

Nuevas alternativas para DINAMIZAR EL MEJORAMIENTO DEL ALGODÓN DE FIBRA EXTRA-LARGA *Gossypium barbadense* MEDIANTE ANÁLISIS DE ASOCIACIÓN GENÉTICA

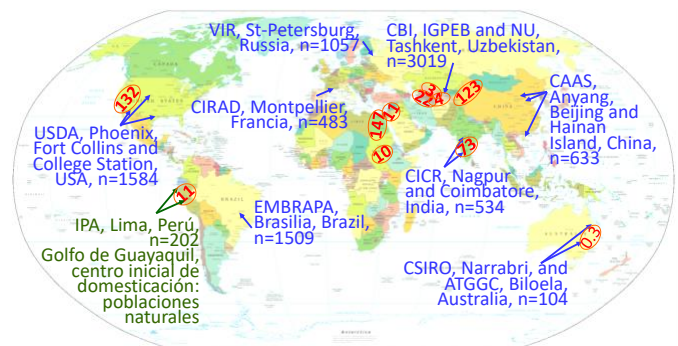
Christopher Viot, Juan Lazo, Dominique Dessauw, Arturo Tavera, Ysabel Montoya¹

El Perú es un productor de algodón de fibra extra-larga de la especie *Gossypium barbadense* L., de calidad internacionalmente reconocida. Progresos genéticos importantes son ahora muy deseados y la creación varietal podría beneficiar mucho con una utilización facilitada y más intensiva de los recursos genéticos mediante la genética de asociación y herramientas de genética molecular.

El algodón de fibra extra-larga

El algodón es un cultivo de alta importancia a nivel mundial, en primer lugar por el valor global de su producción de fibra – la primera fibra textil natural a nivel mundial - y también de aceite y varios sub-productos tales como alimento animal, cosméticos, etc. La fibra extra-larga, de la especie *Gossypium barbadense* L., representa solamente alrededor del 3-4% de la producción mundial de fibra de algodón; es sin embargo muy importante para la industria textil por su alta calidad.

Es de alto interés alcanzar **progresos genéticos significativos** en caracteres agronómicos y de calidad de fibra en variedades de *G. barbadense*, y un **uso más intensivo de los recursos genéticos**² en la obtención de nuevas variedades permitiría realizar más rápidamente los mejoramientos buscados. Las nuevas herramientas de genética molecular y los análisis



Gráfica 3. Zonas de producción de algodón extra-largo y largo (x1000 t de fibra/año), en rojo, y principales centros de recursos genéticos de *G. barbadense* (número de accesiones en banco de germoplasma), en azul. Ciertos centros importantes de recursos genéticos de la especie de algodón *G. barbadense* están ubicados en países sin producción de algodón extra-largo.

bioestadísticos tienen mucho potencial para alcanzar estos objetivos.

Mejoramiento varietal y recursos genéticos

El mejoramiento varietal de los cultivos es desde hace siglos el **más potente factor de progreso de la agricultura**³ permitiendo, a bajo costo, mejorar los rendimientos y la calidad de la producción, o adaptar el cultivo a nuevas condiciones. Para **pequeños agricultores**, es a menudo, el factor de progreso más accesible económicamente. El interés potencial del mejoramiento varietal es, en particular, enorme frente a los **desafíos agronómicos** del cambio climático global, de la extensión de enfermedades e insectos plagas en nuevas áreas o

¹ Christopher Viot, CIRAD, UMR AGAP, F-34398 Montpellier Cedex 5, France, christopher.viot@cirad.fr.

Juan Lazo, Director del Programa de Investigación, Instituto Peruano del Algodón – IPA, Av. San Borja Norte 549 Oficina 202, Lima, Perú, jlazo0509@yahoo.com.mx.

