

Mejoramiento genético de la soya en Venezuela

Alexander José Hernández Jiménez*

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Postgrado de Agronomía. Cabudare, Lara, Venezuela.

RESUMEN

El mejoramiento genético de plantas es posible si hay variabilidad para poder practicar una selección eficiente. Si alguno de los genotipos seleccionados satisface el ideotipo deseado, éste se manejará con fines de multiplicación comercial. Debido a que la expresión de los genes es influenciada en menor o mayor medida por elementos ambientales, es necesario lidiar con la interacción genotipo-ambiente. La variabilidad genética de las poblaciones debe ser manejada y permitir los avances de selección sin agotarla. La idea central del mejoramiento genético de plantas es proporcionar en un genotipo o población el mayor cúmulo de características favorables. En un programa de mejoramiento de soya se toman en cuenta elementos genéticos, agronómicos y económicos. Al iniciarlo, se debe tener definido los objetivos y las condiciones del agroecosistema en donde se piensa producir comercialmente. Es importante establecer un ideotipo que responda a la cosecha mecanizada, por lo que hay que considerar el hábito de crecimiento, la altura de la planta y primera vaina, dehiscencia de vainas, acame de plantas, simbiosis con especies de *Rhizobium*, resistencia a las principales plagas y fundamentalmente la productividad de grano. El plan de mejoramiento en Venezuela debe comenzar con introducciones de materiales tropicalizados o incluir genotipos con fuentes de genes para insensibilidad al fotoperiodo dentro del programa de hibridación. La complementariedad entre mejoramiento, desarrollo y producción de semillas garantizan la semilla certificada, además de la validación del manejo agronómico del cultivar.

Palabras clave: *Glycine max*, variabilidad, selección, desarrollo, semillas.

*Autor de correspondencia: Alexander Hernández

E-mail: ahernandez@ucla.edu.ve

Soybean breeding in Venezuela

ABSTRACT

Plant breeding is possible if there is variability to practice an efficient selection. If any of the selected genotypes satisfies the desired ideotype, it will be handled for commercial multiplication. Because gene expression is influenced by environmental elements, it is necessary to deal with the genotype-environment interaction. The genetic variability of populations should be managed and allow progress without depleting selection. The central idea of plant breeding is set in a genotype or population the largest accumulation of favorable characteristics. In a soybean breeding program genetic, agronomic and economic factors are taken into account. When you start it, you must have defined the objectives and conditions of the agricultural ecosystem where it plans to produce. It is important to establish an ideotype that responds to mechanical harvesting, so we must consider the habit of growth, plant height and first pod dehiscence of pods, flattens plant symbiosis with *Rhizobium* species, resistance to major diseases and pests, and primarily grain productivity. Breeding plan in Venezuela should start with the evaluation of materials of tropicalized introductions and include sources of genes for photoperiod insensitivity. Complementarity between improvement, development and production of seed guarantee certified seeds, plus validation of the agronomic management of the cultivar.

Key words: *Glycine max*, variability, selection, development, seeds.

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS

El mejoramiento de plantas es posible si hay variabilidad para poder practicar una eficiente selección. Luego, si alguno de los genotipos seleccionados satisface el ideotipo buscado, éste es manejado con fines de multiplicación comercial; pero frecuentemente no es así, y muchos de los atributos deseados están dispersos en diferentes individuos, los cuales deben ser recombinados para propiciar la obtención de ese ideotipo.

En el pasado se presentó un enfrentamiento entre los mejoradores tradicionales de plantas y los biólogos moleculares, los unos manejando el fenotipo dentro de la interacción genotipo ambiente y los otros tratando de manejar el genotipo desde el ADN mismo. Tal enfrentamiento no prosperó y hoy en día se entiende el mejoramiento de plantas desde una visión integral, donde en la búsqueda del ideotipo planteado se conjugan tanto las técnicas tradicionales como las biotecnológicas. Afortunadamente se entendió que pueden complementarse y trabajar productivamente. Las técnicas de biología molecular tienen una importancia aún más relevante que el simple estudio de ciencia básica, en la medida en que pueden ser aplicadas en la solución de problemas del área agrícola, tanto en mejora-

