

CAPÍTULO 7

Morfología y ecofisiología del cultivo de cártamo

Adriana M. Chamorro y Rodolfo Bezus

Ubicación sistemática y origen del cártamo

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) pertenece a la familia de compuestas o Asteraceae, subfamilia Tubuloideae, tribu Cardueae. En esta especie se han determinado dos variedades botánicas, *C. tinctorius* var. *typicus* caracterizada por la presencia de espinas, y *C. tinctorius* var. *inermis*, que no las posee. Esta oleaginosa es conocida con varios nombres comunes como falso azafrán, alazor, azafranillo, los cuales indican el uso alternativo de sus flores como colorante rojizo (Montoya Coronado, 2010).

Se considera que el cártamo sería originario del centro oeste de Asia y del Mediterráneo (López-González, 1989), con importantes centros de diversidad genética en Etiopía y la India. Es uno de los cultivos más antiguos, se han encontrado semillas de cártamo en tumbas egipcias de más de 4000 años de antigüedad y se ha informado de su uso en China hace aproximadamente 2200 años (Montoya Coronado, 2010).

Descripción morfológica

El cártamo es una planta anual, herbácea y erecta de gran parecido con los cardos, muy ramificada, principalmente en la parte superior, pudiendo encontrarse ramificaciones secundarias y terciarias (Figura 7.1). Su altura es variable entre los 20 y los 150 cm. El tallo es glabro o subglabro y su color varía entre el verde claro y el amarillento. Las hojas son coriáceas, elíptico-lanceoladas, variando su tamaño según la posición en el tallo, de 6 a 15 cm de largo y 1,5 a 5 cm de ancho. Pueden ser enteras o espinoso dentadas y sésiles o con un corto pecíolo. Las dos primeras son opuestas y las siguientes, alternas. Según la variedad botánica, serán glabras o presentarán numerosas espinas. A pesar de esto, normalmente las hojas basales no poseen espinas y las superiores, cuando la planta empieza a ramificar, desarrollan espinas, al igual que las brácteas de las flores. El número de hojas en el tallo principal puede variar entre 25 y 45 dependiendo de las condiciones de crecimiento. La raíz, sin limitaciones en el suelo, es pivotante y puede profundizar entre 2 y 3 m, y presenta también numerosas raíces finas horizontales (DeLucchi, 2002; Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; Flemmer et al., 2014; GRDC, 2017).

En el extremo de cada ramificación se encuentra una inflorescencia solitaria ovoide (capítulo) de 2 a 5 cm de diámetro, rodeada por un involucro pluriseriado con brácteas espinosas (Figura 7.1). Las brácteas externas son foliáceas, las medianas con la porción inferior entera y la superior dentada, con espinas en los bordes y el ápice, algo más pequeñas que las anteriores, y las brácteas internas, más pequeñas aún, oblongo-lanceoladas, enteras y normalmente con espinas sólo en el ápice (Delucchi, 2002; Flemmer et al., 2014). Según las variedades y las condiciones de crecimiento, una planta puede tener entre 3 y más de 50 capítulos. Dentro del capítulo se disponen entre 20 y 180 flores de cáliz reducido a pelos (papus) y corola tubulosa profundamente pentalo-bulada, de color rojizo, naranja, amarillo o blanco según las variedades. Son hermafroditas y su evolución dentro del capítulo es centripeta. El androceo, constituido por cinco estambres, es sinantéreo y el gineceo posee un ovario ínfero, bicapelar y uniovulado. En la planta, la floración se inicia en el capítulo del tallo principal y luego, sucesivamente, en las ramificaciones primarias, secundarias y terciarias. El cártamo es una planta autógama, con un grado de fecundación cruzada que no alcanza al 10%. El fruto es una cipsela, comúnmente llamado aquenio, de pericarpio blanco cremoso brillante (Figura 7.1), aunque algunas variedades pueden presentar tonalidad púrpura, gris, e incluso ser blanco con rayas grises claras. El papus puede o no ser persistente. En el momento de cosecha, cada capítulo puede contener entre 15 y 50 aquenios. El peso de mil aquenios varía entre 25 y 50 g. En el aquenio, el pericarpio puede representar entre el 33 y el 60% del peso del fruto, y la semilla es la que contiene la materia grasa. El contenido de materia grasa del fruto varía entre 20 y 45% (Rivas y Matarazzo, 2009; Fernández, 2016; GRDC, 2017; OECD, 2020).

