

**Déborah Rondanini,
Nora Gómez, Pilar Vilaríño,
Javier Botto y Daniel Miralles.**

Facultad de Agronomía,
Universidad de Buenos Aires.

La colza avanza a pasos firmes

Lograr una mayor estabilidad en rendimiento y calidades el principal desafío que enfrenta el cultivo. El estudio de caracteres agronómicos en poblaciones de mapeo como herramienta para alcanzarlo.

Palabras Claves:

Colza; Estabilidad
rendimiento y calidad;
Adaptabilidad genotípica y
fenológica; QTL; GWAS.

1- Avance de la colza en Argentina

La colza es la tercera oleaginosa de importancia mundial, después de la palma y la soja. En la Argentina, donde aún tiene poca difusión, lentamente ha comenzado a generar un mayor interés y perspectivas de crecimiento. La superficie sembrada aumentó en las últimas campañas, con un record cercano a 100.000 hectáreas, al tiempo que se aumentaron los rendimientos y la capacidad industrial, y se estableció un mercado con precios más transparentes. El crecimiento de la colza y otros cultivos invernales (como cebada, arveja y garbanzo), estuvo relacionado con la caída de la superficie de trigo (Figura 1), a su vez vinculada a su precio intervenido y alto nivel de retención (Tabla 1).

La colza tiene condiciones agronómicas y comerciales para aumentar la producción. Además de las mejoras en genética y manejo - que elevaron los rindes promedio del cultivo en el país a 1800 kg/ha, respecto de los 1400 kg/ha históricos -, la colza es el único cultivo oleaginoso que se siembra en invierno (lo cual permite proveer a la industria aceitera en épocas de capacidad ociosa) y representa una alternativa

Evolución del área sembrada con cultivos invernales en las últimas campañas. Fuente: Minagri.

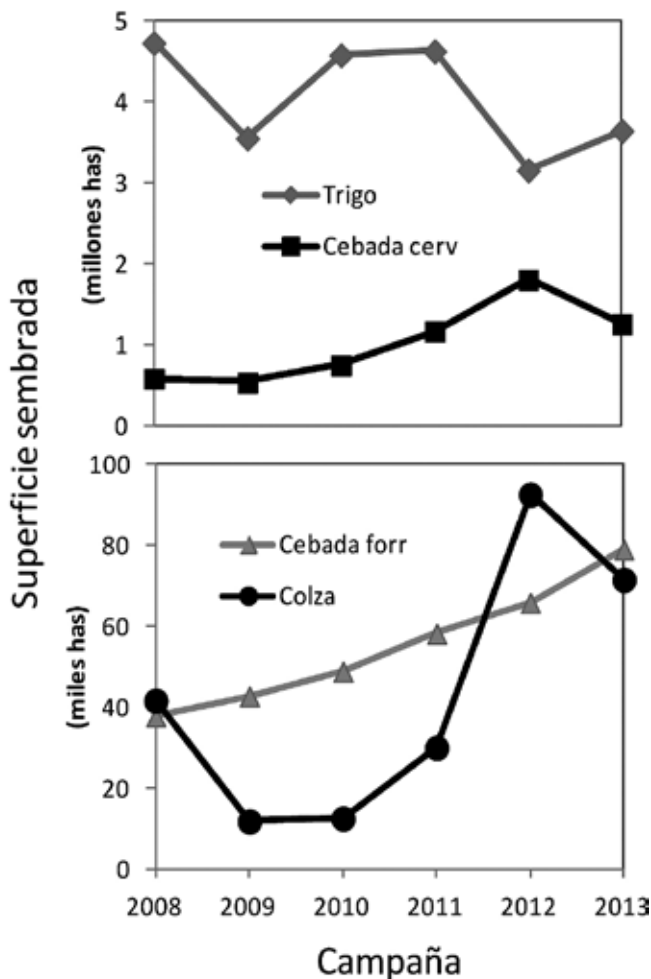


Figura 1

Porcentajes de retención y reintegros por derechos de exportación de granos y subproductos.