miento genético como agronómico. Estas técnicas, junto con los métodos de campo, son herramientas muy útiles para el mejoramiento genético de plantas cuando pueden ser aplicadas en la identificación genotípica de individuos, estudios de relaciones filogenéticas entre especies o grupos taxonómicos intraespecíficos, caracterización y evaluación de la diversidad genética, distribución de la diversidad entre especies cultivadas o silvestres, conservación y uso de recursos fitogenéticos, selección asistida con marcadores moleculares, diagnóstico temprano de enfermedades, estrategias de biocontrol, entre otras. También se complementan los dos grupos de trabajo en estudios sobre tolerancia a estrés hídrico, androesterilidad, propiedades morfogenéticas atribuidas a compuestos celulares, así como en estudios de dinámica celular que permiten el desarrollo de metodologías nuevas para solucionar problemas asociados con la productividad agrícola, y por ende con una mayor producción de alimentos.

Hoy en día se pueden introducir genes foráneos en las células y monitorear su inserción al genoma del individuo, para transformarlo genéticamente y exhibir características deseables para una mejor supervivencia o mayor producción, en donde las técnicas de mejoramiento, tanto tradicionales como de biología molecular son utilizadas como un todo.

La mayoría de los caracteres de importancia agronómica son poligénicos y su herencia es fuertemente afectada por el ambiente. El mejoramiento para este tipo de características no es fácil, aun cuando se cuenta hoy en día con herramientas más afinadas de biotecnología, bioestadística, genética cuantitativa y manejo agronómico, que permiten optimizar la eficiencia de la selección de estos caracteres.

El mejoramiento es el manejo de los caracteres hereditarios de las plantas por medio de las técnicas para la manipulación de los genes, a fin de hacerlas más eficientes para determinadas condiciones agroecológicas. En realidad, es el cambio en la media de la población, para un carácter en particular de acuerdo al objetivo del mejorador. Hoy en día se acepta que mejorar plantas para beneficio de la humanidad es una ciencia, arte y negocio.

- a. **Observación, medición y análisis.** Hay mucho de observación relacionado con la experiencia del mejorador, aquello de arte, que debe ser medido y convertido en datos para su posterior análisis. Se aplican muchos procedimientos utilizando tecnología mediante equipos cada vez más versátiles que amplían las capacidades de observación del sentido humano. Se obtienen numerosos datos que deben ser procesados haciendo uso de programas estadísticos con ayuda de los softwares apropiados
- b. **Interacción genotipo ambiente.** Un fenómeno con el que tenemos que lidiar los mejoradores para tratar de conseguir provecho. La expresión de los genes es modulada o influenciada por los elementos ambientales. La temperatura, humedad, radiación, fertilidad del suelo, malezas, enfermedades, insectos, etc. determinan el rendimiento de la soya en determinadas zonas agroecológicas

- c. **Manejo de la variabilidad.** Aspecto de la población que debe ser manejada para lograr la selección de genotipos superiores, utilizando diferentes métodos de mejoramientos y herramientas biotecnológicas para la obtención de genotipos superiores. Esta variabilidad, permite dar respuestas a la demanda cada vez mayor de alimentos o insumos para los procesos agroindustriales que se traduce en más y mejores productos para la población.

PLAN DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE SOYA

La idea central del mejoramiento es acumular en un genotipo o población el mayor cúmulo de características favorables. Se toman en cuenta elementos genéticos, agronómicos y económicos.

- i. **Elementos económicos.** La soya (*Glycine max* (L.) Merrill) es la leguminosa más importante del mundo, por el hecho de ser la principal fuente de proteína utilizada en la alimentación animal y aceite comestible para consumo humano. Sumado a esto está la ventaja comparativa como cultivo de rotación, lo que convierte a la soya en el preferido de muchos programas agrícolas de países en todo el mundo (Embrapa, 1995; Solórzano *et al.*, 2005).