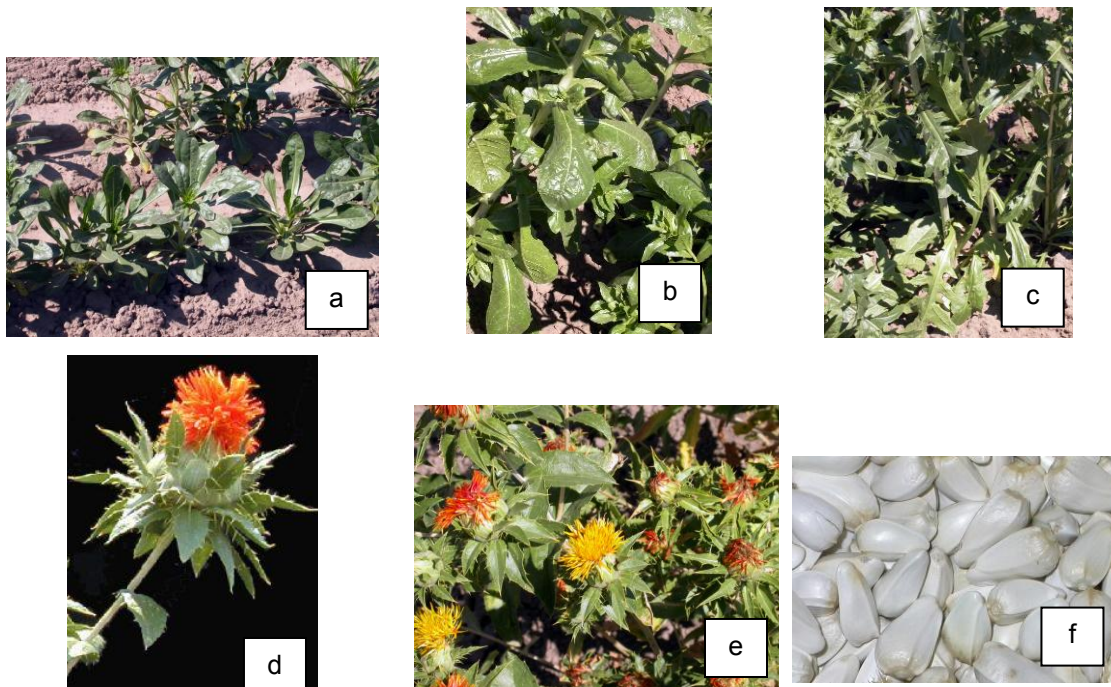


Figura 7.1: Imágenes de plantas y frutos de cártamo

a) cultivo iniciando la elongación, b) cultivo con ramificaciones, c) capítulos visibles, d) detalle de un capítulo con su involucro foliáceo espinoso, e) planta con capítulos en distintos estados de desarrollo, f) aquenios de cártamo.

Fuente: V. L. Bradley, SAFFLOWER GENETIC RESOURCES HOMEPAGE Image Gallery <http://safflower.wsu.edu/Images>

Crecimiento y desarrollo del cultivo

De manera muy general, el ciclo del cultivo del cártamo se puede dividir en seis etapas: la primera etapa es la **implantación**, que inicia en la siembra y finaliza con la aparición del primer par de hojas verdaderas. Luego sigue la etapa de **roseta**, en la cual aparecen y se desarrollan sucesivamente las hojas que permanecen a ras del suelo porque los entrenudos no se alargan. Le sigue la etapa de **elongación** del tallo y luego una de **ramificación**, en la cual, paralelamente se va desarrollando, en el ápice de cada tallo, un capítulo. La siguiente etapa es la **floración**, seguida por la etapa de **fructificación y maduración** (Mündel et al., 2004; GRDC, 2010; 2017).