Derechos de exportación		Retención (%)	Reintegro (%)
Cultivos invernales	Trigo	23% grano 13% harina	-- --
	Cebada	20% grano 10% malta	-- 3%
	Colza	10% grano 5% aceite 5% harina y pellet	-- -- --
	Garbanzo	2.5% grano	4%
Cultivos estivales	Soja	35% grano 32% aceite 32% harina y pellet	-- -- --
	Girasol	32% grano 30% aceite 30% harina y pellet	-- -- --

Tabla 1

a la rotación trigo/soja, con la ventaja de liberar el lote hasta un mes antes que los cereales invernales y dejarlo disponible para sembrar, mas tempranamente, un cultivo de segunda (soja, maíz, sorgo).

Como regla general y a nivel global, se puede esperar que la colza rinda el 40-50% del rinde de trigo en ambientes buenos, mientras que en ambientes pobres, el rinde de colza puede crecer al 70-80% que el del trigo, con mayor variabilidad (Figura 2).

Rendimiento de colza relativo al de trigo en un rango de ambientes de distinta calidad (1000-9000 kg/ha de trigo) para Argentina, países americanos (Brasil, Chile, Canadá y USA), países europeos (Alemania, Francia, Reino Unido y Polonia) y P. de Asia y Oceanía (China, India y Australia). Fuente: Rondanini *et al.* (2012) [1].

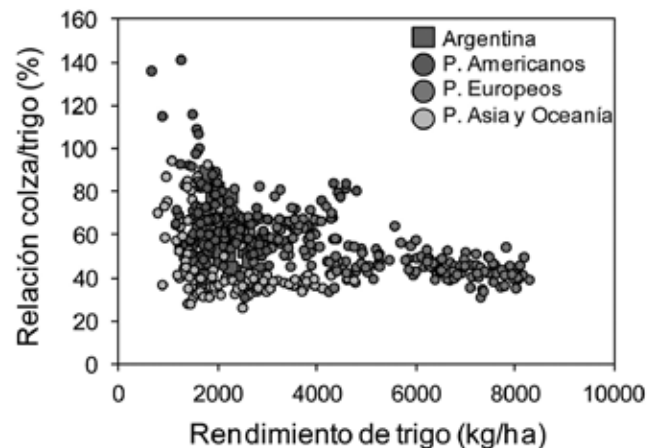


Figura 2

2- Los desafíos para estabilizar el rendimiento

2.1- Adaptabilidad genotípica y fenológica

Una vez elegido el lote donde se va a implantar el cultivo, variables de manejo como: (i) la elección del cultivar (variedades o híbridos), (ii) la elección de la fecha de siembra y (iii) la densidad son claves, ya que constituyen el primer eslabón en la toma de decisiones de una cadena que nos llevara al éxito o al fracaso del cultivo. Una vez definidos los aspectos mencionados, otras limitantes vinculadas a este cultivo son particularmente preocupantes, como la eficiencia de implantación (asociada al tamaño de la semilla, la elección del lote y la profundidad de siembra), la cantidad de fertilizante a ser aplicado en función de la demanda, los problemas de aparición de malezas y enfermedades y, finalmente la decisión de cosecha sin que se produzcan importantes mermas por desgrane.

Sin duda, el primer punto a definir es el cultivar (variedad o híbrido) que se va a sembrar. Para ello es clave conocer la fenología de los materiales, o sea, cuál es la duración de las distintas etapas fenológicas del ciclo del cultivo. Esto permite establecer la ocurrencia de los distintos eventos ontogénicos y la ubicación del período crítico para la definición del rendimiento, que variará según el genotipo elegido y el ambiente en el cual se desarrolle.

Actualmente en Argentina se comercializan cultivares que podríamos clasificarlos en ciclos largos, intermedios y cortos de acuerdo a su duración. Sin embargo, dicha clasificación es relativa ya que la duración de los ciclos puede ser alterada en respuesta a los factores del ambiente. De este modo, cultivares clasificados como intermedios en un ambiente podrían ser cortos en otros, o incluso podrían pasar a ser caracterizados como largos en otro tipo de ambiente (localidad/ fecha de siembra). Por ello, es clave conocer el mecanismo por el cual cada material responde al ambiente y determina su duración. Entre los factores del ambiente que inciden sobre la duración del ciclo encontramos la temperatura, el fotoperiodo (duración del día) y la vernalización (acumulación de horas de frío).

