



Traducción:
Adriana Manes

Su majestad el germoplasma

■ Presentación

Creo que una de las cosas o la primera cosa que debería aclarar es que, además de mi tarea docente aquí en la Universidad de Illinois, trabajo en el Servicio de Investigaciones Agrícolas (ARS, por sus siglas en inglés), una pequeña unidad de servicios internos que forma parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Mi participación en la Universidad está vinculada a esa función como empleado del Estado.

Una de las funciones especiales que tiene el ARS es el mantenimiento de un sistema de germoplasma nacional.

Existen cerca de 30 locaciones en todo el territorio de los Estados Unidos con colecciones de germoplasma de una variedad inmensa, desde frutos tropicales a árboles, plantas ornamentales, pastos, cultivos de interés agronómico y agrícola que cubren todo el rango. Hay diversos tipos de esas estaciones y algunas poseen literalmente miles de esas especies. De eso somos parte, como integrantes del **Programa de Colección de Germoplasma de Soja del USDA**.

El departamento otorga subvenciones para los investigadores que validan su postulación, y también financia las actividades del ARS, que, por lo tanto, realiza trabajos de investigación internos. Así es que

nos gusta considerarnos a nosotros mismos como una agencia que resuelve problemas desde el interior mismo del ARS.

■ Focalización

Nuestro trabajo está circunscripto al género *Glycine*, todo lo que tenemos son dos especies anuales y diecinueve especies perennes de *Glycine*: eso es todo. Adquirimos ese germoplasma y hacemos un trabajo de caracterización y de evaluación, para luego distribuirlo a todo el mundo. Como nuestro programa de investigación se focaliza en esta colección, nos dedicamos a definir dos aspectos generales: primero, ponemos nuestro empeño en entender la diversidad de esa colección, lo cual nos ayuda a utilizarla, a detectar los “vacíos” que pueda haber en ella, para así conseguir accesiones adicionales para suplirlos. Por otro lado, tratamos de evaluar si es que existe una variación útil en esa colección y realizamos actividades de mejoramiento genético para trabajar sobre esa variación y hacerla disponible para su uso por parte de personas que se dedican al mejoramiento genético.

■ Usos del banco. Oferta y demanda

Me gusta hacer alarde de nuestra colección. Somos los únicos en el

Sistema Nacional de Germoplasma que anualmente distribuimos más muestras de semillas que el número de accesiones¹ que realmente poseemos en la colección; y lo hemos estado haciendo muy consistentemente a lo largo de más de una década. Tenemos cerca de 22.000 accesiones en nuestra colección, y distribuimos de 25.000 a 35.000 muestras de semillas cada año. En otras palabras, es una colección que tiene mucha demanda.

Las tres cuartas partes de estas muestras se quedan en los Estados Unidos, mientras que cerca del 25% se va a otros países. La mayor demanda es la que se relaciona con resistencia a las enfermedades. Obviamente, pensando en el rendimiento.

■ El rendimiento como objetivo

Aproximadamente seis años atrás hice un estudio realmente profundo de aquello que venía haciéndose en el curso de los últimos quince años, y algunas de las accesiones que más abundaban en nuestra colección y las más solicitadas eran las resistentes al nematodo del quiste de la soja, que parecía ser un problema mayor en muchos lugares. La otra variedad realmente muy solicitada era la William 82, que fue nuestro primer genoma secuenciado y ensamblado. Esas eran las variedades de más alta demanda; en su historia, la

¹ **Accesión:** “Una muestra distinta, singularmente identificable de semillas que representa un cultivar, una línea de cría o una población, y que se mantiene almacenada para su conservación y uso” (fuente: www.fao.org/wIEWS/glossary/es/).

colección ha sido utilizada para lograr resistencia a enfermedades. Cuando llegué aquí se estaba haciendo mucha investigación sobre eso y entonces comenzamos a abocarnos al rendimiento de manera más integral. Hoy, casi todas nuestras investigaciones están focalizadas en maximizarlo. Ha sido un largo proceso, pero en los últimos cinco a diez años hemos logrado avances realmente significativos; tenemos ahora algunas líneas altamente productivas que han surgido del reservorio genético y que hasta hoy son exclusivas del banco. En suma, somos una agencia que cuenta con el gobierno de los Estados Unidos como sponsor y nuestra misión es distribuir semillas a quienes estén interesados en ellas. Ese es el servicio que brindamos al mundo.

