

CAPÍTULO 5

Morfología y ecofisiología del cultivo de colza

Adriana M. Chamorro y Rodolfo Bezus

Ubicación sistemática y origen de la colza

Las especies cuyas semillas se comercializan con el nombre de colza son *Brassica napus* L., *Brassica campestris* L. y *Brassica juncea* L. y pertenecen a la familia de las crucíferas (*Brassicaceae*). Tanto para *B. napus* como para *B. campestris* se cultiva como oleaginosa la subespecie *oleifera*. En ambos casos presentan dos formas botánicas, *annua* y *biennis*, las cuales se diferencian por los requerimientos de vernalización, que son altos en la forma *biennis* y son reducidos o no existen en la forma *annua* (Giayetto, 1995).

Para *B. campestris* (= *B. rapa*) se consideran tres centros de origen: Asia, Región Mediterránea y Europa Occidental. *B. napus*, que es un anfidiplóide ($n=19$) resultado del cruzamiento entre *B. campestris* ($n=10$) y *B. oleracea* ($n=9$), probablemente se originó, en zonas donde existían esas dos especies (Pascale, 1976). *Brassica campestris* y *Brassica napus* son ampliamente cultivadas en Europa, Canadá y Australia. *Brassica juncea* ($n=18$) es más cultivada en Asia y es un anfidiplóide originada por el cruzamiento de *B. campestris* y *B. nigra* ($n=8$) (Giayetto, 1995).

Descripción morfológica

La colza es una planta anual, herbácea. El tallo es erecto y glabro, su altura varía entre 1 y 1,70 m y presenta ramificaciones en número variable según el cultivar, la densidad de siembra y las condiciones de crecimiento. Posee una raíz pivotante bien desarrollada que, en ausencia de restricciones explora bien el perfil del suelo y le otorga un buen comportamiento ante las sequías. Puede alcanzar profundidades de 1,10 m, si bien la mayor parte del peso seco está concentrado en los 0,40 m superiores del suelo.

Las hojas se disponen en forma alterna sobre el tallo, son glabras y de color verde más o menos azulado. Su forma varía según su posición sobre el tallo y el momento de aparición. Las basales son lobuladas, de 10 a 30 cm de largo por 5 a 10 cm de ancho, y son pecioladas. Las del estrato medio son más pequeñas y poseen un pecíolo corto. Las hojas superiores son de menor tamaño, no poseen pecíolo ni lóbulos y su forma permite diferenciar las especies. En *B.*

campestris la parte basal de la lámina rodea completamente el tallo, en *B. juncea* la misma no llega hasta el tallo y en *B. napus* es intermedia (Pascale, 1976) (Figura 5.1).

Las flores son hermafroditas, con 4 sépalos amarillos escamosos, 4 pétalos amarillos dispuestos en cruz, ovario súpero bicarpelar, androceo formado por 6 estambres 4 largos y 2 cortos. Se encuentran reunidas en racimos y su maduración es ascendente dentro de la inflorescencia, comienza por el tallo principal y continúa por las ramificaciones. En *B. campestris* los pimpollos quedan en la inflorescencia por debajo de las flores abiertas, mientras que en *B. napus*, en general, están por encima de ellas (Pascale, 1976) (Figura 5.1). Se trata de una especie semiautógama y la polinización es realizada por el viento (anemófila) y los insectos (entomófila).



Figura 5.1: Detalle de la inserción de las hojas superiores y la disposición de los pimpollos en las inflorescencias de *Brassica napus* (izquierda) y *Brassica campestris* (derecha)

El fruto es una silicua verde claro, formada por dos carpelos separados por un falso tabique llamado replum. Mide 6-8 cm de largo y 4-5 mm de ancho. En madurez, los carpelos se separan fácilmente del tabique central determinando la dehiscencia del fruto. Cada fruto contiene 15 a 18 semillas, número variable con el cultivar, factores ambientales y tecnológicos (Figura 5.2).

Las semillas son castaño rojizas o negruzcas, casi esféricas, de 2 a 2,5 mm de diámetro. El peso de las 1000 semillas es variable entre 2 y 5,5 gramos. La semilla contiene muy poco endosperma y el embrión consta de dos cotiledones que contienen alrededor del 80% del aceite de la semilla.



Figura 5.2: Frutos y semillas de colza

Crecimiento y desarrollo del cultivo

Para manejar eficientemente el cultivo es necesario conocer cómo crece y se desarrolla, así como los factores que lo afectan. El crecimiento y desarrollo de la colza se divide en etapas con diferentes comportamientos en las que ocurren distintos procesos y tienen distintos requerimientos. Estas etapas pueden ser fácilmente identificables utilizando claves fenológicas diseñadas por distintos autores. Para la colza, la clave más utilizada en nuestro país es la desarrollada por el CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oleagineux Metropolitains, 1978) (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Clave fenológica desarrollada por el CETIOM

Estado	Descripción
Nacimiento	Las plántulas marcan la línea
Plántula	A. Estado cotiledonal. No hay hojas “verdaderas”. Sólo dos cotiledones visibles
Roseta	B1. Una hoja verdadera desplegada B2. Dos hojas verdaderas desplegadas B3. Tres hojas verdaderas desplegadas Bn. n hojas verdaderas desplegadas C1. Aumento de vegetación. Aparición de hojas jóvenes
Elongación	C2. Entrenudos visibles. Se ve un estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos: es el tallo D1. Yemas unidas, todavía escondidas por las hojas terminales D2. Inflorescencia principal despejada. Yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles E. Yemas separadas. Los pedicelos florales se alargan comenzando por los de la periferia
Floración-Maduración	F1. Primeras flores abiertas F2. Alargamiento de la vara floral. Numerosas flores abiertas G1. Caída de los primeros pétalos. Las 10 primeras silicuas tienen un largo inferior a 2 cm G2. Las 10 primeras silicuas tienen un largo comprendido entre 2 y 4 cm G3. Las 10 primeras silicuas tienen un largo superior a 4 cm G4. Las 10 primeras silicuas comienzan a madurar G5. Granos coloreados

La figura 5.3 muestra la acumulación de materia seca por un cultivo de colza a lo largo de su ciclo y su partición en los diferentes órganos presentes en los sucesivos estados fenológicos. A continuación, se describen las etapas de crecimiento indicando la correspondencia con la clave mencionada.