De las variables mencionados, la temperatura es la única que afecta a todos los cultivares a lo largo de todo el ciclo: a mayor temperatura, menor duración del ciclo. En cuanto a su respuesta al fotoperiodo, colza es una especie “de día largo” y es sensible principalmente en las etapas más tempranas del ciclo, desde emergencia hasta botón floral visible (Figura 3). Así, la mayor variabilidad en el periodo entre emergencia y madurez fisiológica - debido a los cambios en la duración del día o fotoperiodo - está dada por la sensibilidad en su etapa previa a la floración. Al igual que lo descripto para el factor temperatura, cuanto más larga es la duración del día a la que se expone la etapa sensible, menor es la duración del ciclo (Figura 3). Por otro lado, es importante considerar que hay diferencias en la sensibilidad al fotoperiodo (tasa de reducción de la etapa por día de atraso en la fecha de siembra y/o al fotoperiodo) entre materiales. Generalmente los materiales de ciclo más largo presentan mayor sensibilidad al fotoperiodo respecto de los más cortos [2].

La vernalización es una característica adaptativa que hace que los cultivares “invernales” tengan un periodo vegetativo prolongado, generando una cantidad importante de hojas. Esta propiedad hace que el tiempo a floración se prolongue en mucha mayor medida que en los materiales “primaverales”. Poco se sabe sobre la cuantificación

Esquema de la duración de la etapa emergencia-floración en función de la fecha de siembra o el fotoperiodo (duración del día) al que se expone la etapa. Se esquematizan los extremos para ciclos largos y cortos y la variabilidad en la sensibilidad al fotoperiodo.

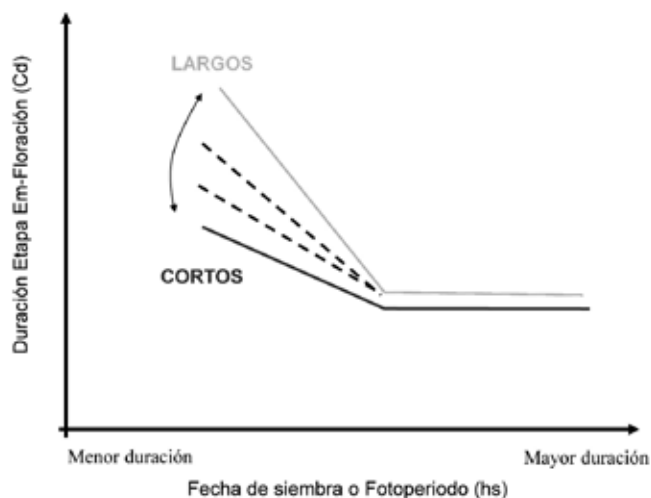


Figura 3

numérica del requerimiento de vernalización (cuántas horas de frío requiere cada cultivar para florecer) y la interacción vernalización x fotoperiodo, a pesar de ser un aspecto clave para evitar exponer al cultivo a importantes riesgos ambientales. El conocimiento de las respuestas descriptas es clave para la correcta elección del cultivar y la fecha de siembra. Cometer un error en esta elección determina una alta probabilidad de fracasos. Por ejemplo, elegir un cultivar invernal con alto requerimiento de vernalización para una siembra muy tardía tiene alto riesgo de no florecer, o hacerlo muy tardíamente, ubicando el periodo crítico de floración con temperaturas muy altas. Del mismo modo, seleccionar un cultivar primaveral corto para una fecha muy temprana, podría ubicar la floración en meses con alta probabilidad de heladas, generando aborto de flores y silicuas.

