



COLZA: UN CULTIVO CON HISTORIA EN LA FAUBA

N.V. Gómez^{1*}; D.J. Miralles^{2,3}; A.I. Mantese⁴; Y.C. Menéndez⁵; D.P. Rondanini^{6,3}

¹Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Cátedra de Cultivos Industriales () *ngomez@agro.uba.ar.; Cátedra de Cerealicultura (2) CONICET (3); Cátedra de Botánica Morfológica (4); Cátedra de Fisiología Vegetal (5); Cátedra de Producción Vegetal (6).

Recibido: 08/03/2018

Aceptado: 23/05/2018

RESUMEN

El cultivo de colza (*Brassica napus* L.) tiene una larga tradición en países de Asia y norte de Europa, siendo China, India, Alemania y Francia los principales países productores. En América, tuvo gran desarrollo particularmente en Canadá, siendo el principal exportador mundial de colza y los creadores del nombre canola (Canadian oil low acid). En la Argentina el cultivo se conoce desde antes de la Segunda Guerra Mundial y con el transcurso de los años ha ido creciendo como cultivo invernal alternativo en diferentes áreas de la Región Pampeana. En la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), su estudio se inició en la década del '70 en las Cátedras Cultivos Industriales y Climatología Agrícola, donde se realizaron estudios pioneros de zonificación, aptitud climática en Argentina y ecofisiología del cultivo. En esta misma facultad, y con la incorporación de docentes-investigadores de las Cátedras de Cerealicultura, Producción Vegetal, Botánica Agrícola, Fisiología Vegetal, Sanidad Vegetal y Fertilidad y Fertilizantes, entre otros, se continúan y profundizan estudios sobre ecofisiología y manejo del cultivo, abordando aspectos novedosos relacionados con la generación del rendimiento, la calidad de grano y los beneficios del cultivo para la intensificación agrícola.

Palabras clave: *Brassica napus*, producción, ecofisiología, manejo, biotecnología

RAPSEED: A CROP WITH HISTORY IN THE FAUBA

SUMMARY

Rapeseed crop (*Brassica napus* L.) has a long tradition in countries of Asia and northern Europe, being China, India, Germany and France the main producers. In America, rapeseed had great development particularly in Canada, being the world's leading exporter and the creators of the name canola (Canadian oil low acid). In Argentina, the crop is known since before the World War II and over the years has grown as an alternative winter crop in different areas of the Pampean Region. In the Faculty of Agronomy, at the University of Buenos Aires (FAUBA), rapeseed was studied since the early 70s for the Industrial Crops and Agricultural Climatology Chairs. Who followed pioneered studies of adaptability and climatic aptitude in Argentina and studies on crop ecophysiology. Also, the incorporation of researcher from Cereals Crop , Vegetal Production, Agricultural Botany, Plant Physiology, Vegetable Health and Soil Fertility and Fertilizers, among others, continued and deepened studies on ecophysiology and crop management, boarding novel aspects related to grain yield generation, grain quality and crop benefits for agricultural intensification.

Key words: *Brassica napus*, production, ecophysiology, management, biotechnology

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, el cultivo de colza se conoce desde la década del '30, por esos años se comercializaban tanto *Brassica napus* L. como *B. campestris* L., ya sea separándola como maleza (nabo) en cultivos de trigo o lino o bien como producto de su cultivo. Con el transcurso de los años la colza mejorada para uso alimenticio fue creciendo en los mercados internacionales y fue despertando el interés en el mercado local de la industria aceitera. Tanto en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) como en el Instituto Agroindustrial de Oleaginosas, los técnicos comenzaron a probar la adaptación de cultivares importados de Canadá en diferentes localidades de la Pampa Ondulada. Pasaron algunas décadas, y en los '70 la Cátedra de Cultivos Industriales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) inició los primeros experimentos en colza en el marco de un programa de investigación para el desarrollo del cultivo (Pascale y Murphy, 1991). En 1978 la Secretaría de Agricultura confecciona las bases para la comercialización del cultivo de colza en la Argentina (actualmente Normas VII y VIII, Resol. SAGyP 1075/94). A lo largo del tiempo, el cultivo de colza en Argentina ha afrontado diversas vicisitudes agronómicas, tecnológicas y comerciales. A continuación se reseñan algunos desafíos que la colza ha logrado superar con diferente grado de éxito.

Usos y Parámetros de calidad

La colza es la tercera oleaginosa de importancia mundial, después de la palma y la soja, siendo una excelente materia prima para aceite comestible y biodiesel y su harina es una fuente proteica para alimentación animal (FAO, 2018). Es una especie perteneciente a la familia *Brassicaceae* y la colza utilizada en alimentación humana se conoce en el mundo como colza doble cero "00" o CANOLA (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (Metz) Sinks f. *Anua*). Para que un cultivar sea calificado como

colza "00" debe contener bajos niveles de dos factores antinutricionales, y según la base de comercialización argentina se permite hasta un 2% de ácido erúxico en el aceite y 20 μ moles/gramo de glucosinolatos en el sub-producto (harina) (SAG yP 1075/94; Gómez, 1993). El consumo de su aceite proporciona gran parte de la vitamina E (α tocoferol) que se necesita diariamente. La vitamina E es un antioxidante que protege las grasas y proteínas del cuerpo humano contra el daño de los radicales libres, disminuyendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares y mejorando la función del sistema inmunológico (Traber y Sioes, 1996; Goffman 2000). La calidad nutricional del aceite de colza, está determinada por la relación porcentual de los ácidos grasos que lo componen. Es notable la estabilidad de la calidad frente a condiciones ambientales, que diferencia al aceite de colza de otros aceites, como el de girasol el cual modifica en forma relevante su composición de ácidos grasos ante variaciones en la temperatura y la radiación durante el llenado de los granos (Rondanini *et al.*, 2003; Rondanini *et al.*, 2006; Echarte *et al.*, 2010). Este aspecto de la calidad de colza puede resultar un atractivo para la adopción del cultivo, especialmente en sistemas de comercialización que bonifiquen la producción pagando primas por calidad. En la FAUBA, para un amplio grupo de genotipos de colza invernales y primaverales, sembrados en diferentes fechas entre abril y junio, se encontró que el contenido de ácido oleico del aceite se mantuvo alto (>61%), mientras que el contenido de ácidos grasos saturados permaneció bajo (<7%) al igual que el de los factores antinutricionales (ácido erúxico y glucosinolatos), los cuales se mantuvieron muy por debajo de los valores máximos permitidos, en los diferentes ambientes explorados. Además, la composición del grano resultó 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 (Agosti, 2011). En la Argentina

se han realizado experimentos tendientes a encontrar la dosis óptima y el momento oportuno de aplicar fertilizantes en colza (Valetti, 1989; Urricarriet *et al.*, 1995; Sarandón *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1995; Rubio *et al.*, 1996). Un reciente estudio en la provincia de Santa Fe, determinó una muy alta respuesta a la fertilización con nitrógeno y azufre, mostrando requerimientos de nitrógeno mayores a los 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno disponible para producciones mayores a los 3.000 kg ha⁻¹ de granos (Fontanetto *et al.*, 2011).