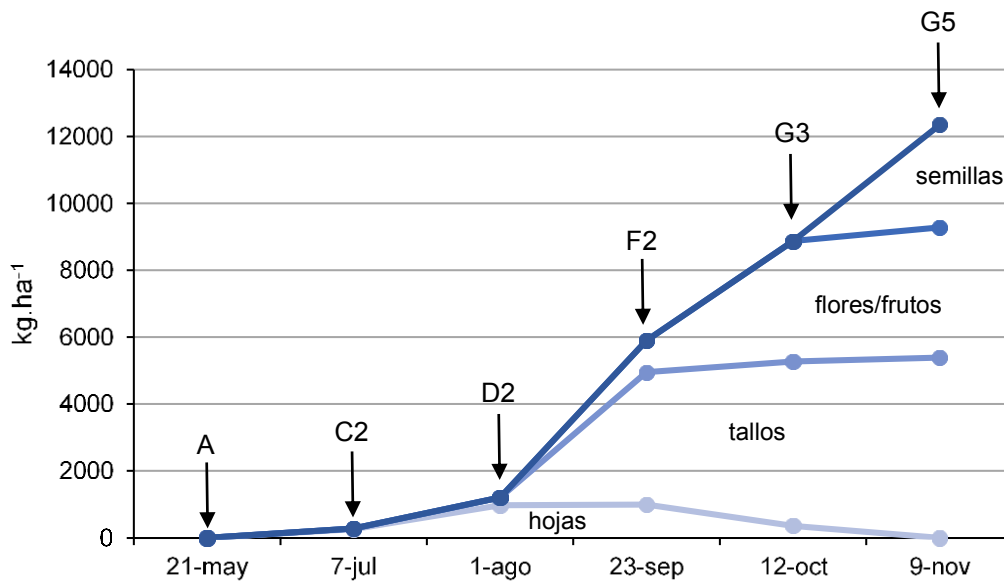


Figura 5.3: Acumulación de materia seca por el cultivar de colza Impulse (La Plata, 2004)

Implantación (siembra – B1)

Una vez depositada la semilla en el suelo, se inicia el proceso de germinación, que implica la absorción de agua, ruptura de la testa y la aparición de la radícula. Luego, la raíz crece desarrollando los pelos absorbentes, asegurando el anclaje. El hipocótilo comienza el crecimiento empujando los cotiledones a través del suelo hasta alcanzar la emergencia.

En condiciones favorables, a los 7-10 días de la siembra, la plántula desarrolla un pequeño tallito de 1 a 2,5 cm. Los cotiledones, de forma acorazonada, se expanden, se vuelven verdes y comienzan a fotosintetizar (Figura 5.4). La raíz también continúa su desarrollo. El meristema apical se encuentra sobre el suelo, entre los dos cotiledones, por lo cual es susceptible a heladas, al encostramiento del suelo, a los insectos, granizo o cualquier adversidad que afecte la plántula por debajo de los cotiledones (Canola Council of Canola, 2021).

A nivel de cultivo, la duración de este período puede variar considerablemente en función de la temperatura y la humedad.

Roseta (B2 – C1)

Durante esta fase, la yema terminal forma rítmicamente los primordios foliares y sus esbozos de entrenudos. La planta establece rápidamente una roseta con las hojas más maduras en la base, que aumentan de tamaño, y las más jóvenes y pequeñas en el centro. El tallo permanece sin elongarse y aumenta su grosor (Figura 5.4).

El sistema radical continúa su desarrollo, con la formación de las raíces secundarias. Un rápido desarrollo de las hojas es importante para lograr una temprana y completa interceptación de la luz. Se estima un valor de 4 para el índice de área foliar crítico, es decir, aquel que permite interceptar un 90% de la radiación incidente (Canola Council of Canola, 2021). Además, un buen desarrollo foliar favorece el crecimiento de la raíz, reduce la evaporación de la humedad del suelo y otorga una mejor competencia por luz frente a las malezas.

Durante esta etapa, la planta se caracteriza por una baja ganancia diaria de materia seca (Figura 5.3). Una vez expandidas las primeras hojas, el cultivo adquiere una alta tolerancia frente a las heladas. También es reconocida su resistencia a la sequía en la etapa de roseta, aunque, en realidad, las plantas presentan una muy rápida recuperación posterior a situaciones de estrés hídrico. Esto es posible gracias a un tipo especial de raíces (“raíces de sequía”) que emiten a medida que disminuye la dotación hídrica del suelo, que les permite un rápido desarrollo radical cuando las condiciones hídricas se restablecen (Leterme, 1988).

Esta etapa presenta enormes variaciones en su duración, especialmente, como respuesta a dos factores: forma botánica y fecha de siembra. Ya se mencionó que tanto *B. napus* ssp *oleifera* como *B. campestris* ssp *oleifera* presentan dos formas botánicas: la forma *biennis* requiere vernalización y es conocida como colza de invierno, la forma *annua* es conocida como colza primaveral. La colza invernal debe sembrarse antes que la primaveral, a inicios del otoño y, usualmente, florece en una fecha posterior. Por otro lado, si la colza se siembra más tarde, una vez entrado el invierno, se producirá un acortamiento general del ciclo del cultivo, pero más acentuado en las etapas de roseta y de elongación del tallo.

Elongación del tallo (C2 – E)

Luego de una etapa de vernalización (de ser requerida), el alargamiento de los días y el aumento de la temperatura determinan el pasaje al estado reproductivo, produciéndose la iniciación floral de la yema terminal y, a continuación, las yemas forman los esbozos florales. En este momento queda definido el número máximo de hojas del tallo principal: las fotosintéticamente activas en ese momento y las denominadas en “stock” a nivel del ápice (Leterme, 1988).

El tallo principal empieza a elongarse y luego se hacen visibles los botones florales en el extremo (Figura 5.4). Las hojas se expanden y los botones florales se van separando mientras el tallo se alarga. De las axilas de las hojas superiores, aparecen ramificaciones secundarias que desarrollan 1 a 4 hojas y un racimo floral cerrado. Justo antes de la floración, el tallo principal alcanza 30 a 60% de su longitud máxima y la planta llega a acumular entre el 30 y el 60% de la producción de la materia seca total, siempre dependiendo de las condiciones de crecimiento (Canola Council of Canada, 2021).

El área foliar máxima se alcanza generalmente cerca del inicio de la floración y comienza a declinar con la pérdida de las hojas inferiores. Las hojas, especialmente las superiores, en esta etapa son la principal fuente de fotosintatos para el crecimiento de tallos e inflorescencias (Canola Council of Canada, 2021).

Alcanzar rápidamente una gran área foliar y mantenerla más allá del comienzo de la floración, condiciona fuertemente el número de frutos y el crecimiento temprano de la semilla sobre el tallo principal y las primeras ramificaciones secundarias (Leterme, 1988).

En esta etapa se produce también un importante crecimiento del sistema radical que se mantiene o aumenta durante la etapa siguiente (Chamorro y Tamagno, 2004).

La duración de esta etapa es altamente influenciada por la época de siembra y también tiene un fuerte componente genético puesto que registra importantes diferencias entre cultivares (Chamorro et al., 2006; 2009).

Floración – fructificación (F1 – G4)

La colza se caracteriza por poseer un crecimiento de tipo indeterminado por lo cual las etapas reproductivas presentan una gran superposición de los procesos de crecimiento de tallos y ramificaciones, expansión de nuevas hojas, senescencia de las hojas basales, producción de flores, conversión de éstas en frutos, crecimiento de los mismos y llenado de las semillas. Por este motivo, no es posible hacer una separación neta en etapas una vez iniciada la floración, como lo es en otros cultivos.