Las respuestas de los cultivares a los factores ambientales que regulan la duración del ciclo (desarrollo) no son complejas para su caracterización, pero generalmente no están disponibles para ser utilizadas por los técnicos, asesores o productores, ya que requieren de un re-procesamiento que las haga simples y viables para su uso. Por ello, la FAUBA ha generado un software sencillo basado en modelos termo-fotoperiodicos y series climáticas extendidas denominado “CRONOCANOLA”, que permite al usuario elegir el cultivar y la fecha de siembra, pudiendo predecir cuándo ocurrirán los distintos estados del cultivo (tanto en días calendarios como en unidades de tiempo térmico) e identificar los periodos críticos (Figura 4).

2.2- Sensibilidad del periodo crítico

La ocurrencia de eventos de estrés durante periodos especialmente críticos para el cultivo, generan gran variabilidad en el rendimiento

Ejemplo de salida de pantalla del modelo-software CRONOCANOLA. Software de uso gratuito en el sitio web de la FAUBA (<http://cronos.agro.uba.ar/>)

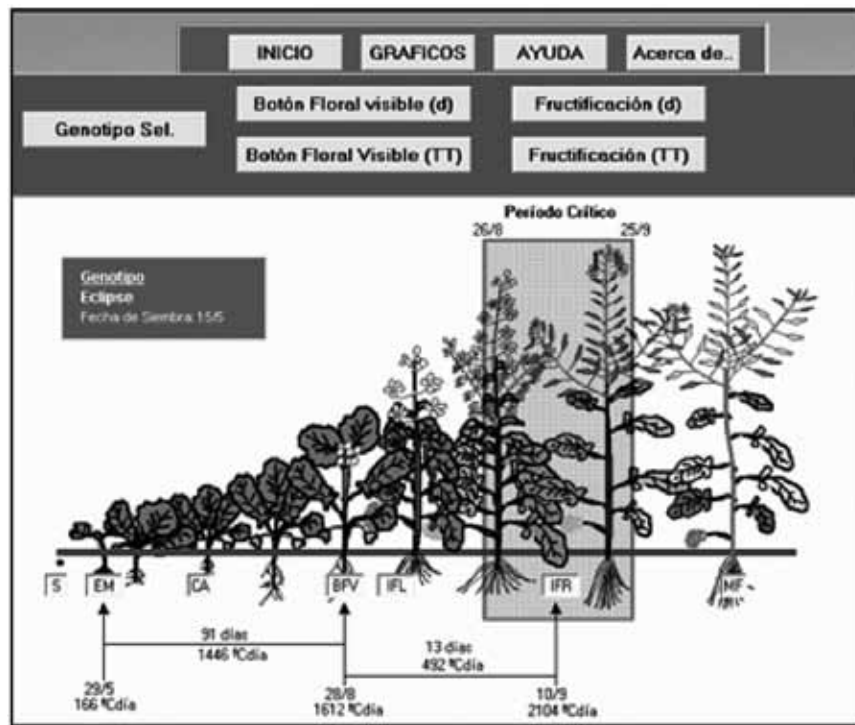


Figura 4

entre años y regiones. Esto provoca que los productores perciban a la colza como un cultivo riesgoso. El periodo crítico para la determinación del rendimiento de colza comienza a partir de la floración y se extiende ampliamente, abarcando hasta 45 días (700 grados.día). En el sudeste de Buenos Aires, el rendimiento se reduce a medida que aumenta la cantidad de días con heladas en el periodo crítico, siendo oportuno ubicar la floración a principios de octubre [3].

Estudiando un grupo de 24 cultivares (incluyendo primaverales cortos, intermedios e invernales largos) se observó el efecto de la temperatura media en el periodo crítico post floración (Figura 5). El rendimiento cayó 200 kg/ha por cada °C de aumento de la temperatura media post floración, y el contenido de aceite de los granos disminuyó cuando la misma superó el umbral de 19°C. Los genotipos más perjudicados fueron los invernales, que en años cálidos y siembras tardías tardaron en acumular horas de frío, extendiendo su etapa vegetativa y ubicando su periodo crítico muy avanzada la primavera. Estos resultados muestran que, para los ambientes productivos pampeanos, no necesariamente los cultivares invernales logran los mayores rendimientos. Además indican que es posible lograr altos rendimientos en aceite sembrando genotipos primaverales en fechas intermedias.