En los últimos años, a nivel mundial ha cobrado notable expansión el uso del aceite de esta oleaginosa en la fabricación de biocombustibles, ya que su aceite posee una composición de ácidos grasos que satisface los requerimientos de la industria en cuanto a bajo índice de yodo y punto de nube (Gómez *et al.*, 2006). Sin embargo, debido a que el destino del grano para biodiesel compite con la producción de aceite alimenticio, otras consideraciones deben ser tenidas en cuenta, especialmente en el actual contexto de creciente población humana y mayor presión sobre los sistemas agrícolas para satisfacer la seguridad alimentaria mundial (Rosillo-Calle, 2016).

En cuanto a la harina, como subproducto de la extracción del aceite, es utilizada ampliamente en las raciones tanto de animales de corral como en las del ganado para la pro-

ducción de carne y leche y la alimentación de peces, especialmente salmones en Chile (ODEPA, 2018). La composición de aminoácidos de la harina la convierte en un excelente complemento de la harina de soja ya que contiene mayor porcentaje de cistina y metionina y un mayor porcentaje de fibra cruda (Gómez, 1993; Canola Council, 2018).

El cultivo de colza en el mundo y en la Argentina

La colza tiene una larga tradición como cultivo en países de Asia y norte de Europa, siendo China, India, Alemania y Francia los principales países productores. El área mundial cosechada con esta oleaginosa se triplicó en las últimas 4 décadas, según el análisis de datos de la FAO, mostrando que entre 1970 y 2016 se produjo un incremento lineal de más de 600 mil has por año, superando los 31 millones de hectáreas cosechadas (Figura 1). El rendimiento promedio mundial se duplicó en estas cuatro décadas, aumentando de 800 a 2000 kg ha⁻¹, con una tasa de 27 kg ha⁻¹año⁻¹. Esta tasa de ganancia resulta similar a la de otros cultivos oleaginosos, como soja (25 kg ha⁻¹ año⁻¹) y algo inferior a la observada en trigo (39 kg ha⁻¹ año⁻¹) y el conjunto de arroz, trigo y maíz (43 kg ha⁻¹ año⁻¹, Fischer *et al.*, 2009). Sin embargo, si se compara con las tasas de ganancia de trigo de las últimos 2 décadas en Argentina (14 kg ha⁻¹ año⁻¹) (Lo

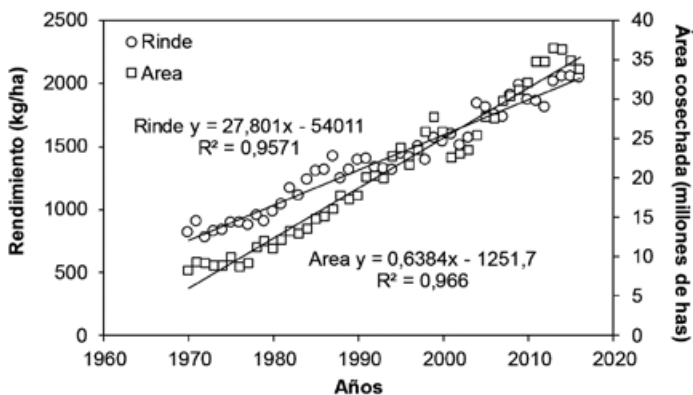


Figura 1. Evolución del rendimiento y el área cosechada de colza a nivel mundial para el periodo 1970-2016. Datos obtenidos de FAOSTAT, 2018.

Valvo *et al.*, 2018), la colza mostró globalmente un mayor progreso genético. Expresado en términos relativos (referidos a 1970) el rinde mundial de colza aumentó 3,4 % año⁻¹ mientras que trigo y soja aumentaron 2,6 y 1,7 % año⁻¹, respectivamente (Rondanini *et al.*, 2012) y resultan ganancias mayores si se compara con los rendimientos de trigo de los últimos 20 años en Argentina que en términos relativos aumentaron solo el 0,2% año⁻¹ (Lo Valvo *et al.*, 2018).

En América, el cultivo de colza tuvo gran desarrollo particularmente en Canadá, siendo este país el principal exportador mundial de colza. Otros países de Oceanía y Sudamérica tienen una historia más reciente de producción de colza a escala comercial. En América del Sur, el crecimiento de colza y otros cultivos invernales, como cebada, arveja y garbanzo, generalmente se relaciona con la disminución temporal de la superficie sembrada de trigo pan, asociado a variaciones climáticas, sanitarias y socio-económicas (Rondanini, *et al.*, 2017). En Uruguay, la superficie creció desde 4 mil hectáreas en 2010 hasta 47 mil hectáreas con rendimientos promediando a nivel nacional 1.599 kg ha⁻¹, en el año 2017. En el caso de Chile, el área de colza (o "raps" como se denomina en ese país) para la cosecha 2016/17 fue de 46.249 hectáreas (incluyendo semilleros) con rendi-

mientos de casi 4 t ha⁻¹. Para Brasil, en la campaña 2016/17 se cosecharon unas 48.100 hectáreas de colza con alta inestabilidad en los rendimientos (871-1.232 kg ha⁻¹) (Rava y Souto, 2017).

En la Argentina, el rendimiento promedio nacional de los últimos 20 años según las estadísticas de la FAO, es de 1.500 kg ha⁻¹, y asciende a 1800 kg/ha en los últimos 10 años. Sin embargo, resultados a nivel experimental muestran que el rendimiento potencial del cultivo en parcelas regadas y fertilizadas se encuentra en más de 4.000 kg ha⁻¹, y en condiciones de secano promedia los 1.900 kg ha⁻¹ con picos máximos de 3.500 kg ha⁻¹ (Iriarte y López, 2014), demostrando que existe una importante brecha entre el rendimiento promedio del país y los alcanzados a nivel experimental (Gómez *et al.*, 2002). Esto muestra que la potencialidad del cultivo es mucho mayor que la productividad media actual, siendo necesario profundizar el conocimiento de los determinantes ecofisiológicos del rendimiento para conocer la mejor respuesta de los cultivares al ambiente, y así optimizar el rendimiento en las regiones más aptas para su cultivo. En Argentina se cuenta con registros de superficie de colza desde el año 1978, en el que se sembraron unas 6.000 has (Figura 2). En 1991 y 1992 la superficie sembrada fue de 51.000 has, pero problemas