Esta descripción general es de gran utilidad para conocer cómo crece el cártamo, sin embargo, a los efectos del manejo, por ejemplo, determinar el momento de aplicación de plaguicidas o fertilizantes, es necesario tener mayores precisiones en relación al estado de desarrollo del cultivo. Con este objetivo, en otras especies se han desarrollado claves fenológicas que son de uso generalizado. Sin embargo, el cártamo, aun cuando es un cultivo muy antiguo y de gran potencial, no cuenta todavía con gran difusión, ni en la Argentina ni a nivel mundial, motivo por el cual no hay una clave de uso generalizado para la descripción de sus estados fenológicos.

Recientemente, Flemmer et al. (2014) han realizado una descripción de los estados fenológicos del cártamo de acuerdo a la escala del BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie, Instituto Federal de Biología, Oficina Federal de Variedades Vegetales e industria química). El BBCH es un grupo de trabajo interdisciplinario que propuso una escala para describir la fenología de distintos cultivos y malezas con una codificación y metodología similar pero adaptada a cada especie. Los autores mencionados, argentinos, la ajustaron para el cártamo utilizando ensayos realizados en Bahía Blanca. Esta descripción se presenta en la tabla 7.1.

Como se puede observar, esta clave va tomando en cuenta el desarrollo de los distintos órganos de la planta, y particularmente en el caso del cártamo, no siguen ordenadamente la forma en que este cultivo se desarrolla. Además, algunos de los estados se superponen entre sí, por lo cual, para definir el estado fenológico se deberá tomar en cuenta el órgano de mayor interés. Por ejemplo, la elongación de los tallos, la ramificación del tallo principal y el desarrollo del capítulo se superponen. Dado que el capítulo es el órgano cosechable, es el de mayor importancia y aunque aún se esté elongando el tallo principal, en cuanto pueda observarse el inicio de la formación del capítulo, aunque esté escondido entre las hojas, se registrará el estado 50, correspondiente al inicio de formación del capítulo. Otra opción es registrar ambos estados separados por una línea diagonal (por ejemplo: 55/23).

Tabla 7.1: Estados fenológicos del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) de acuerdo a la escala BBCH (Flemmer et al., 2014)

Código	Descripción
Estado principal 0: Germinación.	
00	Semilla seca
05	Radícula emergida de la semilla
09	Emergencia: cotiledones emergiendo a través de la superficie del suelo
Estado principal 1: Desarrollo de hojas (en el tallo principal)	
10	Cotiledones completamente desplegados
12	2 hojas desplegadas (primer par de hojas simples y opuestas)
13	3 hojas desplegadas (tercera hoja y siguientes, simples y alternas)
1.	Los estados continúan hasta...
19	9 o más hojas desplegadas (estado de roseta)
Estado principal 2: Ramificación (en el tallo principal)^a	
20	No hay ramificaciones.
21	Primera ramificación visible.
22	2 ramificaciones visibles.
23	3 ramificaciones visibles.
2.	Los estados continúan hasta...
29	9 o más ramificaciones visibles.
Estado principal 3: Elongación del tallo (del tallo principal).	
30	Inicio de elongación del tallo: no hay entrenudos visibles (roseta).
31	1 entrenudo visiblemente elongado.
32	2 entrenudos visiblemente elongados.
33	3 entrenudos visiblemente elongados.
3.	Los estados continúan hasta...
39	9 o más entrenudos visiblemente elongados.
Estado principal 5: Emergencia del capítulo (en el tallo principal).	
50	Inicio de formación del capítulo, aún encerrado entre hojas.
55	Capítulo claramente separado de las hojas más jóvenes.
59	Brácteas foliáceas del involucre morfológicamente diferentes: externas, centrales e internas diferenciables.