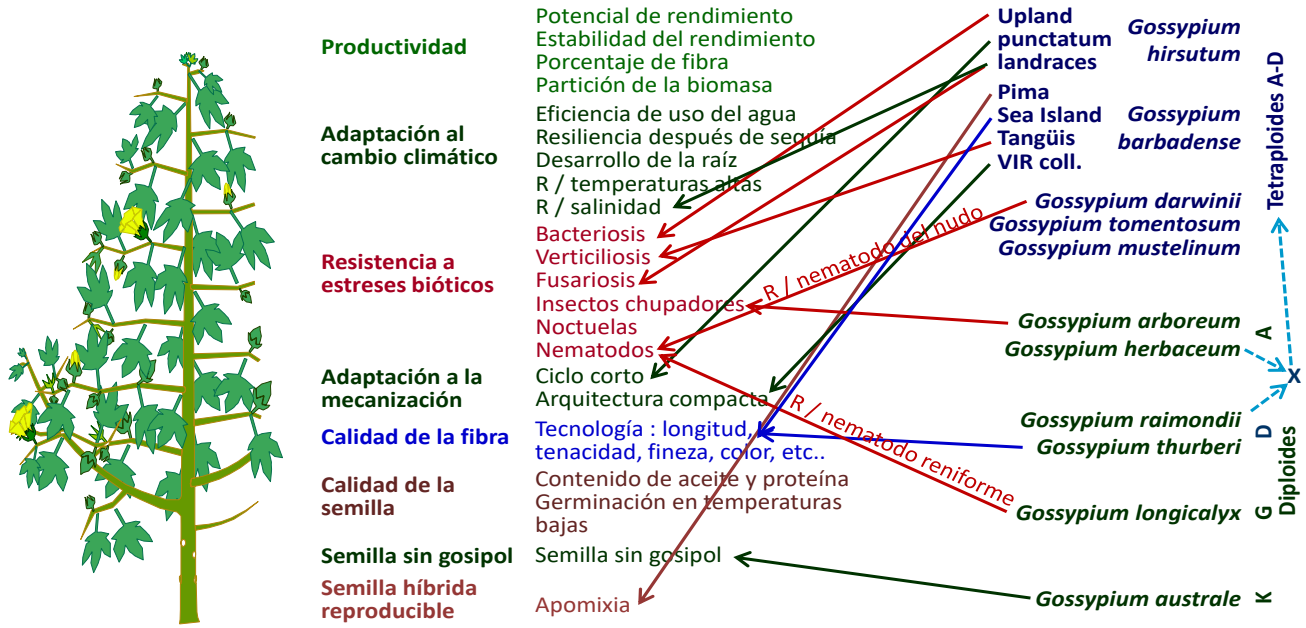
Dominique Dessauw, CIRAD, DGDRS-VALO, F-34398 Montpellier Cedex 5, Francia, dominique.dessauw@cirad.fr.

Arturo Tavera, Unidad de Cultivos Industriales, Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Av. La Molina 1981, Ap. Postal 2791, La Molina, Lima, Perú, atavara@inia.gob.pe.

Ysabel C Montoya Piedra, Bio Links, Av. Javier Prado Oeste 844, Magdalena, Lima, Perú, ymontoyap@gmail.com.

² Se define "recursos genéticos", o "germoplasma", como el material vegetal de potencial utilidad para el mejoramiento genético de una especie cultivada, dentro de la diversidad biológica de esta especie vegetal y eventualmente especies próximas. Prácticamente, es el material en colecciones locales (por ej. germoplasma de programas de mejoramiento varietal), en colecciones ex-situ (accesiones en bancos de germoplasma), y de poblaciones naturales, que pueda ser cruzado y presente caracteres interesantes; es equivalente a la agrobiodiversidad (Allem 2000).

³ Ya en la novela de 1726 *Los Viajes de Gulliver*, Jonathan Swift hacía decir al rey de Brobdingnag que "...quienquiera que pueda hacer crecer dos espigas de trigo, o dos briznas de hierba, sobre una superficie de suelo donde una sola crecía antes, merecería más de la humanidad, y haría un servicio más esencial a su país, que la raza entera de políticos puestos juntos."



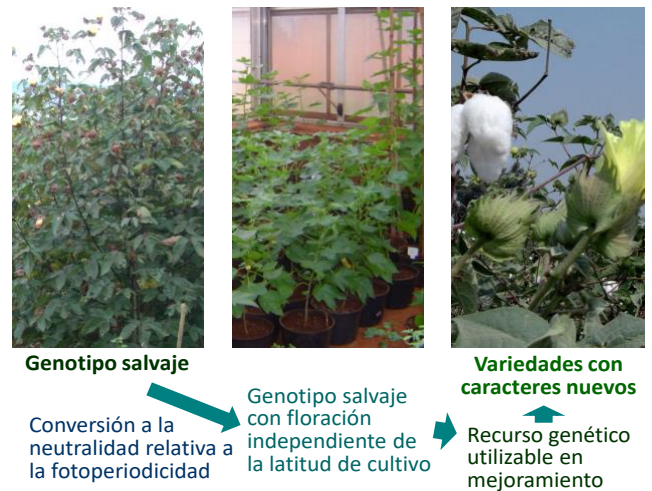
Gráfica 1. Metas de mejoramiento varietal del algodón *G. barbadense* y soluciones genéticas identificadas en las especies diploides o tetraploides del género *Gossypium*. El gráfico presenta una lista de caracteres para los cuales se necesita o desea variedades mejoradas de *G. barbadense*. Las flechas indican ejemplos de fuentes de genes mejoradores identificadas dentro de los recursos genéticos (incluyendo aquí las especies diploides o tetraploides del género *Gossypium*). Los caracteres potencialmente útiles, identificados por observación directa, en los recursos genéticos son más de base genética simple (determinismo por un o dos genes, u oligogénico), tal como resistencias a enfermedades por ej. Los caracteres interesantes de determinismo genético complejo (con base genética de varios genes independientes, o poligénicos), tales como el rendimiento agrícola o la calidad de la fibra, son más bien detectados con metodologías estadísticas.