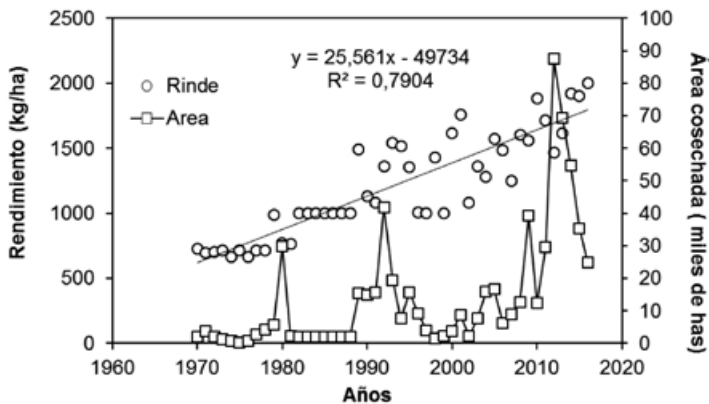


Figura 2: Evolución del rendimiento y el área cosechada de colza en Argentina en el período 1978-2016 (Fuente: Minagri, 2017)

en la comercialización produjeron un decrecimiento en el área sembrada. Hasta el 2006 la superficie sembrada fue escasa no superando las 19.000 has en todo el país. Entre los años 2009 y 2014 se observó un incremento debido a i) la reducción del área sembrada del trigo, asociada a su precio intervenido y elevado nivel de retención impositiva (Rondanini *et al.*, 2015), y ii) a la incorporación de nuevas áreas como la del NEA especialmente en la provincia de Entre Ríos y algunas áreas marginales en el norte de Córdoba y Santiago del Estero (Iriarte y López, 2014). La dispersión hacia distintas provincias indica que las condiciones climáticas de muchos ambientes de la Argentina son propicias para la producción de colza tanto de invierno como de primavera (Pascale y Murphy, 1991). Los cultivos clasificados como invernales, son aquellos que poseen requerimientos de vernalización para florecer, en cambio los primaverales no tienen o tienen bajos requerimientos de horas de frío (Murphy y Pascale, 1988). Debido a las condiciones climáticas en las que se realiza el cultivo (inviernos benignos), se utilizan genotipos primaverales (en todas las zonas de producción), o invernales con bajos requerimientos de vernalización (en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires) para evitar retrasos en la floración y condiciones ambientales sub-óptimas durante el llenado de granos (Iriarte y López, 2014).

Con el objetivo de potenciar el cultivo de colza en la Argentina, en la década del 90, por iniciativa de las Cátedras de Cultivos Industriales y de Climatología Agrícola de la FAUBA, inició sus actividades un grupo, integrado por técnicos de diferentes Facultades de Agronomía de la Argentina, estaciones experimentales del INTA, empresas de semillas y de la industria aceitera, al que se lo denominó "Procolza" (Pascale *et al.*, 1991). En esos años, en la Argentina se habían sembrado cerca de 50.000 ha entre colzas primaverales e invernales, con rendimiento promedio de 1250 kg ha⁻¹. Sin embargo, actualmente, el cultivo de colza no se halla suficientemente

difundido a pesar de que una amplia región del país posee características agrónomicamente aptas para el desarrollo del cultivo (Pascale y Murphy, 1991). Algunos factores que han conspirado contra una mayor expansión del área sembrada son (i) la falta de conocimientos en aspectos de manejo del cultivo (entre ellos adaptabilidad genotípica y problemas en la implantación del cultivo) y (ii) la escasez de planes de mejoramiento locales, ya que la difusión de materiales en nuestro país se realizó principalmente a partir de la introducción de materiales importados, no siempre de buena adaptación a nuestras condiciones (Gomez, *et al.*, 2006). No obstante, algunos planes de mejoramiento se llevaron adelante por investigadores del INTA, y así fue que en el año 2016, presentaron la primera variedad de colza obtenida en el país. Se trata de 'Macacha INTA' que se destaca por su buen rendimiento, excelente calidad industrial y un buen comportamiento sanitario (Gieco, 2016).

Ciclo ontogénico y generación del rendimiento

Conocer la ocurrencia de los distintos eventos ontogénicos en el cultivo de colza es el primer paso para establecer la adaptabilidad de los distintos genotipos y poder tomar decisiones de manejo. Diversas escalas describen las etapas de desarrollo del cultivo, y una de las más usadas es la del CETIOM (Arnoud, 1989). Por otro lado, distintas publicaciones proveen descripciones del ciclo ontogénico de la colza identificando los estados que ocurren a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 3) (Silvester-Bradley y Makepeace, 1984; Gómez *et al.*, 2006; Agosti *et al.*, 2009).

El rendimiento del cultivo puede expresarse como el producto entre la cantidad de materia seca que produce el cultivo a lo largo del ciclo, y la proporción de la misma que es destinada a los granos, es decir, el índice de cosecha y el otro modelo es el de los subcom-

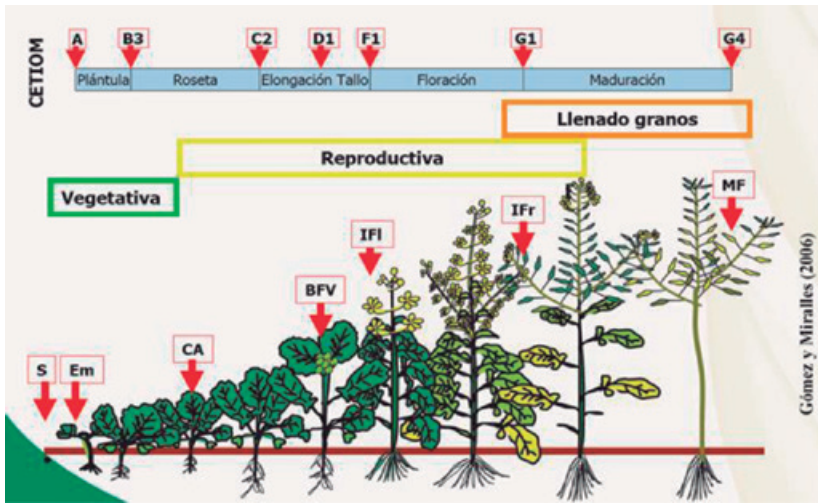


Figura 3: Esquema del ciclo ontogénico de colza-canola indicando las distintas etapas ontogénicas y los componentes del rendimiento que se generan a lo largo del desarrollo del cultivo (S) siembra, (E) emergencia, (CA) cambio de ápice, (BFV) botón floral visible, (IFI) inicio de floración, (IFr) inicio de fructificación, (MF) madurez fisiológica. En la parte superior del gráfico se superpuso la escala CETIOM. (Agosti *et al.*, 2009)