3- La estabilidad de la calidad

A diferencia de la variabilidad del rendimiento, la calidad del aceite de colza mostró ser muy estable ante cambios en los factores del ambiente, como temperatura y fertilización [4]. Esta notable estabilidad de la

calidad, diferencia la colza de otros aceites producidos en Argentina, como el de girasol, que es afectado por la temperatura y la radiación durante el llenado de los granos. En colza, el contenido de ácido oleico se mantiene alto (>61%), mientras que el de ácidos grasos saturados permanece bajo (<7%) al igual que el de los factores antinutricionales (ácido erúico y glucosinolatos), los cuales se mantienen muy por debajo de los valores permitidos. La composición del grano es muy estable, aún en esquemas de alta fertilización con nitrógeno y azufre, sin riesgos de aumentar el contenido de glucosinolatos ni de afectar la excelente calidad alimenticia del aceite.

4- Estudio de caracteres agronómicos en poblaciones de mapeo

Identificar las bases genéticas de los caracteres fisiológicos determinantes de la productividad en el cultivo de colza-canola, es un desafío al que estamos abocados los investigadores y mejoradores que trabajamos con esta oleaginosa. En la última década, los avances en las tecnologías de biología molecular y la reducción en los costos de secuenciación genómica, nos permitieron cuantificar la enorme diversidad genética presente en el genoma de colza. Hacia el futuro, es de esperar que las herramientas de genómica funcional nos ayuden - junto con el conocimiento que tenemos de la ecofisiología de este cultivo - a entender cuáles son y cómo funcionan los genes responsables del rendimiento y de la calidad de granos, de la tolerancia a estreses abióticos y bióticos, y de la eficiencia nutritiva en este cultivo. A la fecha, se han secuenciado los genomas de la colza (*Brassica napus*)

Reducción del rendimiento y contenido de aceite en función de la temperatura media del periodo crítico post floración en 24 cultivares de colza (primaverales cortos, intermedios e invernales largos). Fuente: Agosti (2011).

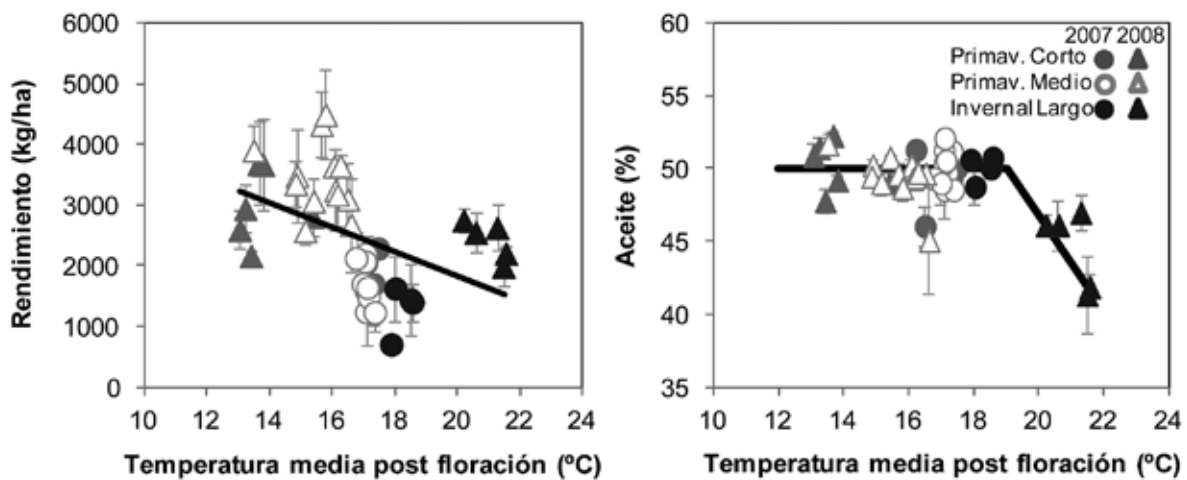


Figura 5

y de sus progenitores *B. rapay B. oleracea*, y contamos con el primer atlas genético de este cultivo alopoliploide. Dicho atlas, es el punto de partida para la explotación de las reservas genéticas primarias y secundarias de la colza, lo cual puede ayudarnos a descubrir genes útiles, para el desarrollo del germoplasma, que potencien los rendimientos de esta importante oleaginosa [5].