la aparición de nuevas plagas, del requerimiento para cultivos más económicos en agua y otros medios de producción, y de la necesidad de una productividad creciente por hectárea en relación con la demografía mundial, para citar las preocupaciones más actuales en la agricultura.

El mejoramiento varietal se realiza integrando nuevos genes o combinaciones de genes, y la materia básica esencial para eso proviene de los recursos genéticos a los que los genetistas tienen acceso. Se pueden crear también genes nuevos por mutación artificial, y, aún más notable, se pueden obtener variedades "transgénicas" por transferencia de genes de origen totalmente extraño al germoplasma de la especie mejorada, pero estos métodos todavía permiten sólo mejoramientos muy puntuales.

En el algodón de fibra extra-larga *G. barbadense*, los recursos genéticos son todavía poco valorizados en el mejoramiento varietal. Eso se debe a un insuficiente estudio de los caracteres potencialmente útiles presentes, al costo y periodo prolongado necesarios para utilizarlos con métodos clásicos de genética, especialmente si los recursos tienen características silvestres, y con un tamaño excesivo de los germoplasmas, insuficientemente estructurados y así mantenidos, explorados y explotados de manera muy poco eficiente. Paralelamente, hay un atraso, en relación con otros cultivos importantes, en el uso de la selección asistida por marcadores moleculares (SAM).

La transferencia de genes entre especies cercanas puede ser más o menos fácil, según el determinismo genético simple o complejo del carácter. Por ejemplo, genes de resistencia a

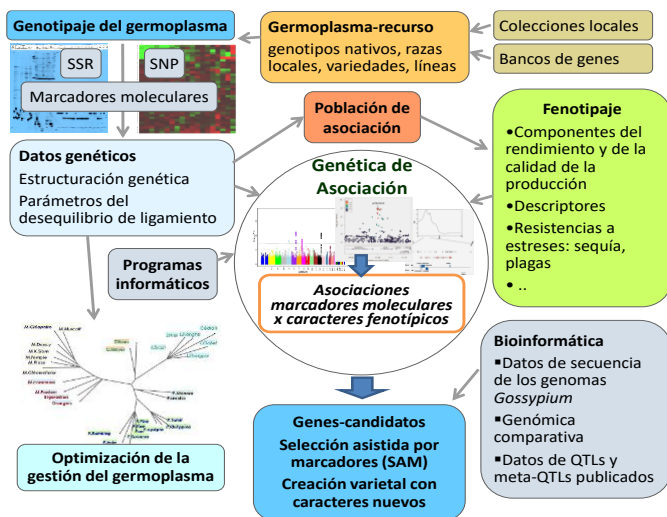


Gráfica 2. Volver utilizables los genotipos nativos. Ciertas características de las plantas nativas dificultan su uso directo como fuentes de genes útiles, en particular el fotoperiodismo, o necesidad de un ritmo diario especial de luz y temperatura para la floración. Volver las plantas neutrales relativamente al fotoperiodo es una tarea larga y entonces costosa, y un tipo de trabajo que consecuentemente no hacen las empresas privadas de fitomejoramiento. De manera general, es el sector público quien se encarga de la primera domesticación de los germoplasmas silvestres y su estudio inicial, antes de ponerlos a disposición de los programas de mejoramiento.

enfermedades han podido ser transferidos en varios casos, mientras caracteres de rendimiento o de calidad de la fibra se transfieren muy difícilmente.