La floración comienza con la apertura del primordio más bajo en la inflorescencia principal y continúa hacia arriba con 3 a 5 o más flores que abren por día. La floración en la base de la primera ramificación secundaria comienza 2 o 3 días después que en la principal (Canola Council of Canada, 2021).

De esta manera, las primeras flores en abrirse se convierten en las silicuas más bajas de las inflorescencias, en el medio están las flores abiertas y en el extremo, los primordios (Canola Council of Canada, 2021).

Normalmente, la planta produce más primordios florales que los que pueden desarrollar como fruto, por lo tanto, las flores abren, pero los frutos jóvenes abortan y caen eventualmente de la planta. Este fenómeno es particularmente importante en la colza: se estima que sólo entre un 40 y un 55% de las flores producidas desarrollan frutos que llegan a ser cosechados (Canola Council of Canada, 2021). Las últimas flores en abrir son las que tienen mayor tasa de aborto. Si en la floración temprana, las condiciones de crecimiento son desfavorables, o se producen daños que causan el aborto de flores o silicuas, la planta puede recuperarse rápidamente por el desarrollo de primordios que hubieran abortado en condiciones normales (Leterme, 1988; Mistrorigo et al., 2014). Si se dañan las ramificaciones superiores, la planta puede desarrollar nuevas ramificaciones en las axilas de hojas más bajas (Leterme, 1988).

Al inicio de la floración, las hojas son la principal fuente de fotosintatos para el crecimiento de la planta. A medida que avanza la floración, cuando las silicuas más bajas han comenzado el alargamiento, debido a la senescencia de las hojas el área foliar va decayendo y el tallo se convierte en la fuente principal de fotoasimilados (Leterme, 1988).

El número de granos de la silicua se determina muy temprano, algunos días después de la fecundación, y depende del flujo de asimilados carbonados hacia la silicua (Leterme, 1988).

Cuando caen los pétalos de la última flor del tallo principal, el proceso predominante en la planta es el llenado de las semillas. En este estado, el tallo y las paredes de las silicuas son las principales fuentes de fotosimilados para el crecimiento, dado que el área de los frutos aumenta notablemente y el área foliar se ha reducido drásticamente (Canola Council of Canada, 2021) (Figura 5.4). En esta etapa se producen los procesos de síntesis de aceite y de proteínas.

Cerca de 35 a 45 días después de la apertura de la flor, se completó el llenado de la semilla. La semilla verde y firme tiene reservas adecuadas de aceite y proteína para la germinación y el crecimiento de la plántula (Canola Council of Canada, 2021).

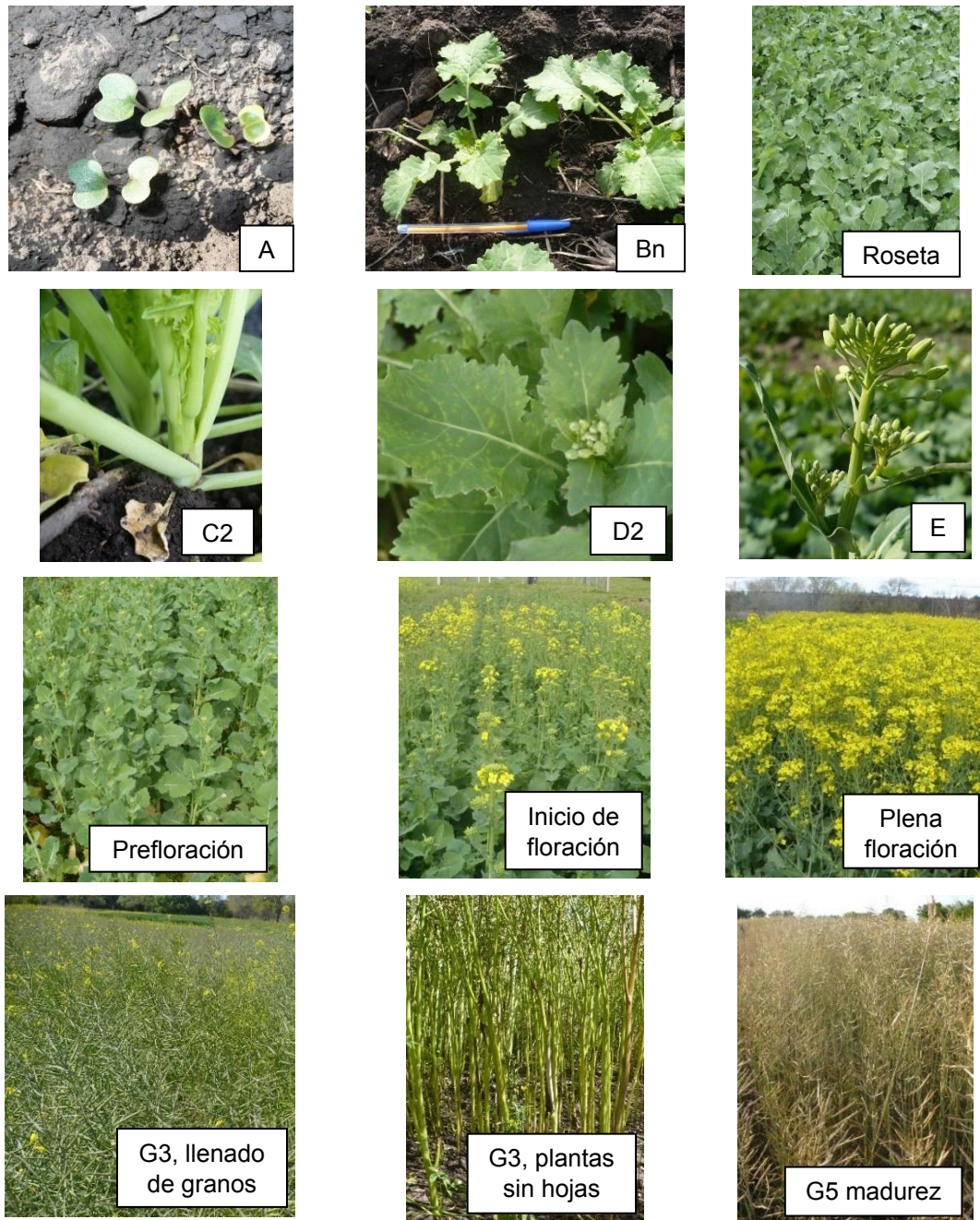


Figura 5.4: Imágenes de distintos estados fenológicos de la colza.

En resumen, el número de flores formadas, el número de flores que se transforman en fruto, el número de semillas por fruto y el peso individual de las semillas dependen estrechamente de la nutrición carbonada, la cual es aportada inicialmente por la fotosíntesis de las hojas, más tarde de los tallos y finalmente, de las silicuas (Leterme, 1988).