■ Fronteras. El caso argentino.

Una de las cosas que pueden interesarles es que tenemos muchísimos problemas al querer enviar semillas a la Argentina. Ha pasado mucho tiempo, pero probablemente más de una década atrás impusieron requerimientos muy extraños para las importaciones: esencialmente tenemos que certificar que las semillas están libres de toda enfermedad, inclusive de algunos virus, lo cual es prácticamente imposible, porque algunos de estos virus solo pueden detectarse si destruimos la semilla, porque se transmiten en tasas muy bajas: quizás en un 1% a 2%. De modo que si necesitáramos determinar estadísticamente que el material no presenta ese 1% o 2%, ¡deberíamos poseer aun una mayor cantidad del que puede proporcionar la colección entera para probar eso! Eso es un gran problema, y parece que incluso hay cada vez más países que están exigiendo lo mismo.

■ Límites

¿Hay un techo evidente en materia de rendimiento? No lo sabemos aún. Hace más o menos 15 años escuchamos

comentarios de que habíamos llegado a una meseta en lo que a rendimiento se refiere, de que ya no estábamos haciendo ningún progreso. Trabajando con Brian Diers, uno de mis colegas aquí en la Universidad, y con otros varios más nos involucramos en una investigación en la que estudiamos todas las variedades desde los años 1920 en adelante hasta los años 2000, década por década, y las cultivamos en muchos ambientes, una al lado de la otra. No hay ninguna evidencia en esos datos, ni en los de producción que el gobierno de los Estados Unidos recolecta, de que estemos llegando a una meseta. Lo que sí me parece interesante de todos modos es que si nos fijamos en todos los recursos que se están invirtiendo en el mejoramiento de la soja, en comparación a los que se invertían 15 años atrás, nuestros logros no han cambiado en esencia desde los años 1970. Y ahora tenemos muchos más programas de mejoramiento, de mayor envergadura, y tenemos cualquier tipo de tecnologías disponibles, no solo la genética, sino también tecnologías para su uso en el campo, programas de computación...

Estamos trabajando mucho más y lo que resulta es que estamos haciendo el mismo avance.

Bueno, tenemos que considerar que en el medio ha pasado mucho. Cincuenta años atrás estábamos preocupados quizás por la podredumbre del tallo por *Phytophthora*. Ahora tenemos todas estas enfermedades y eventos que debemos incorporar a los objetivos del mejoramiento genético. Y ya se sabe, cada vez que se agrega un objetivo más, más difícil resulta ver pronto los avances. En parte es eso, pero me parece que con toda la tecnología que poseemos deberíamos estar haciendo mayores avances en materia de rendimiento. Ocurre que poseemos una base genética muy limitada, con muy pocas especies ancestrales; el trabajo que estoy haciendo para

¿Germoplasma vs. transgénesis?

Hoy el aporte biotecnológico ocupa un alto porcentaje de las investigaciones; ahora, en cuanto a si es el germoplasma lo más importante o si lo son los aportes biotecnológicos para su modificación, tengo una posición muy subjetiva y parcial acerca de eso: para mí, el germoplasma es más importante, la base. Digo, hasta ahora lo ha sido. En cuanto a la transgénesis y en lo que se refiere a la soja, hoy solamente se pueden apreciar dos resultados biotecnológicos, dos acciones: una es para la resistencia a herbicidas y otra para insectos, que no se ha utilizado en los Estados Unidos, aunque sé que es muy importante para ustedes en la Argentina. Ahora se está empezando a comercializar un evento transgénico para la producción de aceite de calidad, la soja con mayor contenido de ácido oleico. Pero hasta ahora casi todos los esfuerzos se han concentrado en la resistencia a herbicidas. Eso ha sido sin duda muy conveniente para los productores y ha sido recibido con mucha aceptación. Pero estamos hablando de uno solo, que no ha tenido ningún otro efecto que el de control de las malezas y la simplificación de los procedimientos para lograrlo... por un tiempo.