Estado principal 6: Floración (en el tallo principal)	
61	Inicio de floración: primeras flores abiertas (porción superior de las flores emerge a través de las brácteas)
65	50% de flores abiertas.
67	70% de flores abiertas.
69	90% de flores abiertas: fin de floración.
Estado principal 7: Desarrollo del capítulo y los frutos (en el tallo principal)	
71	El capítulo empieza a expandirse a medida que los frutos se desarrollan.
75	El capítulo y los frutos alcanzan el 50% del tamaño final.
79	El capítulo y los frutos alcanzan su tamaño final: todas las flores están marchitas y decoloradas ^b .
Estado principal 8: Maduración del capítulo y los frutos (en el tallo principal).	
81	Las brácteas del involucro empiezan a tornarse amarillas.
83	30% del área del capítulo está amarilla
85	50% del área del capítulo está amarilla
87	70% del área del capítulo está amarilla: los frutos alcanzan la madurez fisiológica
89	90% o más del área del capítulo está amarilla: los frutos maduran completamente y está listos para la cosecha
Estado principal 9: Senescencia (en la planta entera)	
91	10% de las hojas están amarillas
95	50% de las hojas están amarillas
97	100% de las hojas y la mayoría de los capítulos están amarillos
99	Post cosecha o tratamientos de almacenamiento

^a La elongación del tallo usualmente ocurre antes del estado 21, en este caso continúa con estado 30.

^b El estado 81 puede ocurrir antes que el estado 79. En este caso continúa con el estado principal 81.

A continuación, se describen las distintas etapas de crecimiento del cártamo.

Implantación

La germinación del cártamo es epígea, al igual que en la colza o el lino. El período desde la siembra hasta el estado 10 (cotiledones desplegados) puede durar entre una semana y 24 días según las condiciones de temperatura y humedad del suelo. Las bajas temperaturas retrasan la emergencia incrementando la probabilidad de daños por insectos o enfermedades pudiendo afectar el logro del primer componente del rendimiento: número de plantas por unidad de superficie (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; Flemmer et al., 2014; GRDC, 2017).

Roseta

Las dos primeras hojas en aparecer son simples y opuestas mientras que las siguientes son alternas. A los fines de la clave fenológica se contabilizan cuando tienen 4 cm o más de largo. Durante esta etapa, el crecimiento del cultivo es lento, lo cual le otorga una baja capacidad para competir con las malezas. Sin embargo, mientras que el crecimiento aéreo es lento, se produce un importante crecimiento de la raíz pivotante que alcanza grandes profundidades si el suelo lo permite. La capacidad de exploración de su sistema radical es la que le posibilita sobrevivir y producir en condiciones de baja humedad y fertilidad (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; Flemmer et al., 2014; GRDC, 2017). Normalmente se dice que el cultivo está en roseta cuando ya se han desarrollado algunas hojas, lo cual se logra entre 20 y 40 días después de la emergencia (Lang, 2011; Ramonda et al., 2019). Unos 10 a 20 días más tarde se inicia la elongación del tallo, por lo que la etapa desde la emergencia del cultivo hasta el final de la roseta dura entre 30 y 60 días, dependiendo principalmente de la fecha de siembra (Lang, 2011; Ramonda et al., 2019).

Elongación del tallo y ramificación

La elongación del tallo empieza cuando se hace visible el primer entrenudo de al menos 5 mm de longitud. Normalmente aparecen al menos 9 entrenudos (estado 39) antes de la emergencia del capítulo en su extremo (estado 50). Sólo después se inicia la aparición de las ramificaciones, las cuales se contabilizan cuando tienen al menos 1 cm de longitud. Las primeras ramificaciones aparecen en los nudos superiores del tallo principal y luego van apareciendo sucesivamente en los nudos más bajos, hasta una altura de aproximadamente 30 cm (Flemmer et al., 2014).

Por lo tanto, durante esta etapa, se producen simultáneamente la elongación de los entrenudos, la ramificación y el desarrollo de los capítulos. Inicialmente, al estar encerrados dentro de las brácteas del involucre, los capítulos no pueden ser observados a simple vista. En el tallo principal, esto se registra aproximadamente a los 70 días de la siembra, cuando la planta tiene unas 20 hojas desplegadas (estado 50). A los 90 días puede observarse el capítulo pues se separa de las hojas (estado 55), en este estado, el número de flores del capítulo ya está fijado (Flemmer et al., 2014; Konradsen, 2020).

Como cada una de las ramificaciones porta un capítulo, es importante lograr un adecuado número de ramificaciones a fin de obtener buenos rendimientos. Una fecha de siembra temprana permite una duración del ciclo tal que favorece la formación de una buena roseta y de un alto número de ramificaciones (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; Flemmer et al., 2014; GRDC, 2017).