Maduración (G4 – G5)

El llenado de la semilla es seguido por el proceso de maduración caracterizado por los cambios del color de la planta. Cuando la floración finalizó, la mayoría de las hojas han amarilleado y caído de la planta, los tallos y frutos se tornan de color pajizo y se vuelven quebradizos mientras se desecan (Canola Council of Canada, 2021) (Figura 5.4).

En madurez fisiológica la semilla contiene cerca de 40% de humedad. La cubierta seminal pasa de verde a marrón rojizo. La humedad se pierde rápidamente a razón de 2 a 3% o más por día, dependiendo de las condiciones ambientales. Cuarenta a sesenta días después de la primera flor, las semillas de las silicuas más bajas habrán madurado y cambiado totalmente de color verde a negro. Cuando el 30 a 40% de las semillas en una planta tienen color de madurez, las semillas de los últimos frutos formados están al final de la etapa de llenado y el promedio de la humedad será alrededor de 30-35%. Finalmente, cuando todas las semillas han cambiado de color, la planta muere (Canola Council of Canada, 2021).

Determinación del rendimiento en colza

Como en otros cultivos, el rendimiento de la colza puede ser expresado a través de sus componentes numéricos: número de plantas por unidad de superficie, número de silicuas por planta, número de semillas por silicua, peso individual de las semillas y, por tratarse de una oleaginosa, el porcentaje de aceite de las mismas. A nivel de cultivo, debido a la densidad de siembra relativamente alta y a la gran plasticidad morfológica que presentan las plantas, que les otorga una alta capacidad de compensación, suelen agruparse los primeros componentes y se reducen a tres componentes principales: número de semillas por unidad de superficie, peso individual de las mismas y porcentaje de aceite. Las variaciones en el rendimiento en semilla son mejor explicadas por cambios en el número de semillas que en su peso individual (Apella, 2012).

Estos componentes se van generando sucesiva y también simultáneamente durante el ciclo del cultivo. El primero, **densidad de plantas**, tiene comparativamente con el resto, un período de determinación más corto y definido que abarca desde la siembra, incluida la implantación del cultivo, hasta los primeros estados vegetativos (Figura 5.5). Evidentemente, las cuestiones relacionadas con las condiciones de siembra y los riesgos de heladas o incidencia de plagas o enfermedades serán los que permitan o no el logro de un buen stand de plantas.

El número potencial de **silicuas por planta** empieza a definirse una vez que se produjo el cambio del ápice y la planta comienza a diferenciar primordios florales, pero el período de

determinación es más acotado abarcando desde el inicio de floración (F1) hasta el inicio de crecimiento de silicuas (Figura 5.5). Como ya fue mencionado, la definición de este componente depende de la disponibilidad de fotoasimilados durante la floración del cultivo. Este es, además, el componente que registra más variación frente a los diversos factores que afectan el crecimiento y rendimiento del cultivo y es el que otorga a la colza la altísima capacidad de compensación frente a modificaciones en el stand de plantas logrado. La **cantidad de semillas en cada silicua** se fija casi inmediatamente después de la fecundación de la flor, por lo que su determinación es prácticamente simultánea con el número de silicuas por planta (Figura 5.5). Sin embargo, la ocurrencia de un estrés previo a la floración que determine un bajo número de silicuas por planta puede no resultar en disminuciones importantes del rendimiento debido a una compensación a través de un mayor número de semillas por silicua, siempre que las condiciones ambientales lo permitan (Apella, 2012). El período de llenado de las semillas se inicia cuando caen los pétalos de las últimas flores del tallo principal y su **peso individual** queda establecido alrededor de los 40 días después del inicio de floración (Figura 5.5). La síntesis de ácidos grasos y acumulación de **aceite** en las semillas se incrementa a partir del llenado efectivo de los granos para alcanzar su punto máximo alrededor de la madurez fisiológica (Figura 5.5). Si bien existe un efecto genético en la determinación de esta variable, también es afectada por las temperaturas durante las cuales transcurre la etapa ya que regulan la duración de la misma.

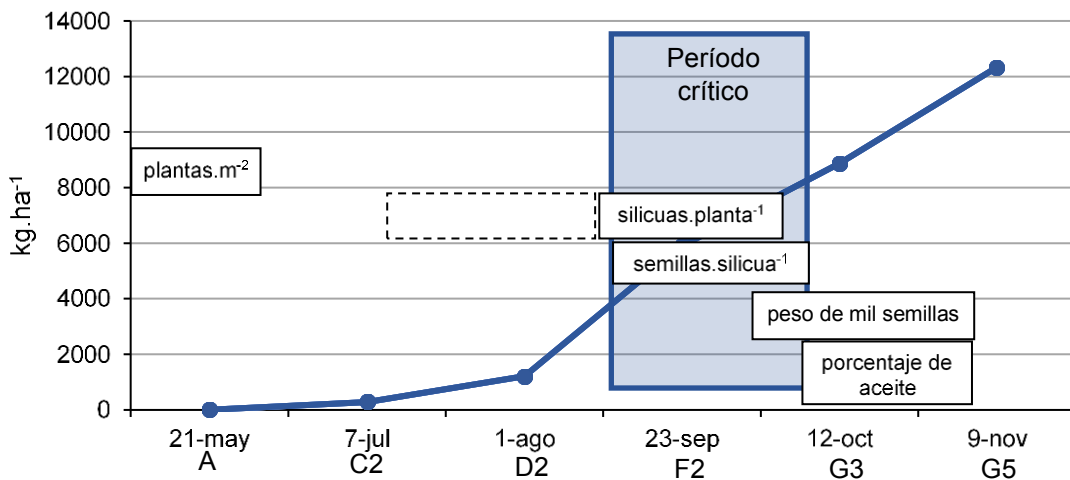


Figura 5.5: Período de determinación de los componentes del rendimiento y período crítico para la definición del rendimiento en colza

Si bien estos componentes se van generando durante el desarrollo fenológico del cultivo es posible identificar un **período crítico** para la definición del rendimiento en el cual una disminución en la disponibilidad de los recursos o un estrés cause una importante reducción del rendimiento final. En el caso de la colza, generalmente se acepta que este período crítico para producción de semillas es la floración.