Vistas todas las cosas que necesitamos, la biotecnología o, mejor dicho, la transgénesis, no ha hecho en ese aspecto hasta ahora una contribución muy grande más allá del ámbito del control de malezas.

Esto no quiere decir que el aporte biotecnológico sea desdeñable, ni mucho menos; la interacción con la biotecnología y la computación es cada vez más dinámica y más estrecha, especialmente en lo que respecta a los aportes al mejoramiento convencional. Solo resalto el hecho de que, para mí, el germoplasma, el resultado biológico de la experiencia de la planta, ha sido siempre lo más importante.



ampliar esa base muestra mayores progresos que un programa de mejoramiento genético convencional, basado en los datos que tengo. En eso se evidencia la ventaja de la introducción de herramientas genéticas, biotecnológicas, en este trabajo, como puede serlo el uso de marcadores moleculares.

■ Cruzamientos

Estamos usando variedades que fueron liberadas en China; las analizamos y analizamos a sus variedades ancestrales. Lo que encontramos es que aun cuando ellos seleccionaron sus ancestros en aproximadamente los mismos ambientes y los mismos momentos que en los Estados Unidos, esos ancestros son bastantes diferentes genéticamente. Los chinos han estado mejorando genéticamente sobre la base de ese acervo genético durante 80 años, y nosotros lo hemos estado haciendo a partir del nuestro también durante 80 años. Así que he logrado cruzas con algunas de esas variedades y han tenido un muy buen desempeño aquí. Hay otro tipo de variedades al que les llamo variedades primitivas: la soja ha sido domesticada, por lo que solamente sobrevive gracias a los seres humanos. Las primitivas son producto de procesos de mejoramiento pre-científico de plantas de hace más de 100 años; hemos utilizado algunas de ellas y hemos tenido algo de éxito en eso. También hemos trabajado con la soja silvestre: hemos puesto un menor empeño en esto último, pero es en ese punto que podemos volver al rendimiento de la línea parental de soja, incluso un poco más por encima de este, aunque no nos hemos dedicado a analizar esta cuestión estadísticamente. Pero una de las cosas que sí hemos logrado hacer es regresar al rendimiento de la línea parental e incluso hacer que las variedades tengan una maduración significativamente

más temprana; incluso en un caso estudiamos los marcadores SNP de la soja silvestre en la doméstica, y en estas líneas derivadas de soja, que tenían el mismo rendimiento que la parental, tuvimos más del 50% de los marcadores SNP de la soja silvestre. Y estábamos usando 1500 marcadores SNP en ese momento. Entonces introdujimos mucha diversidad, le dimos maduración más temprana y rindieron lo mismo. Es decir, no hemos demostrado que podamos obtener un alto rendimiento a partir de la soja silvestre. Estamos trabajando aún en eso y no tengo dudas de que vamos a lograrlo, porque en todas esas variedades silvestres medimos la diversidad solamente utilizando recursos genéticos, marcadores de ADN, y descubrimos una diversidad muchísimo mayor que en la soja domesticada, aun cuando fenotípicamente todas ellas sean casi idénticas: tienen distintos tipos de maduración, pero son todas rastreras, tienen la misma pubescencia, color de flor; presentan diferencias en las hojas, pero fenotípicamente la diversidad en la soja domesticada es mayor que en la soja silvestre. No obstante, genotípicamente pasa lo contrario. Por eso pensamos que hay un gran potencial allí.

