

# **II. Prioridades de investigación y capacitación para los próximos 10 años**

**PROGRAMA REGIONAL DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL FRIJOL DEL  
INIFAP PARA EL SURESTE DE MÉXICO**

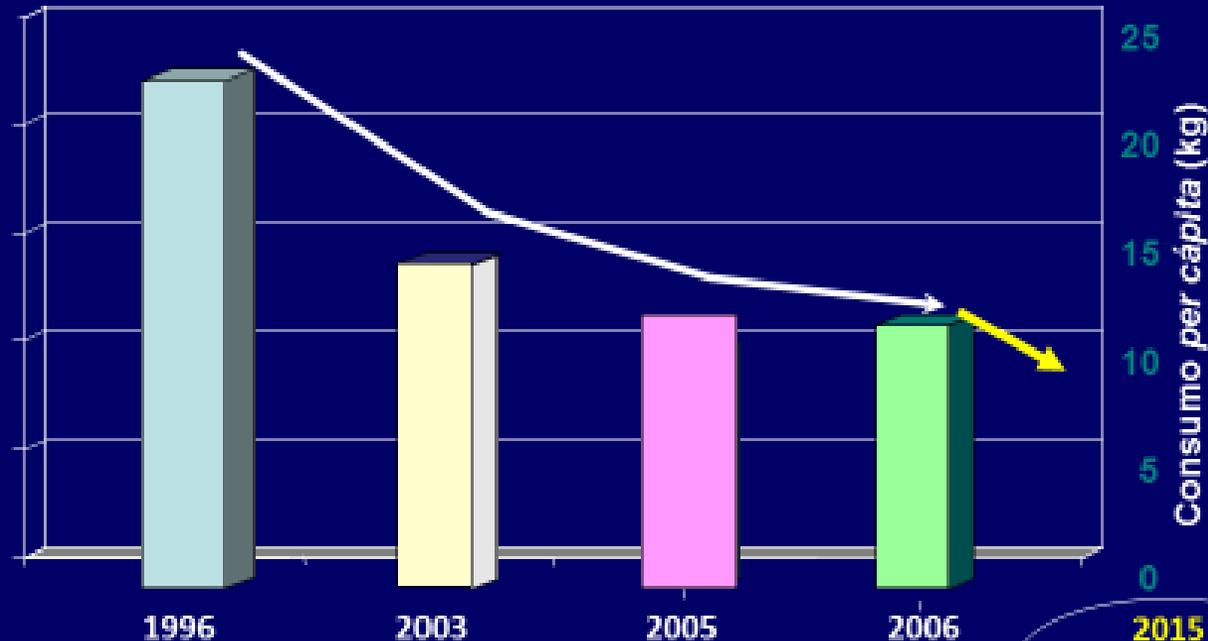
Francisco J. Ibarra Pérez, PhD.  
Programa de frijol y garbanzo, Campo Experimental Cotaxtla  
INIFAP-México

**Tegucigalpa, Honduras 25-27 de julio de 2017**

- **¿Cómo podrían los cambios en los patrones de producción y consumo de frijol en su país afectar sus prioridades de investigación?**

# Consumo de frijol en México

TENDENCIA EN EL CONSUMO DE FRIJOL EN MÉXICO



Fuentes:  
Castellanos et al, 1997  
FIRA-SAGARPA, 2003  
Acosta-Gallegos, 2005  
SIAP-SAGARPA, 2009

El consumo de frijol en México ha venido a la baja

Consumo per-cápita de casi 25 kg/persona/año en los 80's

Se ha reducido a < 9.0 kg, las causas no son muy claras

No es claro que ha sustituido al frijol

¿Cómo podrían los cambios en los patrones de producción y consumo de frijol en su país afectar sus prioridades de investigación?

- **Importaciones (grandes cantidades)**

- Efectos en la producción son muy altos
  - El precio del frijol importado es muy competitivo
  - Desmotiva la producción interna del frijol (en áreas tan importantes como el trópico del país)



¿Cómo podrían los cambios en los patrones de producción y consumo de frijol en su país afectar sus prioridades de investigación?

- **Se requiere actualizar las preferencias de la calidad comercial del grano de frijol**

- tamaño, forma, color, uniformidad, etc.
- rendimiento durante las actividades de beneficio del grano
- incremento real en el aspecto (calidad) del grano del frijol, a granel o enbolsado de 1.0 kg (915 g)

Lo anterior tiene implicaciones en las variedades mejoradas que se vayan a desarrollar en el corto y mediano plazo.