Entre el inicio de la elongación y el inicio de floración transcurren aproximadamente 60 días más (Lang, 2011; Ramonda et al., 2019).

Floración

El estado 61 es el que marca el inicio de floración, el cual se reconoce por la aparición de la parte superior de las flores tubulares por encima de las brácteas del involucre. Esto ocurre alrededor de los 106-115 días luego de la siembra. Cuando se inicia la floración, la elongación del

tallo principal y las ramificaciones se ha completado y se alcanzó la altura máxima de la planta. La floración se inicia en el círculo externo del capítulo, pero no es posible observar cómo procede sin hacer disección del mismo debido a que están encerradas dentro del involucre. Es decir, en este estado, a simple vista, sólo puede observarse la parte superior de las flores. La floración se inicia en el tallo principal y, sucesivamente, en las ramificaciones, primarias, secundarias y terciarias, si las hubiera. En cada capítulo la floración dura alrededor de una semana, pero a nivel de cultivo, puede durar 4 semanas o más. Al final de la floración (estado 69), las flores se mantienen aún de color amarillo y las brácteas, verdes (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; Flemmer et al., 2014).

Fructificación y maduración

El capítulo empieza a expandirse a medida que los frutos crecen en su interior. Las flores empiezan a tomar coloración naranja o rojiza, en el mismo orden en que fueron abriéndose. La evolución de los frutos no puede observarse directamente, sin disección del capítulo ya que están dentro del involucre, pero se acepta que en el estado 79, cuando las flores están marchitas y decoloradas (en naranja o rojo) y las brácteas involucrales aún están verdes, se ha alcanzado el tamaño máximo del capítulo y de los aquenios (Flemmer et al., 2014). Sin embargo, el peso máximo aún no se alcanzó ya que el pericarpio de los frutos alcanza su tamaño final antes que la semilla (Franchini et al., 2014).

La maduración de los frutos se da simultáneamente con la senescencia de la planta. Nuevamente, no es posible observar el desarrollo de los frutos por su ubicación, por lo que se lo relaciona con la coloración de las brácteas involucrales del capítulo. Éstas van tomando color amarillo desde el ápice hasta la base. Cuando el 70% de las mismas están amarillas (estado 87), los frutos alcanzan su peso máximo o madurez fisiológica (Flemmer et al., 2014). Franchini et al. (2014) registraron este estado entre los 17 y 25 días luego de la antesis, cuando los aquenios tenían un 39% de humedad.

La senescencia en la planta avanza desde la base hacia el ápice y, excepto las hojas basales, que generalmente caen, la mayoría permanece adherida a los tallos hasta el momento de la cosecha (Flemmer et al., 2014). En el trabajo de Franchini et al. (2014), la humedad de cosecha (entre 10 y 13%) en el tallo principal se alcanzó a los 33 días después de la antesis. Esto indica que el cultivo estará listo para la cosecha aproximadamente un mes después del final de la floración (GRDC, 2010).

Determinación del rendimiento en el cártamo

Los componentes del rendimiento son el número de plantas por unidad de superficie, el número de capítulos por planta, el número de aquenios por capítulo y el peso de mil aquenios. Por tratarse de una oleaginosa se suma a éstos, el contenido de aceite de los aquenios.

El número de **plantas por unidad de superficie** se determina poco tiempo después de finalizada la implantación del cultivo. Debe resaltarse que el cártamo es una especie muy plástica que tiene una gran capacidad para compensar un bajo número de plantas logradas a través de una mayor ramificación y número de capítulos por planta (Elfald et al., 2009).

El número de **capítulos por planta**, si bien empieza a definirse al iniciarse la ramificación, tiene un período de algo más de un mes durante el cual se determina, pudiendo producirse compensaciones si algún factor adverso afecta el proceso de emisión de ramas, pero su número potencial quedará determinado al inicio de la floración (Franchini et al., 2012). Posteriormente, sólo podrá reducirse si sufre alguna adversidad. Dado que el número de capítulos por unidad de superficie es un componente muy importante en la determinación del rendimiento (Johnson et al., 2012; La Bella et al., 2019; Sofy et al., 2020), la etapa en que se define se considera crítica, particularmente el momento en que se forman los capítulos y la floración, por lo cual prácticas como el riego y la fertilización tienden a garantizar la disponibilidad de agua y nutrientes durante este período (Esendal et al., 2008; Istanbuluoglu et al., 2009; Hussain et al., 2016).