La población mundial crece a un ritmo acelerado, estimándose que habrán cerca de 9 mil millones de personas para el año 2050. En países en desarrollo como Venezuela este ritmo es más marcado y estaremos en 50 millones de personas para ese mismo año (ONU, 2015; INE, 2014). La producción de soya ha venido incrementándose a nivel mundial en respuesta a la demanda de la industria avícola en muchos países. Desde 1962 hasta 1973 la producción mundial de soya se duplicó, y continuó creciendo en forma progresiva, pasando en los últimos 40 años de 57,75 a 268,1 (**336, 09 Mt, 2016**) millones de toneladas (FAO, 2006; USDA, 2013). El principal productor de soya es EUA con 89,5 millones de toneladas que representan el 33% del total de la producción mundial. Los países suramericanos (Brasil, Argentina, Paraguay y Bolivia) en conjunto producen el 56% del total mundial, lo que indica que Suramérica es la más importante región productora de grano de soya (USDA, 2013).

En Venezuela existe una desarticulación entre demanda, investigación y producción nacional. En tal sentido podemos resaltar lo siguiente: en el país existe la necesidad de por lo menos 1.500.000 t que podrían lograrse en una 700.000 ha (MPPAPT, 2015). Su producción al principio estuvo limitada por la falta de variedades adaptadas al trópico; problema que fue parcialmente solventado por las investigaciones y el desarrollo de diversas instituciones, llevadas a cabo mediante programas de mejoramiento genético y selección de cultivares, con los cuales se logró desarrollar cultivares con potencial en algunas regiones del país de manera satisfactoria de entre 1.600 y 2.500 kg ha⁻¹ de grano.

Las necesidades de consumo de soya, para la producción de alimentos concentrados para animales, alcanzan alrededor de 200.000 ton⁻¹ año. De intentarse producir en el país toda la soya que se importa, se estima que sería

necesario cultivar alrededor de 600.000 hectáreas con un rendimiento promedio nacional de 1.500 kg ha⁻¹ aproximadamente (FAO, 2006; Solórzano *et al.*, 2005). Anualmente en el país se consume más de 1×10^6 ton de grano de soya, siendo importada en casi su totalidad. Para el año 2011 apenas se produjeron $0,05 \times 10^6$ ton con un rendimiento de 1.360 kg ha⁻¹. Esa marcada dependencia de las importaciones vulnera la seguridad alimentaria y evidencia la necesidad de impulsar el cultivo de la soya en el país (Fedeagro, 2015).

Al analizar esta situación, tenemos que reconocer las poco acertadas decisiones de política pública, que permitan una relación costo-precio favorable para el productor, y que tome en cuenta principios de soberanía alimentaria y de desarrollo agrícola nacional, dando prioridad al uso de los cultivares desarrollados por nuestras instituciones. Durante años se han anunciado planes que no se han concretado o que han estado sujetos a la importación de semilla y tecnología foráneas, contempladas en convenios de cooperación con otras naciones principalmente, con Brasil y Argentina.

La problemática de la soya es factible de ser resuelta con mejoramiento y están ampliamente justificados los planes de mejora genética en este cultivo.

- ii. **Elementos genéticos.** Al iniciar un plan de mejoramiento se debe tener definido los objetivos y las condiciones del agroecosistema en donde se piensa producir. Es importante establecer un ideotipo que responda a la cosecha mecanizada, por lo que se debe considerar el hábito de crecimiento, la altura de la planta y primera vaina, dehiscencia de vainas, acame de plantas, simbiosis con especies de *Rhizobium*, resistencia a las principales plagas y fundamentalmente la productividad de grano.