**¿Existen enfermedades o plagas existentes y / o emergentes o estreses abióticos en su país que necesiten más investigación?**

¿Existen enfermedades o plagas existentes y / o emergentes o estreses abióticos en su país que necesiten más investigación?

- Enfermedades fungosas y virales que requieren atención especial en el trópico húmedo de México:

- **Fungosas:**

- mancha angular
- roya
- antracnosis
- mustia hilachosa (menor importancia)



“pueden provocar pérdidas de 25 hasta el 100% del rendimiento de frijol”

## Mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* Ferraris )

- Los niveles de resistencia a la mancha angular de las variedades locales (criollas) o mejoradas deben ser considerados como una prioridad.
  - se desconoce que gen(es) de resistencia tienen las variedades que se han liberado hasta el momento (Negro Grijalva, Negro Comapa, Frailescano, Sangre Maya, Verdín)
  - los materiales liberados pudieran tener mejores niveles de tolerancia
  - está claro que este hongo siempre está presente en los cultivos
  - muy común que su presencia sea hacia el final del ciclo de cultivo (llenado de grano y madurez)



## Roya del frijol (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* Unger)

- fundamental que se conozca que gen(es) de resistencia a roya se tienen en las variedades de frijol liberadas por el INIFAP para el trópico.
- la información valiosa que se dispone es la reacción del material genético bajo condiciones de campo, sobre todo cuando la roya se presenta de manera natural.
- no siempre la severidad que se presenta es alta en algunos ambientes (localidades x ciclo de cultivo x fecha de siembra x año).



## Pudrición carbonosa (*Macrophammina phaseolina*)

- Presencia con niveles de daño relativamente bajos:
  - Se presenta con cierta regularidad en condiciones de sequía
    - en parcelas comerciales de producción de frijol
    - alta incidencia y mas frecuente cuando se evalúa material genético en condiciones de campo bajo el sistema riego-sequía
    - sería conveniente incrementar la frecuencia de genes de resistencia a este hongo en las poblaciones recombinantes a desarrollar, que permita la identificación de material altamente tolerante.