ponentes numéricos del rendimiento. De esta manera, el rendimiento resulta del producto entre el número de granos por unidad de superficie, y el peso unitario de los granos (Iriarte y Valetti, 2008, Gómez *et al.*, 2013). El ambiente influye fuertemente en el rendimiento, y no todas las etapas fenológicas son igualmente sensibles, existiendo periodos críticos de mayor sensibilidad, en los cuales un estrés afecta en mayor medida el rendimiento en grano. El período crítico para la determinación del rendimiento ha sido determinado recientemente en colza, está ubicado unos 300°Cd a partir del inicio de floración, tomado como el momento en el que el 50% de las plantas tienen 1 flor abierta sobre el tallo principal (Kirkegaard *et al.*, 2018). Los productores cuentan con dos herramientas claves para ajustar la ocurrencia de dichos períodos críticos a cada ambiente: la elección del ciclo del cultivar y la fecha de siembra. En cuanto al ciclo del cultivar, es clave conocer la fenología de los materiales, o sea, cuál es la duración de las distintas etapas fenológicas del ciclo del cultivo. En la FAUBA, desde el año 2007, y con la colaboración de los semilleros que comercializan colza en nuestro país, se

han realizado ensayos a campo utilizando genotipos comerciales, a fin de comprender como el ambiente altera la fenología del cultivo, e identificar la variabilidad en las distintas sub etapas del ciclo que existe entre genotipos (Agosti *et al.*, 2009; Karamanukian, 2010; Bonamico, 2012;). 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) mayormente en cultivares de tipo invernal. La temperatura es la única variable ambiental que afecta a todos los cultivares a lo largo de todo el ciclo: a mayor temperatura, menor duración del ciclo. En este sentido, el impacto del cambio climático previsto para las próximas décadas sobre los cultivos, debido al incremento de la temperatura nocturna, en el caso de los cultivos de invierno como por ejemplo el trigo y la colza, será un acortamiento del ciclo del cultivo, una menor captación de recursos como la radiación, derivando en un menor número de granos con un consecuentemente menor rendimiento (García *et al.*, 2018). A nivel local, en la FAUBA, se estudiaron a campo los efectos de altas temperaturas medias

sobre el rendimiento de colza en distintos genotipos y fechas de siembra (Figura 4), hallándose caídas del rendimiento potencial del orden de 200-300 kg ha⁻¹ por cada °C de aumento de la temperatura media del período floración-madurez (Vilariño *et al.*, 2012). Estudios a escala regional también señalaron a las altas temperaturas como un factor de variabilidad en los rendimientos de colza en el sudeste de Buenos Aires (Takashima *et al.*, 2013) y el norte de Europa (Peltonen-Sainio *et al.*, 2010).

Otro efecto negativo de las temperaturas es el llamado "golpe de calor" que ocurre cuando las temperaturas durante algunas horas del día superan los 30-32 °C. Los resultados de los experimentos en FAUBA con colza primaveral, mostraron que aumentos de la temperatura (31°C y 39°C) en las horas centrales del día, desde el inicio de fructificación (7-10 días desde floración), generan caídas del rendimiento del orden del 32% al 49%, respecto del control sin estresar (Zabala, 2013; Clavijo, 2014; Reynolds, 2015). En ensayos en condiciones controladas se mostró que temperaturas de 32/26 °C (día/noche) causan esterilidad de flores y disminución del rendimiento (Polowick y Sawhney, 1988; Morrison y Stewart, 2002), existiendo controversia acerca de los procesos más afectados, i.e., menor viabilidad de granos de polen y

fertilidad de los óvulos (Morrison, 1993), aborto de flores y formación de silicuas partenocárpicas o daño únicamente al ovario y los óvulos (Rao y Reimer, 1991; Bouttier y Morgan, 1992). En estudios en la FAUBA llevados a cabo por las Cátedras de Cultivos Industriales y Cerealicultura, en conjunto con la Cátedra de Botánica, mediante microscopía óptica, se analizó el impacto del estrés combinado de altas temperaturas (>35°C) y sombreo (restricción de 60 % de radiación solar incidente) sobre la estructura morfo-anatómica de órganos florales, en distintos estadios reproductivos: botón floral visible, flor abierta y silicuas de <1 cm y >1 cm. Como consecuencia del estrés, las silicuas y los granos mostraron cambios anatómicos, con pericarpios unos 30% más delgados y semillas de menor tamaño (-80%), deformes ó ausentes (Foto 1 B, C, E, y F). Sin embargo, el estrés no causó daños en estados reproductivos tempranos (Foto 1 A y D). Para un cultivo como la colza con un largo periodo de floración, un estrés por calor o sombreo puntual permitirá al cultivo recuperarse más rápido que cultivos de floración más concentrada en el tiempo, como el girasol (Gómez *et al.*, 2013).

Además de la temperatura, otro factor del ambiente que afecta la duración del ciclo es el fotoperiodo. La colza es una especie "de día

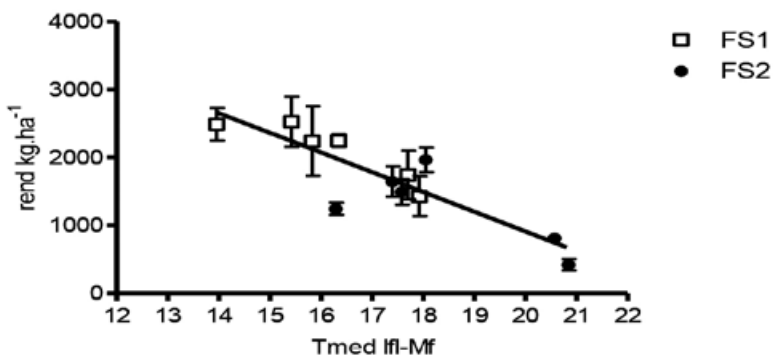


Figura 4. Relación entre el rendimiento en grano y la temperatura media en el período floración-madurez fisiológica, en 6 genotipos de colza sembrados en 2 fechas de siembra (Vilariño *et al.*, 2012)