Distintos autores han intentado precisar mejor este período a los fines de utilizar esa información, tanto sea para diseñar estrategias de manejo del cultivo como para propósitos de

mejoramiento genético. Así, varios autores propusieron que se ubica aproximadamente en los 350°Cd siguientes al inicio de la floración, equivalente a unos 20-30 días (Mendham et al., 1981; Habekotté, 1997; Morrison y Stewart, 2002). En este período se define el nivel de aborto de flores y el número potencial de semillas por unidad de superficie, principal componente del rendimiento. Sin embargo, Apella (2012) indica que el período crítico se ubica un poco más avanzado el ciclo, entre plena floración y el final de la etapa de llenado de los granos. Según este autor, los primeros días luego del inicio de la floración no serían críticos debido a las características de la floración de la colza en cuanto a nivel de aborto y duración. Dichas particularidades le otorgan una alta capacidad de compensación frente estreses ambientales durante la misma, característica que se va reduciendo a medida que la floración avanza. En la misma línea, más recientemente, Kirkegaard et al. (2018) identificaron como crítico en la colza un período de 400°Cd que comienza a los 100°Cd del inicio de floración y se centra en los 300°Cd desde F1. En este período se concentraría la mayor cantidad de botones florales y flores recién abiertas que son los estados más sensibles a las deficiencias de fotoasimilados. Kirkegaard et al. (2018) señalan que la restricción de fotoasimilados en este período no sólo reduce el número de frutos logrados sino también la capacidad de sobrevivencia de los que se formen y una menor capacidad de compensarlos a través de un mayor número de semillas por silicua y del peso individual de las semillas.

Requerimientos climáticos y edáficos del cultivo de colza

Requerimientos térmicos y fotoperiódicos

Los factores ambientales que regulan el crecimiento y desarrollo del cultivo son la temperatura y el fotoperíodo. La colza se adapta a climas templados y templado-fríos.

La germinación es óptima con temperaturas de entre 15,5 y 28°C, y se ve casi impedida con temperaturas del suelo por debajo de 9,5°C. Por este motivo, no son recomendables siembras con temperaturas del suelo por debajo de los 11°C debido al alto riesgo de pérdida de plantas.

Durante las primeras etapas de crecimiento, desde el estado cotiledonal hasta el desarrollo del primer par de hojas, que puede durar entre 25 y 40 días, la colza es muy sensible a las heladas (Iriarte et al., 2008) por lo que cobra relevancia la elección de la fecha de siembra. Una vez desarrollada la roseta, la colza adquiere resistencia a las heladas. Durante esta etapa, los materiales invernales tienen requerimientos de vernalización u horas de frío como una condición para el pasaje al estado reproductivo y la floración. Las temperaturas vernalizantes se sitúan entre 4 y 8°C. Los materiales primaverales no requieren vernalización o sus exigencias son muy reducidas, pero entre los materiales invernales existen genotipos con altos y bajos requerimientos de vernalización. Si esos requerimientos no se cumplen el cultivo puede retrasar demasiado la floración o, incluso, no llegar a producirse en la totalidad de las plantas. De acuerdo con esto, hay zonas de nuestro país en la que no es posible utilizar colzas de tipo invernal por no poder

cubrirse tales requerimientos. De la misma manera, cobra especial importancia la fecha de siembra, aún en zonas con inviernos fríos, a fin de cubrir estas exigencias.

Una vez producida la diferenciación floral en las plantas (C2), durante el crecimiento activo propio de la elongación les son favorables temperaturas frescas, algo superiores a 20°C. En la floración, las temperaturas óptimas se encuentran alrededor de los 20°C, con un rango de 12 a 30°C (Iriarte et al., 2008). Las heladas pueden provocar el derrame de las flores disminuyendo el rendimiento. Sin embargo, si no son muy intensas, sólo afectan las flores abiertas, sin producir daño a las silicuas inferiores ni a los botones florales cerrados, los cuales continúan normalmente su desarrollo. Además, la pérdida de las flores abortadas podría ser compensada por una mayor eficiencia reproductiva de las flores más tardías, minimizando el efecto de las heladas sobre el rendimiento (Coll, 2013).

Por otro lado, temperaturas altas (mayores a 30°C) tampoco son favorables ya que acortan la floración, el tiempo en que las flores están receptivas y el período de producción de polen (Canola Council of Canada, 2021).

Durante el llenado de las semillas, la etapa debería transcurrir con temperaturas de entre 10 y 15°C a fin de lograr un óptimo contenido y calidad de aceite, condición que no se registra en nuestra zona de producción. Temperaturas elevadas aceleran la tasa de llenado de las semillas, pero acortan la duración de la etapa condicionando la obtención de semillas de menor tamaño y con menor contenido de aceite (Si y Walton, 2004; Ghobadi et al., 2006).

El efecto de la temperatura sobre el desarrollo se analiza a través del tiempo térmico. Para su cálculo, una definición necesaria es la determinación de la temperatura base a utilizar. Es cierto que la temperatura base puede variar entre materiales genéticos y también a lo largo del ciclo del cultivo (Pascale et al., 1994), sin embargo, para facilitar los cálculos y las comparaciones, en la colza primaveral, de acuerdo con Morrison et al. (1989) suele tomarse como temperatura base los 5°C. Con esta base, en nuestro país, han sido calculados los tiempos térmicos necesarios para distintas etapas, pero los más relevantes son los requeridos para la etapa emergencia – floración (A-F1) y emergencia – madurez (A-G5). Para híbridos y variedades primaverales, los requerimientos hasta floración varían entre 400 y 540°Cd, mientras que para materiales primaverales tardíos (Mistral) e invernales, se ubicaron entre 540 y 640°Cd (Chamorro et al., 2006; Chamorro y Bezus, 2010; Apella, 2012). Para el cumplimiento total del ciclo, fueron necesarios entre 980 y 1250°C para el primer grupo y entre 1200 y 1440°C para el segundo (Chamorro et al., 2006; Chamorro y Bezus, 2010; Apella, 2012).

Con respecto al comportamiento fotoperiódico, la colza es considerada una planta cuantitativa de día largo, es decir, el período a floración se acorta a medida que se alargan los días. El umbral fotoperiódico se estima entre las 13 y 14 h. La respuesta de la colza al fotoperíodo se registra durante la etapa vegetativa (roseta) como estímulo para la diferenciación del ápice, pero también se ha mencionado sensibilidad al fotoperíodo durante la etapa reproductiva (elongación) (Iriarte et al., 2008).

Requerimientos hídricos

El agua es un factor importante para el crecimiento y el logro de rendimientos adecuados del cultivo de colza. El consumo por el cultivo es de alrededor de 350-450 mm, variando en función de factores como la fertilidad del suelo, el potencial de rendimiento del cultivar y la disponibilidad hídrica (Canola Council of Canada, 2021).

Con relación a la eficiencia de uso del agua, se han citado, en otros países, valores de entre 6 y 8,5 kg de semilla.ha⁻¹.mm⁻¹ (Faraji et al., 2008; Rutkowska, 2019). En la Argentina, los datos reportados son algo más bajos y varían entre 4,6 y 6,77 kg de semilla.ha⁻¹.mm⁻¹ en Tres Arroyos (Chamorro y Sarandón, 2013), 3,3 y 6,7 kg de semilla.ha⁻¹.mm⁻¹ en La Plata (Chamorro et al., 2014) y 4,8 kg de semilla.ha⁻¹.mm⁻¹ en La Pampa (Gaggioli et al., 2013).

La colza sólo tolera anegamiento o encharcamiento por períodos muy breves, siendo mayor la sensibilidad durante el período de roseta (Canola Council of Canada, 2021).