## Enfermedades fungosas y virales que requieren atención especial en el trópico húmedo de México:

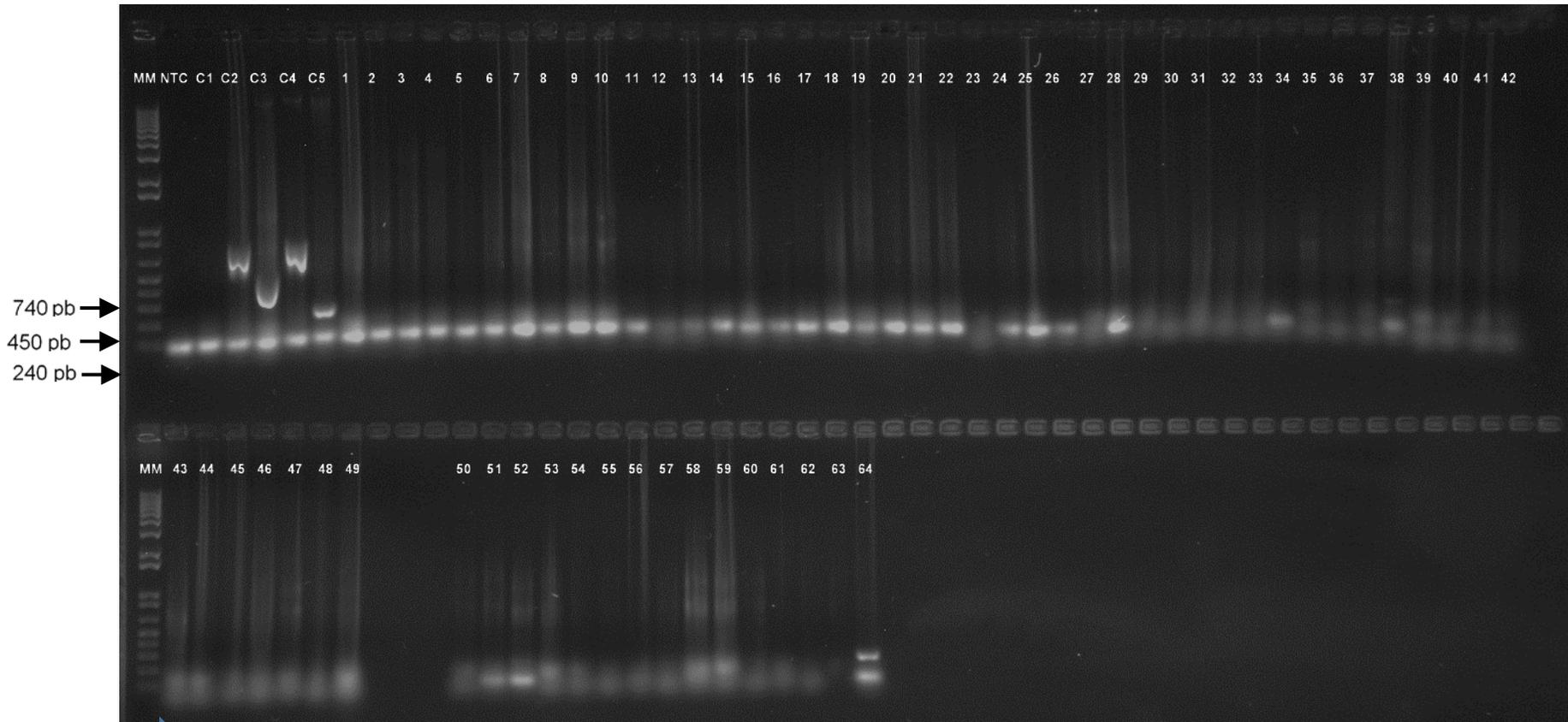
- **Virales:**

- Virus del mosaico amarillo dorado del frijol (BGYMV)
- Virus del mosaico común (BCMV)
- Virus del mosaico necrótico común del frijol (BCMNV)



“pueden provocar pérdidas de 25 hasta el 100% del rendimiento de frijol”

# Presencia de virus (BGYMV, BCMV y BCNMV)



Detección multiplex de los virus BCMV (450 pb), BCMNV (740 pb), BGYMV (240 pb). MM: Marcador de tamaño 1Kb Plus DNA Ladder (Invitrogen). NTC: Control sin ADN. C1 (-): cDNA sintetizado a partir de los ácidos nucleicos totales de una planta sana. C2(+), C3 (+), C4 (+) y C5(+): cDNA sintetizado a partir de los ácidos nucleicos totales extraídos de una planta infectada con BCMNV NL3, BCMV NL4, BCMNV NL3 y BGYMV, respectivamente. La extracción del C1 (-) y C2 (+) se realizó simultáneamente con las muestras problema. Carriles 1 al 49: muestras colectadas en el estado de Veracruz, el orden de carga corresponde al indicado en el Cuadro 1. Carriles 50 al 64: muestras colectadas en Chiapas.

Usando la técnica de detección multiplex de los tres virus (2016), el análisis de muestras con síntomas de virus indicó que en las áreas productoras de frijol en el trópico húmedo de Veracruz y Chiapas prevalecen las infecciones ocasionadas por begomovirus (BGYMV).



# Estreses abióticos en el trópico húmedo del sureste de México

- **Estrés por deficiencias de humedad en el suelo (sequía)**

- Se presenta particularmente hacia el final del ciclo de cultivo (llenado de grano y madurez).

- **Estrategia de evaluación**

- material recombinante en generaciones avanzadas ( $F_8 - F_{10}$ ) **viveros, EPR y EURR** bajo el sistema **riego-sequía** durante la época más seca del año (febrero-mayo)

- La condición de sequía terminal se genera mediante la suspensión del riego a partir del inicio de floración



## Estrés por deficiencias de humedad en el suelo (sequía)

- **Se utilizan estimadores de adaptación a sequía:**
  - **Índice de susceptibilidad a sequía** (Fisher y Maurer, 1978)
    - permite identificar y seleccionar genotipos con tolerancia (adaptación) a sequía terminal
  - **Índice de eficiencia relativa productiva** (Graham, 1984)
    - permite clasificar y seleccionar genotipos con alto rendimiento bajo ambas condiciones, riego y sequía
  - **Porcentaje de reducción** del rendimiento por estrés



# Estrés por acidez del suelo

- **Acidez del suelo debido a:**
  - alta saturación de aluminio (Chiapas)
  - bajos contenidos de Ca, Mg, K y alta saturación de aluminio (Veracruz)
- **Estrategia de evaluación de material recombinante ( $F_8$  -  $F_{10}$ ) viveros, EPR y EARR.**
  - **comparación del comportamiento del material genético en:**
    - suelos ácidos **vs** suelo con aplicación de cal dolomítica (1.25 – 3.0 T/ha)
    - aplicación de cal previa a la siembra (30-40 días)
  - **Identificación de líneas con adaptación a suelos ácidos usando los estimadores:**
    - Media geométrica (Samper y Adamas, 198)
    - Índice de eficiencia productiva (Graham, 1984)
    - Reducción del rendimiento (%)