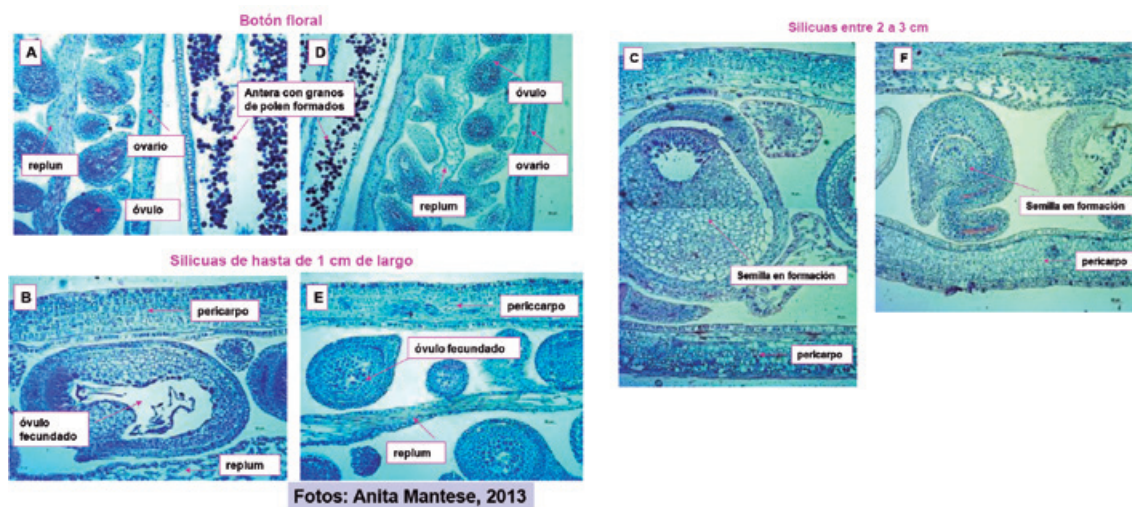


Foto1: Desarrollo de las estructuras reproductivas desde botón floral visible hasta la formación del fruto del control (A, B y C) y estresadas (D, E y F). Gómez, *et al.*, 2013. Fotografías tomadas por la M Sc. A. I. Mantese

largo" y es sensible principalmente en las etapas más tempranas del ciclo, desde emergencia hasta botón floral visible. Así, la mayor variabilidad en el periodo entre emergencia y madurez fisiológica - debido a los cambios en el fotoperiodo - está dada por la sensibilidad en su etapa previa a la floración. Por otro lado, es importante considerar que hay diferencias genotípicas en la sensibilidad al fotoperiodo (tasa de reducción de la etapa por día de atraso en la fecha de siembra). Generalmente los materiales de ciclo más largo presentan mayor sensibilidad al fotoperiodo respecto de los más cortos (Gómez, 2007; Gómez y Miralles, 2011).

Conociendo el comportamiento de los genotipos frente a las diferentes variables ambientales, la fecha de siembra se constituye en otra de las herramientas de manejo claves para la mejor ubicación de los periodos críticos de los genotipos (Miralles *et al.*, 2001). Un medio para determinar la fecha de siembra óptima es realizar siembras escalonadas a campo de un grupo amplio de genotipos. Las cátedras de Cultivos Industriales y Cerealicultura de la Facultad de Agronomía UBA trabajaron en conjunto con el objetivo de generar un software sencillo de predicción

fenológica denominado CRONOCANOLA© (Figura 5). Este software 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 para la sensibilidad a heladas tempranas (emergencia - roseta) y para la definición del número de silicuas (floración- fructificación). Actualmente el modelo está en fase experimental (ya que fue construido para una sola localidad y si bien con un gran número de cultivares de colza muchos de ellos ya no están disponibles comercialmente) Gómez *et al.*, 2006).

Otras prácticas de manejo resultan útiles para maximizar la productividad del cultivo. Respecto al agua, si bien las restricciones afectan el rendimiento, los excesos hídricos también determinan pérdidas debido a que este cultivo no tolera anegamiento en etapas tempranas luego de la emergencia del cultivo (Lavado *et al.*, 1995). En cuanto a la densidad de siembra, para asegurar una captura eficiente de los recursos para el cultivo, además de elegir un genotipo, es necesario lograr un adecuado stand de plantas. En general, el rendimiento de colza describe una respuesta

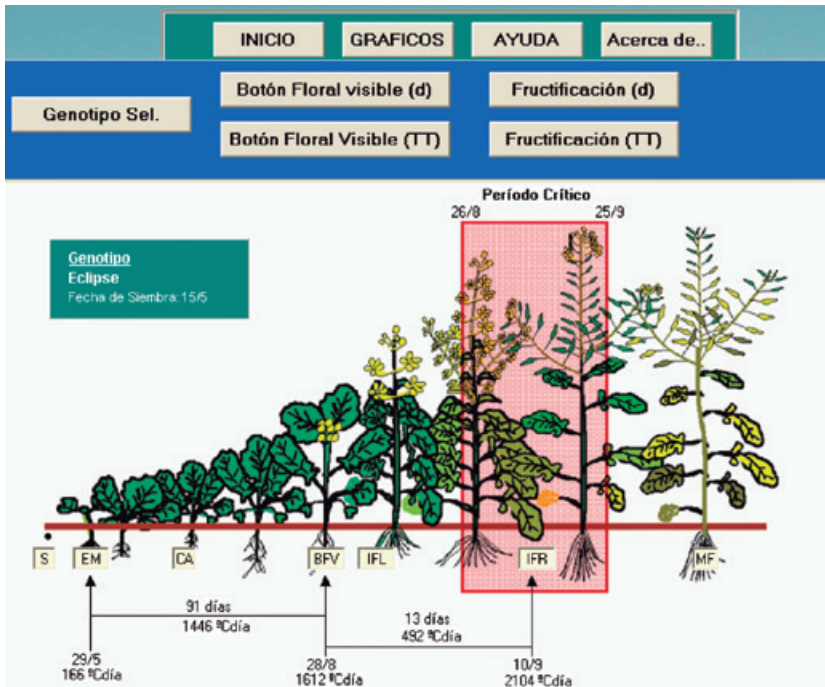


Figura 5: Ejemplo de salida de pantalla del modelo de predicción fenológica CRONOCAOLA©. Software gratuito disponible en <http://cronos.agro.uba.ar/>.

asintótica con máximos rendimientos alcanzados en un amplio rango entre 50 y 250 pl m⁻² (Angadi *et al.*, 2003). En los últimos años, la cantidad de semilla a sembrar recomendada a los productores tendió a disminuir, pasando de 6 a 3 kg ha⁻¹, asociado a mejoras en (i) la calidad de semilla, (ii) la tecnología de siembra y (iii) la plasticidad vegetativa y reproductiva que le permite compensar la baja densidad. Actualmente, en la región pampeana se recomienda una densidad de 60-80 pl m⁻² en cultivares primaverales y 35-45 pl m⁻² en invernales. Sin embargo, fallas en la implantación y la ocurrencia de heladas tempranas pueden reducir fuertemente la densidad lograda, haciendo necesario resembrar el lote. En condiciones de buena disponibilidad hídrica y nutricional, si el cultivo puede expresar suficientemente su plasticidad e integrar respuestas morfogénicas tempranas, puede compensar la reducción de la densidad a través del ajuste del tamaño de roseta y del nivel de ramificación floral, man-

teniendo el rendimiento por superficie y la composición de aceite y proteína del grano (Loncar, 2013; Rondanini *et al.*, 2014; Rondanini *et al.*, 2017).