El número potencial de **aquenios por capítulo** está fijado en cada uno al momento de hacerse visible en el extremo de la rama (Franchini et al., 2012; Flemmer et al., 2014; Konradsen, 2020), pero el número final de aquenios se determinará una vez finalizada la floración. Posteriormente, llevará poco más de 30 días alcanzar la madurez fisiológica, en que quede definido el **peso final de los aquenios**, el rendimiento y el **porcentaje de aceite de los frutos** (Mündel et al., 2004; Franchini et al., 2014). Es necesario resaltar que el peso individual de los aquenios, en el cártamo, es también un componente muy importante en la definición del rendimiento (Bigdoli et al., 2006; Sofy et al., 2020).

Requerimientos climáticos y edáficos del cártamo

Requerimientos térmicos y fotoperiódicos

El cártamo se considera una especie de clima templado. Puede germinar y emerger con temperaturas de 4°C, aunque las óptimas se sitúan alrededor de los 15°C. Durante el período vegetativo es tolerante a bajas temperaturas, al estado de roseta puede soportar heladas de hasta -7°C. La etapa de roseta transcurre normalmente durante el invierno, en la primavera, cuando las temperaturas comienzan a elevarse y los días se alargan, el cultivo inicia la elongación de los tallos. En este estado, la resistencia a las bajas temperaturas es menor, heladas de -4°C durante la elongación del tallo y la ramificación pueden dañar los ápices de los tallos. Si bien la planta puede recuperarse rebrotando y ramificando, se produce una disminución de los rendimientos y un retraso del ciclo. Por lo tanto, las fechas de siembra tempranas tienen mayor riesgo de exponer a los cultivos, en estados más susceptibles, a las heladas tardías del invierno (Mündel et al., 2004; GRDC, 2010; 2017).

En la zona semiárida pampeana de nuestro país, la floración normalmente se inicia hacia fin de año ya que el cultivo requiere días largos para desencadenarla. Por este motivo se produce,

generalmente, con altas temperaturas. Información proveniente de otros países indica que temperaturas por encima de 26°C (Australia) o 32°C (Estados Unidos) producen disminuciones en los rendimientos del cártamo, sobre todo, si la disponibilidad hídrica para el cultivo no es óptima (GRDC, 2010). Siembras muy tardías para escapar al riesgo de heladas pueden producir reducciones de rendimiento mayores a las de ocasionadas por las heladas, ya que acortan el ciclo del cultivo reduciendo la duración del período de roseta y las ramificaciones de las plantas y pueden exponer la floración del cultivo a temperaturas demasiado elevadas que esterilizan el polen resultando en un menor número de achenios por capítulo (GRDC, 2017).

Requerimientos hídricos

El cártamo se considera una planta resistente a la sequía, característica que le otorga el extenso sistema radical que puede desarrollar, el cual le permite absorber agua a profundidades a las cuales otros cultivos no acceden, incluso puede llegar hasta la napa freática. Este cultivo puede producir granos con cantidades limitadas de agua, pero si se trata de alcanzar altos rendimientos tiene altos requerimientos hídricos. Para producir unos 4000 kg.ha⁻¹ de achenios requiere absorber alrededor de 500 mm de agua (GRDC, 2010; Tula, 2019). Sin embargo, los rendimientos medios del país de los últimos años rondan los 790 kg.ha⁻¹, para los cuales requiere menos de 300 mm. Para este nivel de producción, si bien la necesidad de agua es más baja, en general es muy alta la variabilidad de los rendimientos, la cual se reduce si se cuenta con unos 400 mm de disponibilidad hídrica, que permiten la obtención de alrededor de 2000 kg.ha⁻¹ de achenios (GRDC, 2010; Gaggioli et al., 2013).

El mayor consumo de agua se produce durante la floración, y esta etapa es considerada crítica frente a las deficiencias hídricas. Si bien algunos autores suman a la floración la etapa posterior de llenado de los granos como parte del período crítico (GRDC, 2010; Tula, 2019), otros enfatizan la etapa previa, en la que se están desarrollando los capítulos (Esendal et al., 2008; Istanbuluoglu et al., 2009; Hussain et al., 2016).