Los requerimientos hídricos, así como la sensibilidad del cultivo a las deficiencias hídricas, varían a lo largo del ciclo de acuerdo con los diferentes procesos morfofisiológicos que ocurren en cada etapa de su desarrollo.

Un período crítico para el déficit hídrico es la implantación, debido a que una buena disponibilidad de humedad en el suelo a la siembra asegura que se cumplan los procesos de imbibición y germinación, para lo cual la semilla de colza requiere un alto porcentaje de su peso en agua (Iriarte et al., 2008). A pesar de lo anterior, un exceso de agua durante esta etapa que produzca encharcamiento es altamente nocivo pudiendo reducir fuertemente el stand de plantas logrado. De la misma manera, si se implantó en un suelo labrado muy refinado, el registro de fuertes lluvias que puedan producir el encostramiento superficial o “planchado” afecta negativamente la implantación.

A medida que avanza el crecimiento vegetativo, la necesidad de agua aumenta, siendo la etapa de floración el período donde los requerimientos del cultivo son máximos. En esta etapa, una buena disponibilidad de agua alarga el período de floración, favoreciendo el crecimiento de raíces y la producción de biomasa aérea, asegura el logro de una adecuada área foliar y una mayor persistencia de la misma. Todo esto conduce a una producción de mayor número de flores, mayor número de frutos, más semillas por fruto y mayor peso de las semillas (Iriarte et al., 2008). Por el contrario, si se produce estrés hídrico, se acortará el período de floración y disminuirá el rendimiento por resentirse todos o algunos de los procesos enumerados. Esto constituye a la floración como el período crítico para el déficit hídrico (Canola Council of Canada, 2021).

Además, en condiciones de baja humedad relativa asociada con altas temperaturas producen fallas en el polen y, en consecuencia, se reduce la fertilización y la producción de semillas. Por otro lado, lluvias muy fuertes durante la floración producen el “lavado” del polen pudiendo reducir el rendimiento (Canola Council of Canada, 2021).

Posteriormente, la escasez de agua durante el llenado de los granos puede disminuir el contenido de materia grasa de la semilla y la calidad del aceite (Canola Council of Canada, 2021).

Asimismo, es importante destacar que las condiciones de alta humedad ambiental pueden favorecer el desarrollo de ciertas enfermedades, especialmente la causada por *Sclerotinia sclerotiorum*.

Sobre el final del ciclo disminuye la necesidad de agua del cultivo, condiciones de déficit hídrico pueden, incluso, favorecer la maduración y la cosecha.

Aptitud agroclimática de la Argentina para el cultivo de colza

Murphy y Pascale (1991) analizaron los requerimientos de la colza y con el fin de determinar la aptitud agroclimática de nuestro país para su cultivo definieron distintos índices que garantizaran el cumplimiento de tales requerimientos, ya sea en cultivares primaverales como invernales, determinando las áreas posibles de cultivo para cada grupo.

Estos autores utilizaron dos índices térmicos, uno que representa el límite norte del cultivo y se relaciona con sus necesidades de vernalización y, por lo tanto, difiere para los materiales invernales y los primaverales. En los primeros es la isoterma de 9°C para el mes más frío, y en los segundos, la isoterma de 15°C para el mes más frío. El segundo índice térmico es la isoterma de 15°C para el mes más cálido y marca el límite sur para la producción de colza ya que esta disponibilidad térmica aseguraría la maduración correcta de las semillas.

Se utilizó también el índice hídrico de Thornthwaite de -20 para el mes de floración, el cual determina dos regiones de cultivo en secano (la pampeana y la patagónica) y entre ellas una gran área en la cual sería necesario regar para producir colza.

La aplicación de estos índices determinó dos zonas posibles de cultivo de colza en secano: una zona patagónica, compartida por colzas de primavera o de invierno, y una zona pampeana, más amplia latitudinalmente para las colzas primaverales que para las invernales. En la figura 5.6 se indica la ubicación aproximada de las mismas en el país y los meses aproximados de siembra, floración y cosecha para cada tipo de cultivares en cada zona.

Es necesario aclarar que el cultivo se ha desarrollado solamente en la región pampeana y también más al norte del área considerada apta agroclimáticamente. Además, la introducción de distintos materiales genéticos con posterioridad al trabajo de referencia (Murphy y Pascale, 1991) resultó también en cambios en las fechas de siembra, floración y cosecha con respecto a las previstas en el mismo.

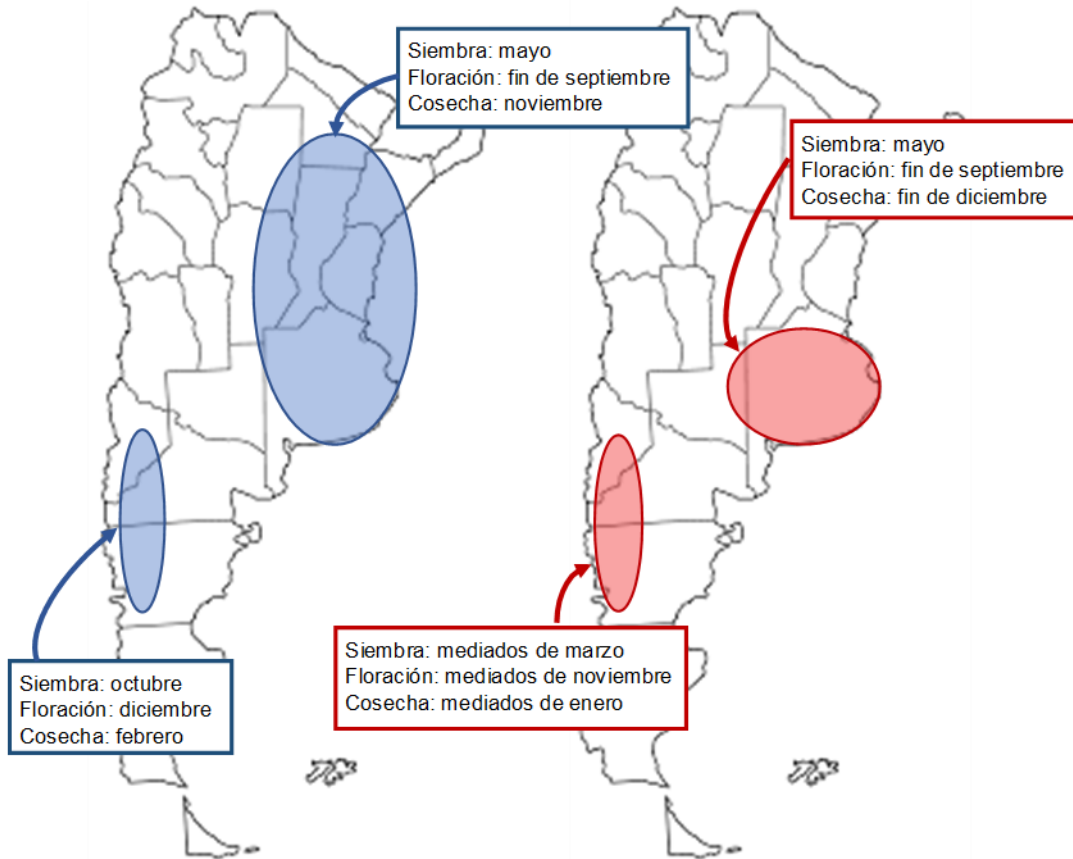


Figura 5.6: Ubicación aproximada de las áreas posibles de cultivo de colza primaveral (izquierda, en azul) e invernal (derecha, en rojo) en la Argentina, en seco, desde el punto de vista climático