Recientemente, con el objetivo de identificar las regiones genómicas asociadas a la plasticidad en baja densidad poblacional, en el se iniciaron estudios en la FAUBA con una población doble haploide de 99 líneas (Menéndez, 2016), originadas a partir del cruzamiento de dos parentales genéticamente distintos. El estudio en *Brassica napus* L. posee la particularidad de un genoma tetraploide complejo. Los resultados preliminares indican que se expresa un rango de variabilidad fenotípica importante en la población doble haploide estudiada, como el rinde por planta y el número de ramas por planta, que se modificaron fuertemente al disminuir la densidad poblacional (Botto *et al.*, 2017). En cambio, otros atributos resultaron menos plásticos, como la altura de planta. El rinde por planta

presentó valores un poco menores de heredabilidad (0,40 para ambas densidades). Actualmente se están procesando los datos obtenidos junto con la información genética para identificar la posición y la naturaleza de los QTL asociados a los caracteres agronómicos de mayor relevancia.

Colza de Verano: Una alternativa novedosa para un cultivo invernal

Usualmente el cultivo de colza primaveral se siembra entre los meses de mayo a junio en la Región Pampeana Argentina (Iriarte y Valetti, 2002). Sin embargo existen algunas recomendaciones de sembrar colza en verano, en países donde los veranos son muy cortos, como en Canadá (Dejoux, 2009) y algunas regiones húmedas de Australia (OGTR, 2002). Además de aprovechar una corta estación de crecimiento, el objetivo es favorecer, con las altas temperaturas durante el ciclo, la mineralización de los residuos de un cultivo antecesor, de manera de disminuir el agregado de fertilizantes minerales, que constituye un problema en algunos países del hemisferio norte como Canadá y Francia (Dejoux, 2009; Schwägerl, 2015). El impacto del cambio climático previsto para los próximas décadas sobre los cultivos de invierno implicará una reducción en los rendimientos (Miralles y García, 2014), en consecuencia la sustentabilidad de la producción de granos en la región pampeana requiere una diversificación de cultivos que permita una intensificación racional de la agricultura sumada a una rentabilidad aceptable (Vilariño *et al.*, 2009). La inclusión de la colza, en la estación de verano, podría resultar una opción agronómica y económicamente interesante, entre otras cosas, por aumentar la diversidad de cultivos, extraer agua y nutrientes de estratos de suelo más profundos, interrumpir ciclos de enfermedades y plagas, aportar carbono al suelo dado su gran volumen de rastrojo y ampliar la superficie destinada a cultivos oleaginosos. Las primeras evidencias, llevadas adelante en el grupo de investigación de la FAUBA experi-

mentando con colza como cultivo de verano en condiciones regadas y fertilizadas, mostraron una buena adaptación de los cultivares primaverales cortos (sin requerimientos de vernalización) utilizados en las siembras de verano. Si bien, los rendimientos, dependiendo del cultivar, en promedio fueron ligeramente menores que los obtenidos en siembras de otoño/invierno, algunos de los genotipos evaluados pueden ser muy promisorios para siembras de verano (Gómez *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2017). Se debe monitorear la probable aparición de manchas en las hojas causadas por enfermedades fúngicas, para evitar pérdidas comerciales del cultivo (Gaetan, *et al.*, 2004). No obstante, en la FAUBA, se ha notado mayor incidencia de enfermedades fúngicas en siembras de mayo y junio que en siembras de diciembre (Gómez, 2017 comunicación personal).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En síntesis, en los últimos años la colza ha demostrado capacidad de ajustarse a circunstancias productivas cambiantes. Su incorporación a los nuevos sistemas de rotaciones agrícolas resultará promisoria a la luz de sus beneficios como (i) cultivo de invierno alternativo a los cereales y (ii) cultivo de segunda estival. Recientes investigaciones (Andrade *et al.*, 2017) destacan que la diversificación de los sistemas de cultivo mediante la adopción de diferentes doble-cultivos son prácticas de manejo agronómico que pueden contribuir a una intensificación sostenible. El aumento de la diversidad de cultivos influye positivamente en la absorción de nitrógeno, entre otros factores, y puede explicar el mayor rendimiento en dichos sistemas. Así, la inclusión del cultivo de colza en la región pampeana, como alternativa a los cereales de invierno, representa una opción interesante para los sistemas productivos intensificados. Los estudios fenológicos, genéticos y ecofisiológicos que se desarrollan en la actualidad permitirán optimizar el manejo agronómico y continuar

ampliando las posibilidades de este cultivo. En los últimos 10 años el grupo de investigación en colza en la FAUBA ha avanzado en el estudio de la ecofisiología del cultivo (evaluando diferentes fechas de siembra, probando genotipos comerciales de diferente largo de ciclo, aplicando sombreos de diferente intensidad en períodos reproductivos, estudiando la

combinación del estrés térmico y lumínico, analizando las respuestas tempranas de escape al sombreado y modificando la densidad de plantas). Este trabajo se ha enriquecido con aportes de diferentes disciplinas, como la botánica morfológica, la fisiología vegetal y la biología molecular, sumado al esfuerzo de numerosos estudiantes de grado y posgrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Agosti, M.B.; N.V. Gómez; M.P. Vilariño y D.J. Miralles. 2009. Fenología y generación del rendimiento y la calidad de canola. Congreso "A Todo Trigo". Federación de Acopiadores de Granos.
- Agosti, M.B.; N.V. Gómez; M. P. Vilariño; D.P.; Rondanini y D.J. Miralles. 2009. Fenología del cultivo de Colza-Canola. Trigo y Cultivos Invernales en SD. Revista Técnica de la Asociación Argentina de siembra Directa. (AAPRESID), Pp.:29-35
- Agosti, M.B.; N.V. Gómez; M. P. Vilariño; D.P.; Rondanini y D.J. Miralles. 2010. Variabilidad del rendimiento y estabilidad de la calidad de grano en genotipos comerciales de colza-canola (*Brassica napus* L.) en Argentina. Revista Análisis de Semilla, 13: 96-101.
- Agosti, M.B. 2011. Fertilización nitrógeno-azufre y variabilidad genotípica en el rendimiento y calidad de grano en colza-canola (*Brassica napus* L.) Tesis para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires. 125 p.
- Andrade, J.F.; S.L. Poggio; M. Ermacora and E.H. Satorre. 2017. Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *European Journal of Agronomy* 82:1-10.
- Angadi, S.V.; H.W. Cutforth; B.G., Mc Conkey, and Y. Gan. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. *Crop Science* 43: 1358-1366.
- Arnoud F. 1989. Colza: sélection, variétés. Cahier technique. CETIOM. París. Francia. 28p.
- Bonamico, F.2012. Caracterización fenológica de genotipos de canola en 2 fechas de siembra en la Región Pampeana Argentina. Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 48 p.
- Botto, J.F., Menéndez, Y.C., y D.P. Rondanini. 2017. Mesa Panel: Biotecnología en cultivos oleaginosos. XI Simposio Nacional de Biotecnología, RedBIO 2017. Bahía Blanca, Argentina. 11 al 13 Setiembre 2017.
- Bouttier C. and D.G. Morgan. 1992. Ovule development and determination of seed number per pod in Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Experimental Botany*. 43 (5):709-714.
- Clavijo, M.R. 2014. Efectos del estrés por altas temperaturas post-floración sobre el rendimiento y la calidad de grano de colza-canola primaveral (*Brassica napus* L.). Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA, 36 p
- Canola Council. 2018. Disponible en www.canola-council.org
- Dejoux , F.;Marc J.,Meynard and R. Raymond. 2009. Very early sowing of winter oilseed rape improves its environmental balance without negative consequences on production Bulletin CETIOM.
- Echarte, M.M.; P. Angeloni; F. Jaimés; J., Tognetti; N.G., Izquierdo; O. Valentinuz and L.A.N., Aguirrezábal. 2010. Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil, *Field Crops Research* 119: 27-35
- FAO. 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base de datos estadísticos. Disponible en forma electrónica: <http://www.fao.org>
- Fischer, R.A.; D. Byerlee and G.O.; Edmeades. 2009. Can technology deliver on the yield challenge to 2050? In: *FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, Rome, June 24-26
- Fontaneto H.; G. Gianinetto; E. Weder; S.Gambaudo; M. Sillón y H Boschetto. 2011. Fertilización de colza con nitrógeno y azufre en la región central de Santa Fe. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno. Publicación Miscelánea N° 119