Aunque la floración es crítica, no son deseables lluvias muy intensas ni alta humedad que inhiban la polinización o favorezcan el desarrollo de enfermedades. Más adelante en el ciclo del cultivo, lluvias intensas o persistentes son nocivas ya que los granos quedan contenidos dentro del receptáculo del capítulo y pueden producir la decoloración de los achenios (característica muy importante comercialmente si el destino es para consumo por pájaros), su podredumbre y el brotado de las semillas, ya que éstas no presentan dormancia (GRDC, 2010, 2017).

Es necesario mencionar que este cultivo tiene muy baja tolerancia al encharcamiento, particularmente durante la floración (GRDC, 2010; 2017).

El cártamo es reconocido por su alta eficiencia en el uso del agua, evaluaciones hechas en nuestro país (Córdoba y La Pampa) informan valores de 5,5 a 6,7 kg.ha⁻¹ de achenios por mm de agua (Gaggioli et al., 2013; Tula, 2019).

Requerimientos edáficos

El mejor crecimiento del cultivo y los máximos rendimientos se obtendrán en suelos fértiles y permeables, con buena capacidad de almacenamiento de agua en profundidad. Debido a que buena parte de su rusticidad y tolerancia a la sequía se relaciona con el desarrollo de su sistema radical, todo impedimento físico como capas compactadas (ya sean de origen genético como antrópico), limitará el crecimiento de la raíz y la productividad del cultivo. Los suelos de texturas finas, arcillosos, no son recomendables ya que, en la etapa de implantación del cultivo, son propensos al encostramiento superficial dificultando la emergencia y produciendo pérdidas de plantas. También son suelos que, ante condiciones de altas precipitaciones, tienden a mantenerse saturados por más tiempo, reduciendo el stand de plantas si esa situación ocurre durante la implantación o primeros estados vegetativos, y el rendimiento si se producen encharcamientos en estados más avanzados. Estas situaciones también favorecen el desarrollo de enfermedades, particularmente la producida por *Phytophthora* (Mündel et al., 2004; Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; 2017).

El cártamo se considera moderadamente tolerante a la salinidad, aunque existen diferencias varietales. En relación al pH prefiere suelos neutros a levemente alcalinos (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010; 2017).

En la tabla 7.2 se presentan los requerimientos de N, P, K y S para dos niveles de rendimiento: 800 kg.ha⁻¹, valor cercano al promedio nacional de los últimos años, y 1500 kg.ha⁻¹, valor obtenido en ensayos a campo, considerado factible de lograrse en lotes de producción. Se observa que, aun para este último nivel de producción, los requerimientos del cártamo son menores que para colza (Capítulo 5) y lino (Capítulo 3).

Con respecto al **nitrógeno**, es importante considerar la profundidad que pueden alcanzar las raíces y la posibilidad que tiene el cártamo de absorber este nutriente en estratos que no alcanzan los cereales de invierno. Es necesario regular la disponibilidad de N a lo largo del ciclo del cultivo, ya que una alta dotación inicial puede generar un crecimiento vegetativo importante que agote la disponibilidad de agua del suelo, generando deficiencias hacia el final del ciclo y afectando negativamente el rendimiento (Mündel et al., 2004; Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010). Por otro lado, una alta disponibilidad durante todo el ciclo, si bien redundará en rendimientos más altos, también puede afectar negativamente el contenido de aceite de los aquenios (Mündel et al., 2004).

Deficiencias de **fósforo** pueden generar problemas en la implantación del cultivo retrasando el crecimiento en las etapas iniciales del cultivo (Rivas y Matarazzo, 2009) y también pueden retrasar la maduración del cultivo (Mündel et al., 2004).