Requerimientos edáficos

La colza se adapta muy bien a distintos tipos de suelos de aptitud agrícola, sin embargo, desarrolla mejor en los de mediana a alta fertilidad, francos y con buen drenaje. Por otro lado, si bien puede cultivarse en lotes de baja fertilidad, su rendimiento se ve muy deprimido debido a la alta demanda nutricional de este cultivo con respecto a los cereales de invierno. Puede desarrollarse en suelos con pH desde 5,5 a 8,3 sin alterar demasiado sus rendimientos y se considera un cultivo moderadamente tolerante a salinidad (5-6 milimhos.cm⁻¹). Es también importante tener en cuenta la posible presencia de residuos de herbicidas en el suelo, aplicados a los cultivos previos, que puedan afectar a la colza produciendo fitotoxicidad.

Para definir el manejo nutricional del cultivo en relación al momento, dosis, forma y fuente de los fertilizantes a emplear, es necesario conocer los requerimientos de los distintos nutrientes minerales por parte del cultivo según el nivel de rendimiento esperado, su ritmo de absorción durante el ciclo y su dinámica en el suelo.

Nitrógeno

La colza es un cultivo con altos requerimientos de N. La tabla 5.2 muestra que el cultivo debe absorber 150 kg.ha⁻¹ para producir unos 2500 kg.ha⁻¹ de semilla. Por otro lado, su restitución al suelo a través del rastrojo no es alta, del orden del 40%.

La absorción de N durante el ciclo sigue la curva de acumulación de materia seca, siendo muy baja en las primeras etapas, incrementándose hasta alcanzar su máxima tasa durante la elongación y disminuyendo hacia la cosecha. Si bien la acumulación de N durante el período de roseta es baja, la colza tiene la capacidad, si la disponibilidad supera sus requerimientos, de acumular N no metabolizado en las hojas, quedando almacenado para ser metabolizado posteriormente y cubrir necesidades no satisfechas por el medio. Durante la elongación del cultivo llega a absorber el 50% del total acumulado durante el ciclo. Posteriormente, durante la floración y la fructificación, paralelamente a la absorción de N del suelo, se producen importantes traslocaciones dentro de la planta, consecuencia de la temprana decadencia del área foliar y de la sucesiva importancia que van adquiriendo los tallos y las silicuas como fuentes fotosintéticas (Merrien et al., 1988).

Tabla 5.2: Absorción y exportación de nutrientes por el cultivo de colza para un rendimiento de 2500 kg.ha⁻¹

	Absorción (kg.ha ⁻¹)	Exportación (%)
N	152	60
P	31	74
K	86,5	53
S	37	47

Elaboración propia en base a Grant y Bailey (1993), CETIOM (1995), Figueroa (1998), Ciampitti y García (2007) y Canola Council of Canada (2021).

Una buena dotación de N en el suelo se manifiesta en el cultivo desde las primeras etapas: inicialmente por un mayor desarrollo foliar y cobertura del suelo, más tarde por una mayor acumulación de materia seca total, con plantas más altas, más ramificadas, de mayor índice y duración del área foliar y, finalmente, por un mayor número de frutos y número de semillas por fruto (Grant y Bailey, 1993). Cuando la disponibilidad de N es muy alta, la calidad de la semilla puede disminuir debido a un menor porcentaje de aceite, sin embargo, la producción de aceite por unidad de superficie será mayor debido a los rendimientos más altos (Grant y Bailey, 1993).

Fósforo

Su absorción es lenta en las primeras etapas, acelerándose durante la elongación y alcanzando la máxima acumulación de este nutriente en la planta hacia el fin de la floración (Merrien et al., 1988).

La colza requiere tanto o más P que los cereales de invierno para alcanzar altos rendimientos. Debido a esto, en suelos con bajos niveles de P disponible, ve limitado fuertemente su crecimiento tanto aéreo como radical. A pesar de estos altos requerimientos, la restitución que hace al suelo a través del rastrojo es relativamente alta (Tabla 5.2).

Este cultivo se caracteriza por una muy alta eficiencia en el uso del P, tanto nativo como del fertilizante. Esto se relacionaría con dos mecanismos: a medida que la concentración de P disminuye en la solución, el diámetro de sus raíces disminuye y el número y longitud de las raíces fina aumenta, incrementando así la habilidad de la planta para absorber el P (Grant y Bailey, 1993). Por otro lado, la colza disminuye el pH de la rizósfera deficiente en P a través de la liberación de ácidos orgánicos, incrementando la solubilización del P y su concentración en la solución del suelo adyacente a la raíz (Grant y Bailey, 1993). También se ha observado una mayor proliferación de raíces de colza alrededor de los gránulos del fertilizante fosforado en relación a otros cultivos, esto le otorgaría la mayor eficiencia en el uso del P del fertilizante y la respuesta a menores dosis (Grant y Bailey, 1993).

Potasio

Su absorción es muy lenta durante la etapa de roseta y se hace máxima durante el crecimiento de los tallos, de modo tal que al inicio de floración la planta absorbió casi el total de los que habrá acumulado en madurez (Merrien et al., 1988).

En la tabla 5.2 se observan los altos requerimientos de este nutriente de los cuales exporta una cantidad importante. En nuestro país, aún no se han observado deficiencias de K debido la buena dotación de este nutriente que presentan, en general, los suelos agrícolas. Sin embargo, es importante tomar en consideración la alta exportación K que realiza este cultivo en el marco de un proceso generalizado de acidificación de nuestros suelos.

Azufre

Es especialmente crítico en la producción de colza y frecuentemente, su rendimiento se ve restringido por deficiencia de este nutriente (Grant y Bailey, 1993). El azufre es componente de la cisteína y la metionina, aminoácidos esenciales para la síntesis proteica. Está involucrado en la síntesis de la clorofila y en las crucíferas es necesario para la síntesis de aceites volátiles que se acumulan como glucosinolatos. La colza tiene mayores requerimientos de azufre que los cereales de invierno. Esto se debe a su mayor contenido proteico combinado con una mayor proporción de cisteína y metionina (Grant y Bailey, 1993).