- Gaetan, S. and M. Madia .2004. First report canola powdery caused by *Erysiphe polygoni* in Argentina. *Plant Dis.* 88: 1163 pp.
- García, G.A.; D.J. Miralles; R.A. Serrago; I. Alzueta; N. Huth and, M. F. Dreccer. 2018. Warm nights in the Argentine Pampas: Modelling its impact on wheat and barley shows yield reductions. *Agricultural Systems* 162: 259–268.
- Gieco, L. 2016. Presentan la primera variedad de colza del país. (<http://intainforma.inta.gov.ar/>)
- Gómez, N.V. 1993. La colza y los glucosinolatos. *Revista Oleaginosos*, 5: 23-26.
- Gómez, N.V; D.J. Miralles y G.A. Slafer .2002. Cambios en el número de granos en colza-canola relacionados con la respuesta al fotoperíodo en etapas reproductivas. XI Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal, XXIV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal y I Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal. pág. 116
- Gómez, N.V; M.B. Belén Agosti y D.J. Miralles. 2006. Colza-Canola: como alternativa para producir biocombustibles. *Bioenergía: avances y perspectivas*. F. Vilella ed. 202 p.
- Gómez, N.V., M.B. Belén Agosti y D.J. Miralles. 2006. Fenología y generación del rendimiento del cultivo de colza-canola. *Reinvención & Prospectiva*. XV Congreso de AAPRESID. 295-302.
- Gómez, N.V. 2007. Respuestas al fotoperíodo y a la vernalización en etapas vegetativas y reproductivas en colza-canola: Efecto sobre el rendimiento y sus componentes. Tesis para optar al grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires. 86 p.
- Gomez, N.V. and D.J. Miralles .2011. Factors that modify early and late reproductive phases in oilseed rape (*Brassica napus* L.): Its impact on seed yield and oil content. *Industrial Crops and Products*. 34: 1277-1285.
- Gómez N.V.; M.P. Vilariño y D.J. Miralles. 2013. Colza. En *Cultivos Industriales*. E. de la Fuente, A. Gil, A. Kantolic, M. López Pereira, E. Ploschuk, P. Gimenez, N.V. Gómez, A. Lenardis, D. Sorlino, M. P. Vilariño, D. Wassner y L. Windauer. Editorial Facultad de Agronomía. 3ra Ed-. Buenos Aires. 835 p.
- Gómez, N.V.; A.I. Mantese; D.P. Rondanini; M.P. Vilariño y D.J. Miralles. 2013. Cambios en la estructura morfo-anatómica de órganos reproductivos en colza en respuesta al estrés térmico y lumínico. *Boletín Soc. Argent. Botánica* 48 (Supl.): 189.
- Gómez, N.V.; D.J. Miralles y D.P. Rondanini .2016. ¿La colza: un cultivo solo de invierno? *Actas de Reunión Argentina de Agrometeorología y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología*. Actas del Congreso en CD.
- Gómez, N.V.; D.J. Miralles y D.P. Rondanini. 2017. Fenología y rendimiento de colza primaveral sembrada en verano. *Actas del Congreso de Botánica*. Mendoza, Argentina
- Goffman, F.D. 2000. Chemical Analysis, Genetic Variability and Inheritance of Tocopherol Contents in Seeds of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Doctoral Thesis. Faculty of Agricultural Sciences Georg-August- University Göttingen. Germany. 102 p.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, <https://inta.gov.ar/variedades/macacha-inta>
- Iriarte, L. y Valetti, O. 2002. El cultivo de colza en Argentina. IDIA XXI. Año II. Nº3. Ediciones INTA. Argentina
- Iriarte L y O. Valetti. 2008. Cultivo de colza. Editorial INTA-MAAP. BsAs. 19 p
- Iriarte L.B. y Z. López. 2014. El cultivo de colza en Argentina. Situación actual y perspectivas. <http://www.agrositio.com>.
- Karamanukian, A.R. 2010. Generación del rendimiento en cultivares invernales y primaverales de canola (*Brassica napus* L.). Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 47p.
- Kirkegaard, J.; J. Lilleya; R. Brillb; A. Warec and C. Walelad .2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, 222: 180-188
- Lavado, R.; F. Gutierrez Boem; S. Torri y C. Porcille. 1995. Efecto del anegamiento invernal sobre el crecimiento, desarrollo, composición química y rendimiento de colza (*Bassica napus* L.). En *actas: Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Anual de Oleaginosos*. Buenos Aires. Argentina. 238 pp.
- Loncar, P. 2013. Efectos de la disminución en la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad de grano de Colza. Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 66p.