# Estrés por altas temperaturas

- **En los últimos años se ha percibido**
  - presencia de altas temperaturas durante las etapas críticas del cultivo
  - ciclo de verano (junio-septiembre)
  - bajo condiciones de temporal
  - modificación de las fechas de siembra
- **Consideración:**
  - se requiere realizar investigación en este tipo de estrés
  - no se tiene mucha experiencia
    - material genético disponible
    - Identificación de ambientes de evaluación
    - variables a medir
    - análisis de la información
    - identificación de material resistente y/o con buenos niveles de adaptación

# **Desarrollo, evaluación y liberación de futuras variedades de frijol para el trópico del sureste de México**

## ¿Fuente(s) de las poblaciones de mejoramiento?

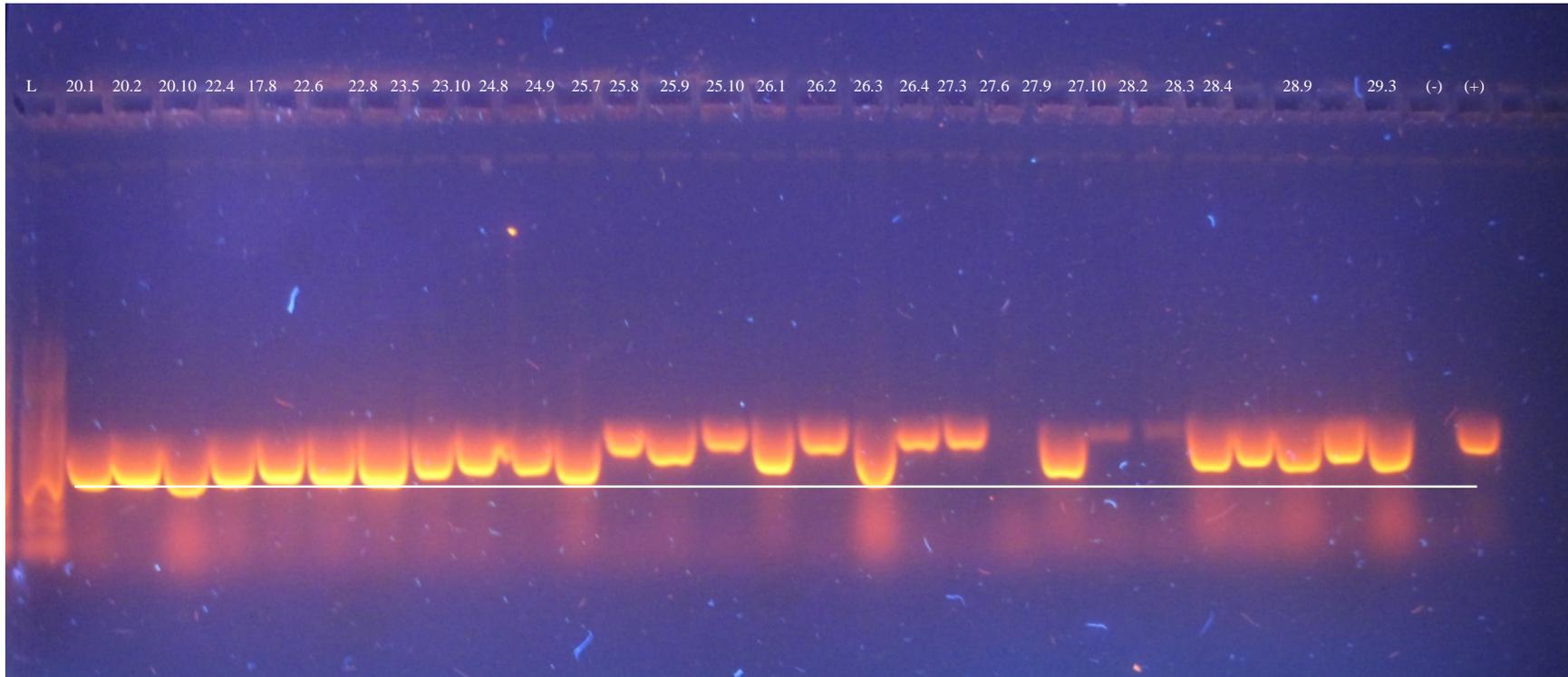
- Se dispone de muy poco material recombinante de frijol
- líneas avanzadas ( $F_{10}$ ) derivadas de tres cruzamientos:

Papaloapan/SEN 46

Negro Citali/XRAV-187

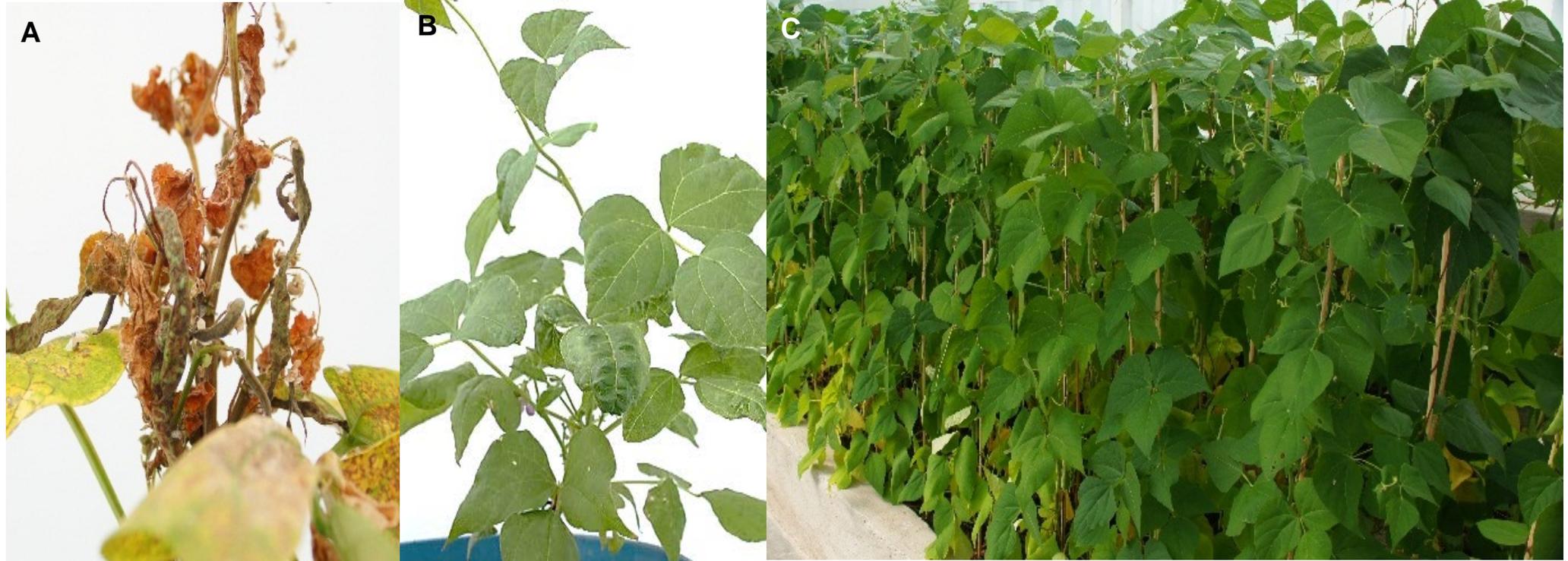
Jamapa plus/XRAV-187

- Con la ayuda de marcadores moleculares (MM), se identificaron líneas con los genes *I*, *bc-3* y *bgm-1* de resistencia a BCMV, BCNMV y BGYMV



Líneas recombinantes de frijol derivadas de cruzamientos entre variedades mejoradas y progenitores élite

Producto de amplificación con el **Marcador molecular tipo SCAR SR2, ligado al gen *bgm-1***. Cada carril corresponde a una planta analizada. La amplificación de un fragmento de 570 pb indica la presencia del alelo homocigoto susceptible (*Bgm-1 Bgm-1*), un fragmento de 530 pb indica la presencia del alelo homocigoto resistente (*bgm-1 bgm-1*). L=Marcador de tamaño 1Kb DNA ladder. La figura es representativa por lo que no incluyen todos los materiales. El análisis de todos los individuos de cada material se resume en el Cuadro 1



Principales síntomas producidos por la inoculación de BCMNV NL3 en distintos fondos genéticos. A) Raíz negra en materiales que poseen únicamente el gen dominante de resistencia *I*. B) Mosaico en materiales que no poseen ningún gen de resistencia. C) Ausencia de síntomas en genotipos con la combinación genética *I + bc3*.