Su absorción por la planta es baja durante la etapa de roseta, aumenta durante la elongación y alcanza las máximas tasas durante la floración y fructificación, por lo cual los síntomas de deficiencia suelen manifestarse a partir de la elongación del cultivo (Merrien et al., 1988).

Aun deficiencias moderadas de azufre en la colza pueden producir síntomas poco visibles, pero reducen los rendimientos. Sólo deficiencias muy severas pueden reconocerse visualmente por lo que cobran importancia los métodos de diagnóstico para evaluar la necesidad de fertilización (Grant y Bailey, 1993). Los síntomas de carencia de S pueden confundirse con la deficiencia

de N cuando se registran antes de la elongación de las plantas y las deficiencias no son muy importantes. Pero si lo son, las hojas más jóvenes son pequeñas y toman forma de cuchara debido al menor crecimiento de los bordes y, en floración es característica la menor coloración de los pétalos que pueden ser pálidos o incluso blancos.

Referencias

- Apella, C. M. (2012). *Rendimiento potencial, período crítico y diferencias entre genotipos primaverales e invernales de colza en el sudeste bonaerense*. (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Recuperado de: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/7053/INTA_CRBsAsSur_EEABa-row_Appella_CM_Rendimiento_potencial_periodo_critico_colza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Canola Council of Canada. (2021). Growth stages. *Canola Encyclopedia*. Recuperado de: <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia>
- CETIOM, Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains. (1978). *Colza d'hiver. Cahier Technique*. Paris, CETIOM.
- CETIOM, Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains. (1995). *Colza de printemps. Brochure technique*. Paris, CETIOM.
- Chamorro, A. M. y Bezus, R. (2010). Desarrollo y producción de colza canola en La Plata (Buenos Aires) en cuatro fechas de siembra. *XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología*, La Plata, Acta de resúmenes, 53-54.
- Chamorro, A. M. y Sarandón, S. J. (2013). El agua: un recurso esencial para una agricultura sustentable. Efecto de la tecnología, la calidad de sitio y el tipo de cultivo, sobre la eficiencia de su uso en Tres Arroyos, Argentina. *Cadernos de Agroecología*, 8 (2), 1- 5.
- Chamorro, A. M. y Tamagno, L. N. (2004). Producción de materia seca aérea y radical de colza primaveral (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* forma *annua*). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 53-62.
- Chamorro, A. M., Bezus, R. y Tamagno, L. N. (2009). Evaluación del comportamiento de cultivares de colza canola en La Plata, Pcia. de Buenos Aires. *Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA 2007-2009*, 343-349.
- Chamorro, A. M., Bezus, R., Golik, S. I. y Pellegrini, A. (2014). Eficiencia de uso del agua de lluvia para distintas secuencias de cultivos en La Plata, Buenos Aires. *Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología*, Montevideo. Acta de resúmenes, 25-26.
- Chamorro, A. M., Tamagno, L. N. y Bezus, R. (2006). Desarrollo fenológico y comportamiento productivo de cultivares primaverales de colza canola en La Plata (Pcia. de Buenos Aires). *XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. La Plata, Actas de resúmenes, 111-112.

- Ciampitti, I. A. y García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo agronómico N°11. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 33,13-16.
- Coll, L. (2013). Las últimas heladas y su efecto en el cultivo de colza. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-heladas_y_su_efecto_en_el_cultivo_de_colza_2013.pdf
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A. y Rad, A. H. S. (2008). Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*, 96, 132-140.
- Figuroa, M. M. (1998). Colza–canola: En: Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. (Ed). *La fertilización de cultivos y pasturas*. (147-152). Buenos Aires, Editorial Hemisferio Sur.
- Gaggioli, C., Quiroga, A. y Noellemeyer, E. (2013). Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 23 (2), 17-26.
- Ghobadi, M., Bakhshandeh, M., Fathi, G., Gharineh, M. H., Alami-Said, K., Naderi, A. y Ghobadi, M. E. (2006). Short and long periods of water stress during different growing stages of Canola (*Brassica napus* L.): Effect on yield components, seed oil and proteins contents. *Journal of Agronomy*, 5, 336-341.
- Giayetto, O. (1995). *Modelo de Simulación de la Colza (Brassica napus L. forma annua) en la región de Río Cuarto (Córdoba, Argentina)*. (Tesis de Maestría). Facultad de Agronomía, UBA, Argentina.
- Grant, C. A. y Bailey, L. D. (1993). Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science*, 73, 615-670.
- Habekotté, B. (1997). Options for increasing seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a simulation study. *Field Crops Research*, 54, 127-136.
- Iriarte, L., López, Z. y Valetti, O. (2008). Influencia de la temperatura sobre el cultivo. En: Iriarte, L. y Valetti, O. (Ed.), *Cultivo de colza*. (31-40). Tres Arroyos, INTA.
- Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Brill, R. D., Ware, A. H. y Walela C. K. (2018). The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, 222, 180–188.
- Leterme, P. (1988) Croissance et développement du colza d'hiver: Les principaux étapes. En: Centre Technique Interprofessionnel des Oleagineux Metropolitains (Ed.). *Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver*. (23-33). París, CETIOM.
- Mendham, N. J., Shipway, P. A. y Scott, N. A. (1981). The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, 96, 389-416.
- Merrien, A., Palleau, J. P. y Maisonneuve, C. (1988). Besoins en Eléments Minéraux du Colza Cultivé en France. En: Centre Technique Interprofessionnel des Oleagineux Metropolitains (Ed.). *Physiologie et Elaboration du Rendement du Colza d'hiver*. (34-46). París, CETIOM.

- Mistrorigo, D., Coll, L. y Caviglia, O. P. (2014). Disponibilidad lumínica y distribución temporal de la producción de flores y silicuas en colza. *1° Simpósio Latino Americano de Canola*. Passo Fundo, Brasil. Recuperado de: <http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Domingo%20Mistrorigo%20-%20Disponibilidad%20luminica%20y%20....pdf>
- Morrison, M. J., Mc Vetty, P. B. y Shaykewihc, C. F. (1989). The determination and verification of baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 69, 455-469.
- Morrison, J. y Stewart, D. (2002). Heat stress during flowering in Summer Brassica. *Crop Science*, 42, 797-803.
- Murphy, G. y Pascale, N. C. (1991). Cultivating areas of winter and spring rapeseed 00 in Argentina. *Proceedings Eighth International Rapeseed Congress GCIRC*, 4, 1288-1293.
- Pascale, N. C. (1976). Colza. Su cultivo, mejoramiento y usos. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Buenos Aires: ACME S.A.C.I.
- Pascale, N.C., Windauer, L., Gómez, N. y Villariño, P. (1994). Determinación de la temperatura base en colzas primaverales cultivadas en Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 14 (2), 149-155.
- Rutkowska, A. (2019). Productivity of winter oilseed rape depending on its nitrogen and water use efficiency. *Polish Journal of Agronomy*, 39, 10–15.
- Si, P. y Walton, G. H. (2004). Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the lower rainfall areas of Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, 367-377.