- Lo Valvo P.; D.J.Miralles and R.A.Serrago. 2018. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research*. In press.
- Menéndez, Y.C. 2016. Identificación y caracterización de regiones genómicas involucradas en el control de caracteres agronómicos asociados a la densidad en colza (*Brassica napus* L.). Beca doctoral UBA. En curso.
- Minagri: Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación. <http://www.agroindustria.gob.ar/>
- Miralles DJ; B. Ferro and G. Slafer. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Research* 71: 211-223.
- Miralles DJ y G.A. Garcia .2014. Implicancias del cambio climático sobre el rendimiento de cereales de invierno en la Región Pampeana. *Horizonte A* 59: 6-13.
- Morrison, M.J.1993. Heat stress during reproduction in summer rape. *Canadian of Journal* 71 (2)303-308.
- Morrison, M.J. and D.W.Stewart. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. *Crop Sci.* 42: 797-803.
- Murphy, GM y N.C. Pascale .1988. Agroclimatología de la Colza de Invierno (*Brassica napus* L. Ssp. Oleifera (Metz) Sinsk f. Annuia) y su posible difusión en la Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 9 (1): 73-90.
- ODEPA, 2018. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile. <http://www.odepa.gob.cl>
- OGTR .2002. The biology and ecology of canola. <http://www.ogtr.gov.au/>
- Pascale, N.C y G. Muphy. 1991. La colza "doble cero" en la Argentina. *Revista Oleaginosos*, N° 0: 16-17
- Pascale, N.C.; E., Sierra; A., Lamas y N.G. Gómez .1991. Resultados Preliminares de la Red de Ensayos de Procolza. *Actas Primeras Jornadas Técnicas de Colza Doble Cero. Bolsa de Cereales*.72 p.
- Peltonen-Sainio, P.; L. Jauhiainen; M. Trnkab; J.E. Olesenc; P. Calanca; H. Eckersten; J. Eitzinger; A.Gobing; K. Ch. Kersebaum; J.Kozyra; S.Kumar; A. Dalla Marta; F.Micale; B.Schaap; B.Seguín; A. O.Skjelvágo and S. Orlandini .2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment* 139(4):483-489.
- Piergentile, B. 2016. Evaluación de genotipos de colza primaveral en fechas de siembra tardías. Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 57p
- Polowick, P.L.; V.K. Sawhney. 1988. High temperature induced male and female sterility in canola (*Brassica napus* L.) *Annals of Botany*. 62 (1): 83-86
- Rao, M.S and P.L., Reimer.1991. Vernalization and photoperiod for the adaptability of rapeseed to the south eastern United States. In Mc Gregor, DI (ed.) "Proceedings of the Eight International Rapeseed Congress, Saskatoon, Saskatchewan Canadá. p.738-742.
- Rava, C y G. Souto.2017. Colza, ¿una nueva opción de exportación? *Estudios de Economía Agraria y Ambiental*. No. 17-01
- Reynolds, M. 2015 Mitigación del estrés térmico post-floración en cultivos de colza de distinta densidad. Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA, 26 p.
- Rodriguez, D.; M.A. Oyarzabal y M.C. Pomar. 1995. Crecimiento y desarrollo de colza -canola. Efecto de deficiencias fosforadas y limitaciones hídricas. En: *actas del Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Anual de Oleaginosos*. Buenos Aires. Argentina. 238 pp
- Rondanini, D., R. Savin, A. Hall. 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Res.* 83, 79-90.
- Rondanini, D., A. Mantese, R. Savin, A. Hall. 2006 Responses of sunflower yield and grain quality to alternating day/night high temperature regimes during grain filling: Effects of timing, duration and intensity of exposure to stress. *Field Crops Res.* 96, 48-62.
- Rondanini, D.P.; N.V.Gómez; M.B.Agosti and D.J. Miralles. 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy* 37: 56-65.
- Rondanini, D.P., M.P.Vilariño, M.E, Roberts, M,A, Polosa, and J.F. Botto. 2014. Physiological responses of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) to red/far-red ratios and light irradiance on pre and post flowering stages. *Physiologia Plantarum* 152: 784-794

- Rondanini, D.P.; N.V. Gómez; Y. Menéndez; J. Botto y D.J. Miralles. 2017. La colza se adapta a nuevos escenarios. Revista Técnica de AAPRESID, Cultivos Invernales SD.
- Rondanini, D.P., Y.C. Menendez; N.V. Gómez; D.J. Miralles, D.J. and J.F. Botto. 2017. Vegetative plasticity and floral branching compensate low plant density in modern spring rapeseed. *Field Crops Research* 210: 104-113.
- Rosillo-Calle, F. 2016. A review of biomass energy – shortcomings and concerns. *Journal of Chemical Technology*, 91: 1933–1945
- Rubio, G.; R. Lavado; M. Taboada; A; J. Scheiner; M. Zubillaga y G. Vrdoljak. 1996. Ventajas de la fertilización combinada en Colza-Canola. *Revista Oleaginosos*, pp. 16.
- Sarandón, S.J.; A.M. Chamorro; L.N. Tamagno y R. Bezus. 1995. Acumulación y partición de materia seca en colza-canola (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera*) bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Primer Congreso Nacional de soja. Segunda Reunión nacional de Oleaginosos. Pergamino (BA). Argentina Tomo II-VI: 83-89
- Schwägerl, Ch. 2015. Europe tackles excess nitrogen. *Yale School of Forestry Environmental Studies. Environmental Journalist E360's*
- Simopoulos, A. 2016. An increase in the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3):1-17
- Sylvester-Bradley, R. and R.J. Makepeace. 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Aspects of Applied Biology*, 6: 399-419.
- Takashima, N.E; D.P. Rondanini; L.E. Puhl and D.J. Miralles. 2013. Environmental factors affecting yield variability in spring and winter rapeseed genotypes cultivated in the southeastern Argentine Pampas. *European Journal of Agronomy* 48:88-100
- Traber, M.G and H. Sies, 1996. Vitamin E in humans: demand and delivery. *Annual Reviews Nutrition* 16:321-347
- Urricariet, A.S; M.S. Zubillaga; M.M. Zubillaga and R. Lavado. 1995. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake two rapeseed cultivars in an Argentinean soil. 1995. *Journal of Plant Nutrition*. 18(2): 305-315.
- Valetti, O. 1989. Fertilización en colza. Informe técnico sobre la encuesta de la campaña 78/79 en el sudeste de Buenos Aires. 10 pp
- Vaisey-Genser, M. and Michel Eskin, N.A. 1987. Nutritional properties. *Canola Oil. Properties and Performance*, 51p.
- Vilariño, M.P; D.P., Rondanini y D.J. Miralles .2009. Variabilidad en rendimiento y calidad en genotipos de canola contrastantes en duración de ciclo. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 44 (3-4) 78
- Vilariño, M.P.; D.P., Rondanini y D.J., Miralles. 2012. Calidad de grano en canola (*Brassica napus* L.): Relación con el ambiente post floración. XXIX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal.
- Volpe, F. 2014. Efecto de estrés por baja radiación, alta temperatura y su combinación sobre el rendimiento de colza-canola primaveral (*Brassica napus* L.)" Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 40 p.
- Zabala, S. 2013. Efectos de la radiación y la temperatura post floración sobre el rendimiento del cultivo de colza - canola (*Brassica napus* L.) Trabajo de intensificación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la UBA. 40 p.