Otra cosa que hemos hecho es trabajar con el Dr. Ram Singh, quien ha desarrollado procedimientos para la cruz con las *Glycine perennes*, que en realidad no son soja: son parientes muy, muy remotas de otro subgénero. Bueno, inicialmente estábamos interesados solamente en saber si podíamos hacerlo, queríamos acceder a una fuente de diversidad única que nadie más estaba usando y obtuvimos un buen nivel de resistencia a enfermedades, de modo que hicimos cruzas con otras líneas resistentes al nematodo del quiste de la soja. Más bien, con una línea que tenía resistencia al nematodo del quiste de la soja y a la

roya, y si transferimos roya, aunque tenemos datos que indican que es en un locus que quizás ya conocemos; no sabemos si es un alelo diferente. Pensamos que habíamos transferido resistencia al nematodo del quiste de la soja, pero con pruebas posteriores nos dimos cuenta de que aún no lo hemos logrado. Esa es una parte difícil. Pero lo sorprendente es que descubrimos que habíamos llegado a un rendimiento increíblemente alto. Y tomentella también es una pequeña planta rastrera perenne, que tiene semillas diminutas, pero ahora tenemos líneas de soja que tienen el mismo tipo de maduración que nuestra línea parental pero con un rendimiento superior en 3,5 “bushels” por acre. Además, tenemos líneas que si bien maduran una semana más tarde, tienen un rendimiento superior en 8 a 9 “bushels”². En nuestro Estado es probablemente levemente superior a 50. Acabo de ver el valor nacional y es 3,2 tn, así que es sustancialmente menor.

■ Líneas promisorias

Bueno, ¿pero saben lo que es realmente sorprendente? Si cruzamos dos variedades de soja y obtenemos un incremento de 2, 3 o 4 “bushels” por acre, sería realmente grandioso. Entonces estamos haciendo cruzas con este pariente muy lejano y estamos obteniendo mucho más con eso. Es algo que nunca habíamos esperado. Así que puedo decirles que estamos recién comenzando a estudiar estas posibilidades. Cuando empezamos con este trabajo, hace más de una década, nos encontramos con varias y diferentes líneas de soja, y la única que usábamos era la llamada Dwight, que fue una variedad desarrollada en Illinois. La razón por la que nos limitamos a ella era porque era la más fácil de utilizar: había que hacer cruzas con ella, mantener las vainas en la planta durante aproximadamente tres semanas, pulverizar con hormonas especiales para que no aborten,

² El **bushel** es una unidad de medida de capacidad para mercancía sólida o líquida en los países de habla inglesa. Se utiliza en el comercio de granos, harinas y otros productos análogos. La medida de un bushel en EE.UU. es de aproximadamente 35 litros que en soja representan aproximadamente 28 kg.

luego había que escindir las semillas, ponerlas en un cultivo y transformarlas en callo; luego se cultivaban las plantas. Así obtuvimos una planta, pero con solo una copia de los cromosomas, y en realidad la planta de tomentella que estamos usando tiene 78 cromosomas, mientras que la soja tiene 40; es un tetraploide menos en cada par. Pero sea cual fuera la razón, parece ser que es más fácil usar esa variedad. Teníamos otras variedades, pero no parecían cruzarse tan bien.

■ Desarrollos públicos y privados

Tenemos una buena relación con las empresas privadas en nuestro país. Dado que prácticamente todas las variedades que cultivamos han sido producidas por las empresas comerciales, si queremos cambiar la producción de soja en los Estados Unidos, tenemos que cambiar las prácticas de mejoramiento genético en las compañías que comercializan soja. Por eso hacemos que nuestro material esté disponible para todo el mundo, inclusive para ellos. Porque queremos que ellos hagan cruza con nuestras líneas, porque es de esa manera que nuestro material va a tener un verdadero impacto. En consecuencia, ellos usan nuestro material; según lo que sé, todavía no ha liberado ninguna variedad producto de estas cruza, pero creo que lo están tomando más seriamente, en la medida en que nuestras líneas van mejorando.