En el interior aun de la misma especie *G. barbadense*, la utilización de los recursos genéticos no es directa si las plantas provienen de **poblaciones nativas**: Ciclo o tamaño de planta excesivos y fotoperiodismo (ver adjunto), van a dificultar y frenar la transferencia de los genes útiles dentro de nuevas variedades. Así, los genes más fácilmente aprovechables directamente son aquellos identificados dentro del **germoplasma mejorado**. Pero los genes de las **plantas nativas**, o silvestres, podrían aportar caracteres mucho más interesantes en cuanto a resistencias, y las herramientas de genética molecular presentan el gran interés de facilitar mucho la transferencia de esos genes hacia el germoplasma mejorado, una vez realizada la localización precisa a lo largo del genoma.

La domesticación del algodón extra-largo tuvo inicialmente lugar en la región del **golfo de Guayaquil** en el norte del Perú, en donde poblaciones naturales todavía existen. El Perú posee **recursos genéticos claves**, con mucho potencial para el mejoramiento varietal.



Gráfica 4. Organigrama de un programa de genética de asociación en los recursos genéticos para el descubrimiento de genes útiles. Los diferentes elementos de un programa de asociación genética para una especie vegetal cultivada son presentados aquí de manera esquematizada: 1) definición de una población de estudio dentro de los recursos genéticos, 2) genotipaje, estructuración de la población (similitudes entre genotipos) y definición de una "población de asociación" (tamaño deseado 250 genotipos para estudios de asociación de una potencia satisfactoria), 3) fenotipaje (cuantificación de caracteres agronómicos, de calidad de la fibra), 4) estudio de asociación genética con programas informáticos y análisis de los resultados para elucidar las bases genéticas subyacentes de la variabilidad de los caracteres de interés y definir "genes-candidatos", utilizando la bioinformática y los datos de secuencia y anotación del genoma del algodón.

Análisis de Asociación genética

Un método muy interesante que se desarrolla desde hace pocos años, es la asociación genética, la cual permite establecer la relación estadística entre variables genéticas de una población y un fenotipo o carácter determinado, por ejemplo: longitud de fibra etc. Fue inventada al inicio para estudiar las bases genéticas de las enfermedades humanas, y aparece ahora muy adecuada para estudiar el determinismo genético de caracteres complejos en colecciones de plantas cultivadas y localizar genes útiles dentro de recursos genéticos.

Genes mejoradores para la mayoría de los caracteres de interés son observados en los recursos genéticos (gráfica n° 1), pero todavía más dentro de las especies cercanas de *G. barbadense*. Los estudios de asociación genética permitirían explorar la variabilidad dentro del germoplasma de la especie misma, dando genes directamente transferibles.

La organización de un estudio de asociación genética es presentada en la gráfica n° 4. Para el **genotipaje**, algunas metodologías empiezan hacerse accesibles para tener suficientes marcadores del ADN (el algodón tiene un genoma bastante grande) con rapidez y costos bastante bajos. Por su lado, el **fenotipaje** es un aspecto esencial del estudio; los rasgos pueden ser caracterizados a nivel del campo o en laboratorio por estudios de fisiología y de calidad de la fibra. Los análisis de asociación permiten después localizar genes relacionados con características interesantes. Según el determinismo oligogénico o poligénico, el origen en germoplasma mejorado o silvestre, se elaboran **estrategias para aprovechar los genes útiles** en mejoramiento varietal, con ayuda de las herramientas de genética molecular para la transferencia de genes desde genotipos silvestres y de genes numerosos en el caso de determinismo poligénico.

Los datos de genotipaje son muy interesantes para **estructurar los recursos genéticos** de la especie *G. barbadense*. El concepto de **colección-base** o *'core-collection'* se refiere a un conjunto de tamaño manejable, optimizando la representación de la diversidad en relación con los costos de su gestión y estudio.

En resumen

El poder de la asociación genética para descubrir genes interesantes, el costo más y más accesible del genotipaje con marcadores moleculares, y el acceso al conocimiento de la secuencia del genoma del algodón que empieza a ser publicada, posibilitarían ahora identificar, dentro de los recursos genéticos del algodón de fibra extra-larga *Gossypium barbadense*, genes mejoradores para resistencias a estreses bióticos y abióticos, rendimientos superiores por hectárea, precocidad, y adaptación a la mecanización y al cambio climático, en particular, y así obtener **variedades de algodón mucho más atractivas y rentables para los agricultores** y volver a desarrollar este cultivo en el Perú. Los datos genéticos ayudarán también en la estructuración de los recursos genéticos, en la optimización de su gestión y utilización, y en una mejor protección de la diversidad genética para el futuro.