# Líneas recombinantes de frijol con genes de resistencia *I*, *bc-3* y *bgm-1*

	gen(es)		
Papaloapan/SEN 46-3-7	<i>I</i>		<i>bgm-1</i>
Jamapa plus/XRAV-187-3-1-8	<i>I</i>	<i>bc-3</i>	<i>bgm-1</i>
Jamapa plus/XRAV-187-3-4-4	<i>I</i>	<i>bc-3</i>	

**MM: SCAR SR2 (gen *bgm-1*), SW12 (gen *I*), ENM (gen *bc<sup>3</sup>*) y SBD5 (gen *bc1<sup>2</sup>*)**

**XRAV-187-3** línea derivada de la cruce PR0003-124/'Raven' (Beaver et al., 2014).

**PR0003-124** derivada de la cruce DOR483/BelNeb RR-2//MUS83/DOR483, seleccionada en Puerto Rico por su resistencia a BGYMV, pudriciones de raíz, y tolerancia a altas temperaturas; tiene el gen *bgm-1* y el QTL SW12, confiere resistencia a BGYMV y BCMV (gen *I*).

**Raven**, desarrollada por MSU, adaptación al trópico, posee los genes *I* y *bc-3*, así como el gen *Ur-3* de resistencia a roya (Kelly et al., 1994).

Líneas recombinantes de frijol sobresalientes por su comportamiento a través de las diferentes pruebas de invernadero (inoculación en contención), laboratorio (marcadores moleculares) y campo como EURR (reacción a enfermedades, suelos ácidos y sequía terminal).

Línea recombinante	Reacción en campo*			Suelo ácido (IERi)		Sequía <sup>§</sup> (ISS e IERi)	RG** (kg/ha)	Gen <sup>£</sup>		
	M.A	M.H.	BGYMV	Ver.	Chis.			Inoculación + PCR (MM)		
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	4.3	3.1	1.0	1.06	1.65	0.94 - 2.28	1504	/		
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8	3.8	3.0	1.3	0.90	1.11	1.14 - 1.55	1437	/	bc-3	bgm-1
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	2.8	3.8	1.3	1.38	0.68	1.27 - 1.07	1359	/	bc-3	
Papaloapan/SEN 46-3-7	3.2	2.6	2.0	0.90	1.32	0.51 - 0.95	1333	/		bgm-1

\* M.A. = mancha angular, M.H. = mustia hilachosa, BGYMV = mosaico dorado amarillo. <sup>§</sup> IIS = índice de susceptibilidad a sequía e IERi = índice de eficiencia productiva de cada genotipo. \*\* RG = Promedio de 10 ambientes de evaluación en Veracruz y Chiapas. <sup>£</sup> / = gen de resistencia al BCMV, bc-3 = gen de resistencia al BCNMV y bgm-1 = gen de resistencia al BGYMV.

## ¿Qué combinación de características son necesarias para las variedades futuras?

- **Precocidad como mecanismo de escape a la sequía terminal**
  - 34 días a floración
  - 68 días a madurez
- **Porte erecto**
  - tipo II
  - las vainas (frutos) dispuestas en la parte media superior de la planta
- **Con genes de resistencia a múltiples enfermedades (hongos y virus)**
  - Mancha angular, roya y antracnosis
  - BGYMV, BCMV y BCNMV



¿Qué combinación de características son necesarias para las variedades futuras?

- **Grano pequeño y opaco**
  - (18-22 g/100 semillas),
  - preferentemente tipo Jamapa y/o “bolita”
- **Adaptación a estreses abióticos**
  - sequía terminal
  - suelos ácidos
  - altas temperaturas
- **Alto potencial de rendimiento**
  - > 1,500 kg/ha



## ¿Fuentes de las características deseadas?

---

### Fuente:

### Característica

---

#### Variedades:

Verdín,  
Negro Comapa  
Negro Grijalva  
Negro INIFAP  
Negro Tacaná  
Negro Tropical  
Negro Papaloapan

precocidad, genes *l* y *bgm-1*, adaptación a sequía  
tolerancia a mancha angular, amplia adaptación, rend.  
adaptación a suelos ácidos  
adaptación a suelos ácidos  
resistencia a roya y BGYMV, adaptación a sequía, arquitectura,  
resistencia a roya, amplia adaptación  
resistencia a BGYMV y adaptación a suelos ácidos

#### Líneas recombinantes:

Jamama Plus/XRAV-187-3-1-8  
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4  
N. Papaloapan/SEN 46-3-7  
N. Citlali/XRAV-187-3-1-9

genes *l*, *bc-3*, *bgm-1* y adaptación a suelos ácidos y sequía  
genes *l* y *bc-3*  
genes *l*, *bgm-1* y adaptación a suelos ácidos y sequía  
genes *l* y *bc-3*