Hemos trabajado en esto durante 35 años. En esos primeros ciclos de mejoramiento estábamos solamente tratando de retornar a la línea parental. Luego hicimos nuestra primera liberación de germoplasma alrededor del 1998, según creo, y en ese momento, en términos de pedigrí teníamos una cantidad sustancial de material exótico, pero solamente rendía un 90% del rendimiento del mejor testigo en el ensayo regional. Pero a esas alturas se trataba de algo bastante excitante: habíamos introducido material nuevo y habíamos logrado un rendimiento

dentro del 90% del rendimiento de la mejor variedad testigo. Ahora también participamos con nuestro material en el ensayo regional, donde todos los mejoradores ponen sus mejores productos. En estos dos últimos años, nuestra mejor línea ha obtenido el rendimiento más alto en el ensayo de variedades del Grupo de Madurez IV, con un rendimiento que se encuentra más de un 10% por encima del rendimiento del mejor testigo. En un período de alrededor de 20 años, hemos pasado de estar un 10% por debajo del mejor testigo a estar 10% por encima de él. Así es que durante la mayor parte de la última década hemos tenido la línea de mayor rendimiento en el ensayo del sector público. Y eso ha captado la atención del sector privado.

La otra cosa es que allí no estamos prestando atención a factores como la resistencia a enfermedades o a otros factores, excepto rendimiento. Pero en los ensayos que llamamos nuestros "Uniform Tests" (Ensayos Uniformes), las líneas son testeadas en toda la región productora de soja a la que están adaptadas, y salieron como un 10% mejores que el mejor testigo en cuanto a resistencia a *Phytophthora* y al nematodo del quiste de la soja. En los ambientes en los que la enfermedad puede o no estar ocurriendo, estamos haciéndolo muy bien. Ahora, si ponemos nuestras líneas bajo las peores condiciones, quizás no lo harían tan bien. Es por eso que no liberamos ciertas variedades con resistencia al nematodo, porque no tienen el conjunto de rasgos que la gente querría en ellas. Pero en cuanto a rendimiento, creo que son unos recursos únicos e importantes y estamos tratando de promoverlas, porque consideramos importante que empiecen a utilizarse.

■ Podredumbre por *Phytophthora*

Al parecer en Illinois ya no es tanto un problema como lo era antes. Aquí en Urbana, y en el centro de Illinois,

raramente vemos grandes pérdidas ocasionadas por esa enfermedad. Creo que más hacia el este sigue siendo un problema; en Indiana, en Ohio, la gente sigue buscando nuevas fuentes de resistencia. Pero es interesante ver cómo las enfermedades parecen tener ciclos. Esa fue esencialmente la primera enfermedad que encontramos en soja, alrededor de fines de los años 50. No estoy muy al tanto de esas cosas como lo está otra gente, pero ciertamente no vemos podredumbre aquí, y en términos de mejoramiento genético no es un factor tan importante como otras enfermedades. Vemos que en ciertos lugares algunas enfermedades llegan a su apogeo hasta que encuentran "sus enemigos", o hasta que algo las ataca. Claro que influyen los cambios en las prácticas del cultivo y en las variedades. Pero el cambio climático sin dudas ha influido también, en este caso, como limitante de la enfermedad

■ Resistencia a sequía

No estamos trabajando con ese aspecto en particular, pero hay otro grupo que lo está haciendo. Tommy Carter es uno de aquellos que propulsaron este trabajo, y luego hay un fisiólogo, Larry Purcell, de la Universidad de Arkansas, y también Thomas Sinclair. Todos ellos han trabajado con la resistencia a sequía y creen haber encontrado unas líneas que responden de manera diferente a las sequías en términos de marchitamiento y transpiración. En cuanto a programa en sí, creo que no se ha liberado ninguna variedad, pero creo que están liberando más bien germoplasma. Creo que es algo muy difícil, porque es difícil trasladar eso al campo y evaluar constantemente si está funcionando. Pero han estado trabajando a largo plazo y parece que han logrado algunos avances. Y ciertamente podemos anticipar que la sequía va a ser un problema importante en el futuro.