Un elemento esencial a ser considerado dentro del mejoramiento genético para el trópico es la insensibilidad al fotoperiodo. Parte de las limitaciones iniciales del cultivo de soya en Venezuela se le atribuye al uso de variedades introducidas del sur de los Estados Unidos o del Norte de Brasil, los cuales son países con 14 horas luz aproximadamente durante los meses de producción. Cultivares como 'Júpiter', 'IAC-8', 'SIATSA', 'Pelícano' o 'Cristalina', fueron seleccionadas desde México hasta Colombia y Venezuela, países con 12 a 10 horas luz. La mayoría de estos materiales tienden a ser más precoces y entran en el estado reproductivo a los 40 o 45 días sin haber alcanzado un desarrollo vegetativo adecuado para desarrollar una biomasa y producción de semillas aceptables. Esto se debe a que la soya es una especie de día corto, que tiende a florecer precozmente, conforme las horas de luz en el día disminuyen respecto a la región de origen de la variedad (Villalobos y Camacho, 1999). Hartwig (1970) señaló que un genotipo de soya bien adaptado al trópico debería florecer al menos 45 días después de la siembra para que la planta pueda alcanzar un desarrollo y una producción aceptable.

El descubrimiento de los genes que retardan la floración de la soya en condiciones de fotoperiodos cortos en un genotipo silvestre (Hartwig y Kihl, 1979) y su posterior introducción en la variedad 'Padre' (Hartwig *et al.*, 1988), abrió el

sendero para producir material genético altamente productivo en el trópico. 'Padre' es susceptible al acame (por lo que no se adapta bien en el trópico) pero al cruzarla con otros materiales genéticos, incluso de madurez intermedia o precoz de los Estados Unidos o de Brasil, genera una enorme variabilidad que incluye plantas de floración tardía, que facilitan la selección de cultivares adaptadas en el trópico. El cruce de las líneas 'Padre' con 'Duocrop', pertenecientes al grupo V de madurez de los Estados Unidos y que no ofrecieron un comportamiento aceptable en Costa Rica o Venezuela por su precocidad (Jackobs *et al.*, 1984) produjo plantas F_2 que iniciaron su floración desde los 29 hasta los 90 días (Villalobos y Camacho, 2003). De ahí se seleccionó la variedad 'CIGRAS-06' que florece entre los 50 y los 55 días aproximadamente en Costa Rica y en el estado Lara, que se ubican en una latitud similar. Esta variedad ha mostrado un buen comportamiento como productora de grano y forraje y una alta resistencia al acame en varios países del trópico americano (Villalobos y Camacho, 2003; Tobía *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2013).

Una vez que se han definido los objetivos del plan de mejoramiento, y el ideotipo de planta requerido, y establecido los criterios para la selección, se debe comenzar con la evaluación de introducciones de materiales tropicalizados o incluir fuentes de genes para insensibilidad al fotoperiodo.

Producto de la evaluación se seleccionan los mejores genotipos para formar poblaciones básicas atendiendo a un esquema de hibridación entre dos o más materiales genéticos previamente seleccionados. Es recomendable el uso de cruzamientos múltiples o compuestos entre líneas parentales, las cuales son cruzadas en sucesivas generaciones de cruzamientos simples, dobles, etc. Es importante resaltar que al incluir muchos progenitores en la formación de las poblaciones básicas se requerirá mayor cantidad de semillas de los últimos pasos del esquema de cruzamiento para obtener todos los genes provenientes de esa cantidad de padres. Por otro lado, en la práctica es difícil contar con muchos padres sobresalientes por lo que al incrementarlos aumenta el riesgo de incluir líneas parentales desadaptadas. Por lo tanto, se busca aumentar la probabilidad de producir descendientes superiores que en las generaciones tempranas combinen buen comportamiento y alta varianza genética para el carácter o caracteres seleccionados.

Al contar con estas poblaciones básicas se aplica el método de selección más apropiado dependiendo de la disponibilidad de recursos, tiempo y el modo de herencia de los caracteres a seleccionar. Es muy frecuente aplicar el método genealógico o de pedigrí y también el de descendencia de una semilla/vaina por planta, la selección de familias en F_2 y prueba de progenies tempranas; también es recomendable para caracteres cuantitativos de alto valor económico y el de la descendencia de una semilla por planta (Figura 1).