---

# ¿Qué zonas y sistemas de producción serán enfatizados?

- Zonas de producción que tendrán particular interés:
  - **Sureste de México con énfasis en los estados de:**
    - Chiapas
    - Veracruz
      - 150,000 hectáreas
      - > 40,000 productores
      - principalmente de autoconsumo
  - **Ciclos de cultivo y sistemas de producción**
    - otoño-invierno (septiembre-enero)
    - humedad residual
    - monocultivo o en relevo con maíz



## ¿Qué métodos de evaluación y selección se utilizarán?

Evaluación del material recombinante o introducido se llevan a cabo como sigue:

- **Evaluación de enfermedades:**
  - **Localidades y ciclos de cultivo del frijol específicos:**
    - Chiapas, para mancha angular y BGYMV
    - Veracruz, para mancha angular, roya, mustia hilachosa y antracnosis
  - **Calificación de la reacción a enfermedades siguiendo la escala del 1-9 (CIAT)**
  - **Selección con base al promedio de la reacción a enfermedades a través de ambientes (Loc. x Año)**
    - ANOVA (individual y conjunto)
    - Análisis de correlación entre rendimiento y la reacción a las enfermedad correspondiente
    - Uso de marcadores moleculares con inoculación en contención

## Evaluación por sequía terminal

- Evaluación (**viveros, EPR y EURR**) de material recombinante en líneas avanzadas ( $F_8 - F_{10}$ ), para identificar líneas con adaptación a sequía terminal:
- **Comparación del comportamiento del material:**
  - sistema **riego-sequía** durante la época más seca del año (febrero-mayo)
    - sequía terminal mediante la suspensión del riego al inicio de floración **vs**
    - riego completo durante todo el ciclo de cultivo
- **Selección con base a:**
  - Índice de susceptibilidad a sequía (Fisher y Maurer, 1978)
  - Índice de eficiencia productiva (Graham, 1984)
  - Reducción del rendimiento (%)
- **NOTA:** A pesar de la dificultad que representa, se trata al máximo de mantener los ensayos de campo libres de maleza, plagas y enfermedades que pudieran interactuar con la respuesta a la sequía.

## Evaluación a suelos ácidos:

- Evaluación (**viveros, EPR y EURR**) de material recombinante en líneas avanzadas ( $F_8 - F_{10}$ ), para identificar líneas con adaptación a suelos ácidos:
- **Comparación del comportamiento del material:**
  - suelos ácidos *vs*
  - mismo suelo con aplicación de cal dolomítica (1.25 a 3.0 T/ha) 30-40 días antes de la siembra
- **Selección con base a:**
  - Media geométrica (Samper y Adams, 1985)
  - Índice de eficiencia productiva (Graham, 1984)
  - Reducción del rendimiento (%)

## **¿Cómo pueden ser utilizadas nuevas tecnologías como marcadores moleculares y métodos como fitomejoramiento participativo por su programa de investigación de frijol?**

El programa de mejoramiento genético convencional del frijol del INIFAP para el sureste de México, ha dado buenos resultados.

- **Introducir genes de resistencia a estreses bióticos y abióticos en frijol común**
  - **Si están disponibles MM para identificar genotipos con genes de resistencia a:**
    - Mancha angular
    - Roya
    - Antracnosis
    - Virus BCMV, BCNMV, BGYMV
  - **Piramidar genes,**
    - mediante la selección asistida por MM combinada con la selección tradicional

## ¿Cómo puede ser más sostenible la producción de semilla básica de las variedades de frijol recientemente liberadas?

- La producción de semilla certificada de alta calidad en sus diferentes categorías básica, registrada y certificada de frijol negro tropical en el sureste de México
  - **Sistema Nacional de Inspección y Certificación (SNICS)**
  - **pero, es muy frágil**
  - **limitada**
  - **cuando se produce semilla, se hace en pocas cantidades**

- **La fuerza que limita** la producción de semilla certificada de alta calidad de frijol **es la comercialización**
  - no existe un mecanismo, otro que no sea el que la empresa desarrolla, que asegure la venta de la semilla producida
  - la semilla de un ciclo debe ser comercializada en el mismo ciclo
  - los riesgos son muy altos debido a:
    - pérdida de la calidad (perdida de la germinación) de la semilla
    - altos costo de almacén por mantener saldos (remanentes) de semilla sin vender
- **La producción de semilla se realiza formalmente por dos empresas en la región:**
  - una en el estado de Chiapas (**PROASE**)
  - otra muy limitada en Veracruz (**Imperio del Campo**)