El comportamiento de un cultivo está determinado por los factores genéticos y ambientales que, en su interacción, determinan el fenotipo y su variación. Para entender cómo funciona un genotipo en interacción con su ambiente, es necesario identificar de qué manera la variación genética se relaciona con la variación fenotípica, y por otro lado cuantificar cuál es la influencia del ambiente sobre la expresión fenotípica. Si bien esta tarea no es sencilla, se pueden identificar los determinantes genéticos de un carácter mediante mapeos genéticos, los cuales asocian el fenotipo con el genotipo a través del uso de poderosos programas estadísticos. Dos aproximaciones se utilizan para hacer estos mapeos genéticos: la primera es el mapeo de QTL, que proviene del inglés "Quantitative Trait Loci", y la segunda es el mapeo asociativo del genoma completo, conocido también como GWAS (cuyas siglas en inglés significan "Genome Wide Association Study") (Figura 6). El mapeo de QTL está basado en el principio de la recombinación genética producida en poblaciones experimentales que derivan de una cruce biparental, mientras que los mapeos de asociación examinan la herencia común de un grupo diverso de poblaciones, a menudo no relacionadas. A partir del principio genético de "desequilibrio de ligamiento" - que es la asociación no aleatoria de alelos que provienen de loci distintos-, es posible identificar las regiones génicas responsables de un carácter. Si bien el mapeo asociativo es un método de mayor resolución que el mapeo de QTL, el alcance de los estudios de asociación en colza es aún muy limitado, por la complejidad de los datos a analizar.

La metodología para los mapeos genéticos (Figura 6) requiere, en primera instancia, del estudio del fenotipo de un carácter (fisiológico o de rendimiento) en toda la población de mapeo, y luego del procesamiento de los datos obtenidos junto con la información genética, para identificar la posición y la naturaleza de los QTL. Si bien los mapeos de QTL son comunes en colza, los análisis de GWAS aún no están muy extendidos.

La mayoría de los estudios de QTL se enfocaron en la identificación de loci asociados con producción de biomasa, floración, rendimiento y calidad de aceites en semillas. Estos estudios se realizaron en poblaciones doble haploide, que fueron evaluadas en distintas localidades de América del Norte, Europa e incluso China, bajo condiciones ambientales diversas[6]. En Argentina, aún no hay ningún trabajo publicado sobre mapeo de QTL de materiales genéticos cultivados en nuestras condiciones climáticas y de manejo. Las principales conclusiones de los mapeos de QTL son: a) hay un grupo diverso de QTL asociados al rendimiento, siendo los alelos de genotipos invernales los que más contribuyen a este carácter con respecto a los genotipos primaverales; b) algunos de los QTL asociados al rendimiento son epistáticos con otros caracteres como tiempo a floración, contenido de glucosinolatos, e incluso resistencia a patógenos en la hoja; c) la heterosis incrementa hasta un 30% los rendimientos en la colza-canola y d) hay loci que actúan como "hotspot" asociados al rendimiento y a la heterosis, sugiriendo que estos genes deberían ser los blancos de interés a focalizar en futuros programas de manejo. Nuestro equipo de trabajo está en estos momentos dedicado a identificar y estudiar los determinantes del rendimiento y otras variables de interés mediante mapeos de QTL y GWAS en plantas de colza cultivadas en las condiciones climáticas y de manejo utilizadas por los productores argentinos.

Esquema del mapeo de QTL (izq.) y mapeo asociativo del genoma completo (der.) para la identificación y caracterización de genes asociados al rendimiento.