Dentro del esquema de cruzamiento es recomendable el uso de marcadores morfológicos para características recesivas en los progenitores femeninos, contrastantes con los masculinos, como el color de la flor que permitan medir la eficiencia de los cruzamientos. La soya presenta flores perfectas y autogámicas, con lo cual,

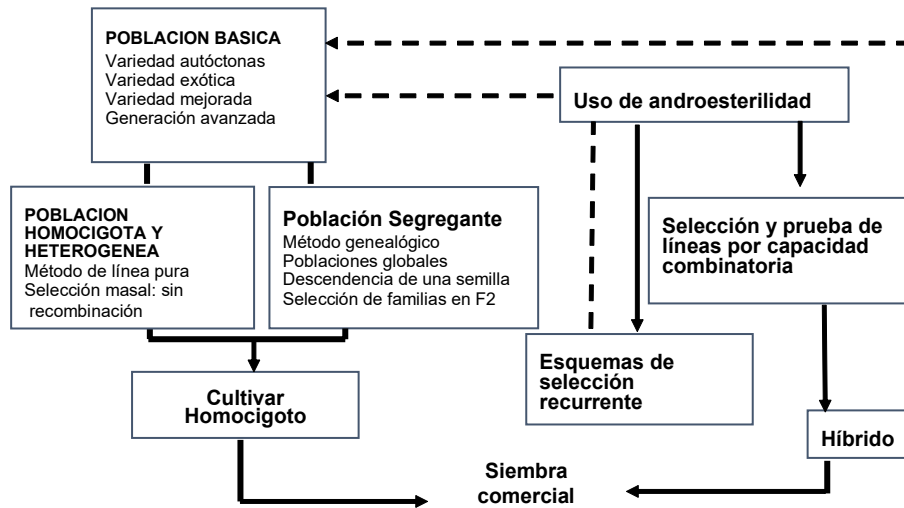


Figura 1. Esquema general de mejoramiento de plantas autogámicas

es necesario la emasculación de la flor de la planta receptora, antes de la emisión del polen, es decir antes de que ocurra la antesis; y el traslado de polen desde la planta donadora.

COMPLEMENTARIEDAD ENTRE MEJORAMIENTO GENÉTICO, DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

No tiene sentido desarrollar un programa de mejoramiento que no contemple las posteriores etapas de desarrollo y producción de semilla. La complementariedad entre mejoramiento, desarrollo y producción de semillas garantizan semillas certificadas, además de la validación del manejo agronómico del cultivar que se ofrece a los productores. Esta trilogía permite a los productores mayor potencial de establecimiento de plántulas en campo con menos carga de patógenos en las semillas que indudablemente redundará en mayor rendimiento. La fase de mejoramiento se consume en sus inicios entre 3 a 5 años, pero una vez consolidado estaría en capacidad de liberar un nuevo cultivar cada dos años.

La validación del manejo agronómico, en la etapa de desarrollo del cultivar de soya que será liberado, requiere entre 1 a 2 años. Es importante desarrollar ensayos de densidad de plantas, época de siembra, aplicación de herbicidas, necesidades de riego para los distintos agroecosistemas en donde se producirá la soya, así como las pruebas de rotación con otro cultivo y como cultivo de segunda al final de la época de lluvia, utilizando cultivares precoces. Una etapa no menos importante es la aplicación de un paquete referencial de tecnología de producción en la que se define el manejo en campo, acondicionamiento, empaclado y comercialización de la semilla (Figura 2).

