las semillas inmediatamente después de la cosecha. La línea para el acondicionamiento de la semilla se describe con el objetivo de mostrar su secuencia apropiada (pre limpieza, secado, y clasificación). Se indican los equipos más adecuados para acondicionar la semilla en las instalaciones de asociaciones de pequeños productores (ASOPRO). Se detallan los procesos industriales involucrados y la maquinaria y equipo deseables en una planta de semillas. Se ejemplifican buenas prácticas de manejo y de almacenamiento a mediano y a largo plazo.

## **Capítulo 8. Criterios de calidad de las semillas y pruebas para su evaluación**

Se recopilan y explican los elementos más frecuentemente utilizados para evaluar la calidad de las semillas. Estos incluyen pureza genética, apariencia física, viabilidad, vigor, germinación, condiciones fitosanitarias, atributos de las plántulas, composición química y valor nutritivo, y tiempo de cocción de los granos destinados al consumo humano. Se describen algunas de las pruebas realizadas para su determinación, en particular el equipamiento y los métodos que pueden implementarse en empresas de producción local de semilla en asociaciones de pequeños productores (ASOPRO). Se describe un modelo de laboratorio de control de calidad para una ASOPRO y su equipo básico.

## **Capítulo 9. Sistema alternativo de producción de semilla de alta calidad de frijol común**

Se desarrolla un protocolo para la producción de semillas de frijol de alta calidad a nivel local en organizaciones de pequeños agricultores. Se indica la importancia de establecer un comité técnico y capacitarlo para que asuma las labores de selección de los reproductores de semilla y de los terrenos, efectuar la fiscalización en el campo y pos-cosecha, y su apropiado empaque y almacenamiento. Se exponen las normas para la aceptación de campos de producción, la selección de los terrenos, las normas de la fiscalización, el manejo agronómico requerido y el muestreo de los campos, además de la importancia de disponer de una fuente de semilla de fundación o registrada. Se discuten problemas relativos al acopio, la limpieza, el acondicionamiento y el almacenamiento subsecuentes a la cosecha. La verificación oficial de la calidad de la semilla se presenta como parte integral de esta estrategia de obtención de semillas.

## **Capítulo 10. Control de calidad de la semilla de frijol: comités técnicos en organizaciones de agricultores**

Se indican los requisitos y los pasos para la conformación de un comité técnico para el control de la calidad de la producción local de semilla, las funciones de sus integrantes, y la administración de la información en el proceso de selección de lotes, la fiscalización, la cosecha y los aspectos post-cosecha. Se indica la importancia de la administración financiera, los equipos de apoyo, la planificación estratégica y el establecimiento de un fondo capital de semillas. Se destaca la importancia de un equipo de apoyo a este comité brindado por ONGs, INIAs o Universidades. Cuando en una región hay varios grupos de organizaciones de agricultores involucrados en producción de semillas, se sugiere una coordinación entre ellos basada en la organización de un comité central.

## **Capítulo 11. Legislación sobre la producción, comercio y uso de semillas**

Se cubre una serie de aspectos relacionados con la legislación existente respecto a la producción de semillas. Se analizan los objetivos de la legislación existente a nivel regional y su propósito fundamental de servir como marco normativo para ordenar, regular y promover las actividades de producción y comercio de semillas de un país. Contempla el origen de las legislaciones, sus caracte-

terísticas y el ámbito de su empleo. Presenta a la entidad encargada de velar por su aplicación y la materia que regula. También explica el fundamento de las regulaciones establecidas. Se describen los tipos de producción de semilla: auto-abastecimiento, producción artesanal o informal de semillas, y los sistemas industriales. Añade el fitomejoramiento participativo y la creación de comités técnicos en organizaciones de pequeños agricultores, la importancia de la producción local de semilla para pequeños productores y la reglamentación para su operación comercial. Se considera la importancia de la conservación de la biodiversidad y de los recursos fito-genéticos.

## **Capítulo 12. Certificación de semillas y control de calidad**

Se detallan el proceso de certificación según la legislación nacional para la producción y la comercialización de semilla genética, de fundación, registrada, y certificada de frijol, así como las estrategias para monitorear la producción de semilla, la inscripción de las actuales variedades obtenidas por mejora genética participativa, y la situación de las variedades criollas en el marco de la producción local de semilla. Se indica la importancia del registro de variedades y se detallan las condiciones que identifican una semilla de calidad y concluye con los muestreos oficiales de campo y pos cosecha, los análisis de calidad, el envasado y rotulado.

## **Capítulo 13. Conclusiones y Perspectivas**

Se ofrece una sinopsis de la situación actual de la producción de semillas de frijol, se resumen los factores limitantes y se proponen procedimientos técnicos y regulaciones internacionales para estimular la producción de semillas de alta calidad agronómica y nutricional. Esto debe realizarse dentro de marcos socio-económicos de sostenibilidad agrícola, soberanía agro-alimentaria y comercio justo.