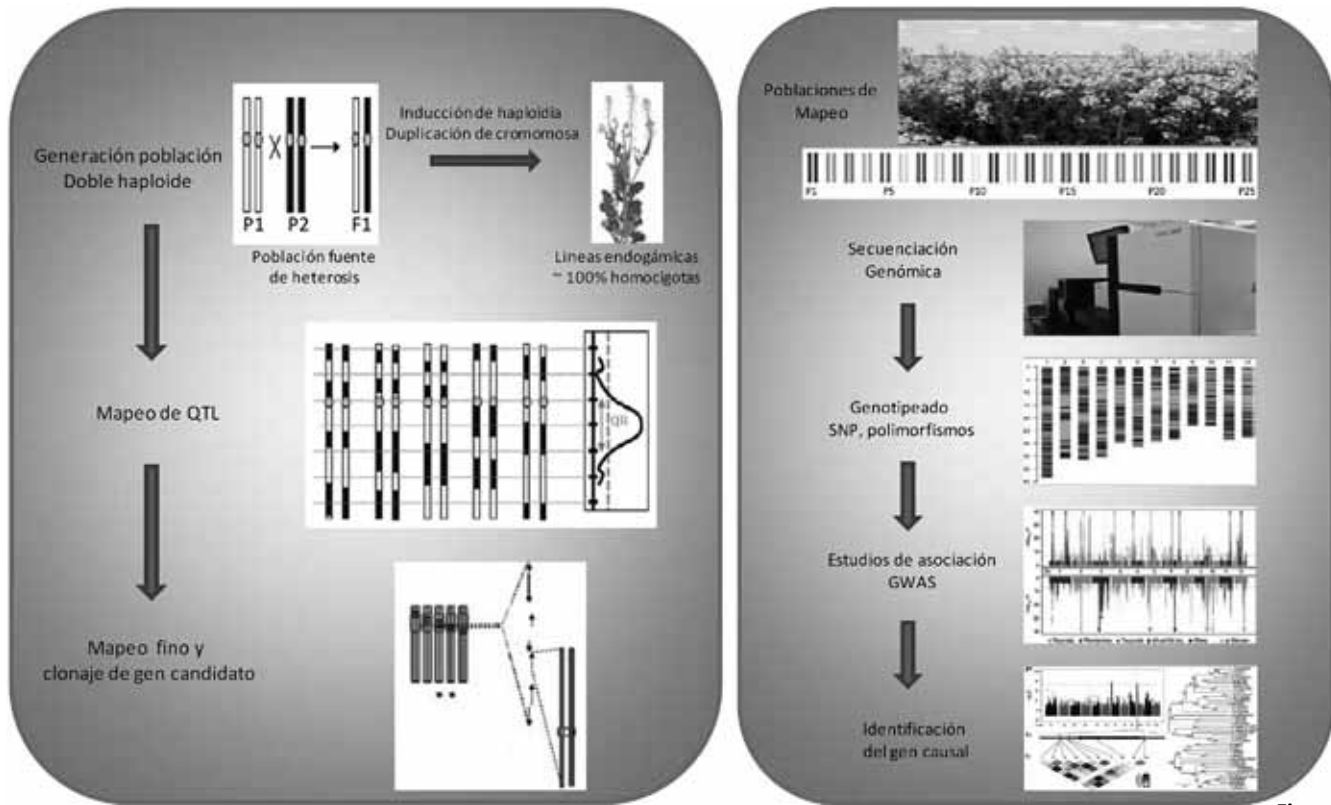


Figura 6

Bibliografía

- [1] Rondanini et al. (2012) European Journal of Agronomy 37:56-65
- [2] Gómez & Miralles (2011) Industrial Crops and Products 34: 1277-1285
- [3] Takashima et al. (2012) European Journal of Agronomy 48: 88-100
- [4] Agosti MB (2011) Tesis de Maestría en Producción Vegetal, FAUBA.
- [5] Chalhoub et al. (2014) Science 345: 950-953
- [6] Snowdon & Iñiguez (2012) Plant Breeding 131: 351-360