- **Se ha tenido la experiencia de la producción de semilla artesanal**
  - se lleva cabo conjuntamente con la participación de las Direcciones de Fomento de algunos Ayuntamientos particularmente en el estado de Veracruz
  - la semilla no se certifica por el SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas)
    - aun cuando se pudiera estar siguiendo todo el paquete tecnológico para la producción de semilla
  - si no se tiene el debido cuidado y control en poco tiempo la calidad de la semilla, sobre todo lo referente a la calidad genética, se ve muy comprometida



## Se ha tenido la experiencia de la producción de semilla artesanal

- Por lo anterior, se requiere promover el cultivo de frijol con variedades mejoradas generadas por el INIFAP:
  - a nivel gubernamental por la Secretaría de Agricultura (SAGARPA)
  - de una manera sostenida
  - para que las empresas productoras de semilla, puedan demandar las semillas básicas de estas variedades en el sureste de México.

**¿Qué conocimientos técnicos adicionales necesitan los programas nacionales de investigación de frijol y en el ámbito regional (economía agrícola, fitopatología, entomología, sistemas de semilla)?**

El Programa Regional de Mejoramiento de Frijol del INIFAP para Veracruz y Chiapas se vería ampliamente beneficiado con la implementación de:

- **Biotecnología/Fitopatología**

- conocimientos técnicos teórico/prácticos en las actividades de marcadores moleculares
- apoyado fuertemente por el área de fitopatología
  - con capacidad entender ambas áreas, reacción en campo a las enfermedades que atacan al frijol, los procesos de aislamiento, caracterización morfológica y molecular de los hongos, bacterias, virus, etc.

¿Qué conocimientos técnicos adicionales necesitan los programas nacionales de investigación de frijol y en el ámbito regional (economía agrícola, fitopatología, entomología, sistemas de semilla)?

- **Economía**

- Se requiere de un economista agrícola, para realizar estudios
  - de adopción de variedades
  - de mercado
  - análisis de la rentabilidad económica de las variedades generadas
  - sus impactos en la producción de frijol

- **Fisiología**

- conocimientos técnicos para atender los aspectos de estrés por altas temperaturas en frijol,
- familiarizarse con el tipo de mediciones que se deben tomar a las plantas de frijol, su relación con las altas temperaturas (día, noche, max, min, UC, etc.) durante el ciclo de cultivo y la relación del comportamiento con el rendimiento de grano.

A photograph showing three men standing in a field of lush green crops, likely beans or chickpeas. The man on the left is wearing a white shirt and blue jeans, pointing towards the plants. The man in the middle is also in a white shirt and blue jeans, holding a folder. The man on the right is wearing a blue jacket and a dark cap. The background consists of a dense line of trees under a clear sky.

**Principales investigadores del programa de frijol y garbanzo del Campo Experimental Cotaxtla**

**MC. Oscar H. Tosquy Valle y MC. Ernesto López Salinas**



***Gracias  
por su atención***

Francisco J. Ibarra Pérez, PhD.  
Investigador Titular Programa de frijol y garbanzo  
Campo Experimental Cotaxtla  
INIFAP-México

**Tegucigalpa, Honduras 25-27 de julio de 2017**





# Estreses abióticos en el trópico húmedo del sureste de México

## Estimadores de adaptación a sequía:

- **Índice de susceptibilidad a sequía ISS** (Fisher y Maurer, 1978)

$$ISS = 1 - (Y_{ii}/Y_{ci})/IIS$$

$Y_{ii}$  = promedio de rendimiento de cada genotipo con suspensión de riego

$Y_{ci}$  = promedio de rendimiento de cada genotipo con aplicación de riego

- **Índice de intensidad de la sequía IIS**

$$IIS = 1 - (Y_i/Y_c)$$

$Y_i$  = promedio de rendimiento sin riego

$Y_c$  = promedio de rendimiento con aplicación de riego



**Permite identificar y seleccionar genotipos con tolerancia (adaptación) a sequía**

# Estreses abióticos en el trópico húmedo del sureste de México

- Índice de eficiencia relativa productiva (Graham, 1984),

$$IER_i = (Y_{ii} / Y_i) (Y_{ci} / Y_c),$$

$Y_{ii}$  = rendimiento del genotipo  $i$  con suspensión de riego

$Y_i$  = rendimiento promedio con suspensión de riego

$Y_{ci}$  = rendimiento del genotipo  $i$  con riego

$Y_c$  = rendimiento promedio con riego

- permite clasificar y seleccionar genotipos con alto rendimiento bajo ambas condiciones, riego y sequía

- Porcentaje de reducción del rendimiento por estrés