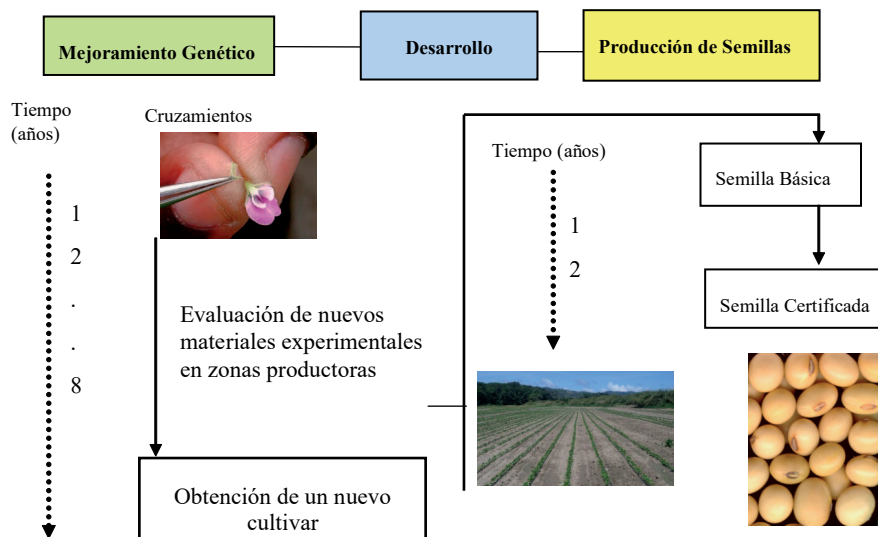


Figura 2. Mejoramiento genético, desarrollo y producción de semillas

La semilla de soya es muy susceptible al deterioro y requiere de un manejo adecuado para garantizar la calidad genética, fisiológica, sanitaria y física. La semilla de soya pierde vigor y germinación con bastante rapidez; el deterioro de la semilla comienza en el campo, antes de la cosecha, continúa con el daño mecánico durante la cosecha, la limpieza y el acondicionamiento y puede acelerarse si no se almacena en condiciones adecuadas de humedad y temperatura. La semilla de soya es altamente higroscópica y rápidamente equilibra su contenido de humedad con la humedad relativa (HR) de la atmósfera que la rodea. Se recomienda cosechar cuando el contenido de humedad de la semilla oscila entre 13 y 15%, para reducir el daño mecánico.

REFERENCIAS

- Embrapa. 1995. El cultivo de la soya en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal N° 27. Roma, Italia.
- FAO. 2006. FAOSTAT. Dirección de estadística. En: <http://faostat.fao.org>
- Fedeagro. 2015. Estadísticas Agropecuarias. Volumen de producción de soya. Años 1997-2013. En: <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>.
- Hartwig, E. 1970. Growth and reproductive characteristics of soybeans (*Glycine max* (L). Merr.) Grown under short – day conditions. Tropical Science. 12: 47- 53.

- Hartwig, E.; R. Kihl. 1979. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybeans for short-day conditions. *Field Crops Res.* 2:145-51.
- Hartwig, E.; K. Hinson; H. Scott. 1988. Registration of 'Padre' soybeans. *Crop Sci.* 28:1025.
- Hernández, A.; R. Guerra; C. Tobía; E. Villalobos. 2013. Evaluación del potencial forrajero de diez cultivares de soya (*Glycine max* (L) Merr) en Venezuela. *Agronomía Costarricense* 37 (2): 45-54.
- INE. 2014. Transición demográfica en la república bolivariana de Venezuela, 2000-2050. En: http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/Censo2011/Boletin_Transicion_Demograf/BoletinTransDemogRBV-2000-2050.pdf:
- Jackobs, J.; C. Smyth; D. Erickson. 1984. International soybean variety experiment. Eleventh report of results. Intsoy Series N° 29, University of Illinois, Il, 168p.
- ONU. 2015. World Population prospects. En: http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf
- Solórzano, P.; J. Muñoz; M. Gamboa. 2005. El cultivo de la soya en Venezuela. Publicación de Agroisleña. Impresión en Litostar. La Victoria, Venezuela. 188 p.
- Tobía. C.; E. Villalobos; E. Rico. 2006. Uso del forraje de soya (*Glycine max* (L). Merr.) Cv. Cigras 06 en la nutrición de rumiantes. En: X Seminario manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal (Memorias). Funda pasto. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. 77- 86 pp.
- USDA. 2013. World agricultural supply and demand estimates. Wasde, USA.522p.
- Villalobos, E.; F. Camacho. 1999. Avances en el mejoramiento genético de la soya en Costa Rica. Cigras-06 y Cigras-10, dos nuevas variedades tropicales. *Agronomía Costarricense* 23(1):61-67.
- Villalobos, E.; F. Camacho, 2003. Registration of 'Cigras-06' soybeans. *Crop. Sci.* 43:1122.