Tabla 7.2: Absorción y exportación de nutrientes por el cártamo para dos niveles de rendimiento

	Rendimiento 800 kg.ha ⁻¹		Rendimiento 1500 kg.ha ⁻¹	
	Absorción kg.ha ⁻¹	Exportación kg.ha ⁻¹	Absorción kg.ha ⁻¹	Exportación kg.ha ⁻¹
N	28,0	21,6	52,5	40,5
P	4,0	3,2	7,5	6,0
K	18,4	4,0	34,5	7,5
S	Sin datos	3,2	Sin datos	6,0

Fuente: Ciampitti y García (2007); GRDC (2010)

Referencias

- Bidgoli, A. M., Akbari, G. A., Mirhadi, M. J., Zand, E. y Soufizadeh, S. (2006). Path analysis of the relationships between seed yield and some morphological and phenological traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Euphytica*, 148, 261–268. Recuperado de: DOI: 10.1007/s10681-005-9019-x.
- Ciampitti, I. A., 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 (INPOFOS)*, 33, 13-16.
- Delucchi, G. (2002). Sobre la presencia de una nueva especie adventicia de *Carthamus* (*Asteraceae*, *Cardueae*) en la Argentina. *Hickenia*, 3(34), 129-131.
- Elfadl, E., Reinbrecht, C., Frick, C. y Claupein, W. (2009). Optimization of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production under low-input farming conditions in temperate climate. *Field Crops Research*, 114, 2–13.
- Esendal, E., Istanbuluoglu, A., Arslan, B. y Paşa, C. (2008). Effect of water stress on growth components of winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *7th International Safflower Conference*. Waga Waga, Australia. Recuperado de: <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2171/2017/11/Enviro-Esendal-oral-paper.pdf>
- Fernández, P. A. (2016). *Determinantes de la calidad industrial de frutos de distintas variedades de cártamo (Carthamus tinctorius L.)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Recuperado de: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2710/1/Tesis%20Magister%20Paola%20Fernandez.pdf>

- Flemmer, A. C., Franchini, M. C. y Lindström, L. I. (2014). Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166(2), 331-339.
- Franchini, M. C., Flemmer, A. C. y Lindstrom, L.I. (2012). Grain yield, yield components and oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growing under semiarid conditions in Argentina. *Journal of Oilseeds Research*, 29, 130-132.
- Franchini, M.C., Flemmer, A. C., Lindström, L. I., David, M. A. y Fernandez, P. A. (2014). Fruit development of two high oleic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *FYTON, Journal of Experimental Botany*, 83, 379-388.
- Gaggioli, C., Quiroga, A. y Noellemeyer, E. (2013). Evaluación de la eficiencia de uso del agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 23 (2), 17-26.
- GRCD (2010). *Grain research and development corporation. Raising the bar with better safflower agronomy*. Recuperado de: https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0016/210634/grdc-raising-the-bar-with-better-safflower-agronomy.pdf.pdf
- GRCD (2017). *Grain research and development corporation. Grownotes Safflowers Northern*. Recuperado de: https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0031/238990/GRDC-GrowNotes-Safflower-Northern.pdf?utm_source=website&utm_medium=download_button&utm_campaign=pdf_download&utm_term=North&utm_content=Safflower%20Northern%20Region%20-%20GrowNotes%E2%84%A2
- Hussain, M. I., Lyra, D-A., Farooq, M., Nikoloudakis, N. y Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36 (4).
- Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C. y Konukcu, F. (2009). Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agricultural Water Management*, 96, 1429–1434.
- Johnson, R., Petrie, S., Franchini, M.C., Evans, M. (2012). Yield and yield components of winter-type safflower. *Crop Science*, 52, 2358–2364.
- Konradsen, C. (2020). *Evaluación económica de dos alternativas de cultivos agrícolas en sistemas agropecuarios del sudoeste bonaerense*. (Tesis de grado). Recuperado de: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5073>
- La Bella, S., Tuttolomondo, T., Lazzeri, L., Matteo, R., Leto, C. y Licata, M. (2019). An agronomic evaluation of new safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm for seed and oil yields under Mediterranean climate conditions. *Agronomy*, 9, 468.
- Lang, M. (2011). El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la región semiárida pampeana: ensayo comparativo de rendimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía. UNLPam*. 22, 32-36.
- López-González, G. (1989). Acerca de la clasificación natural del género *Carthamus* L., s.l. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 47(1), 11-34.
- Montoya Coronado, L. (2010). *El cultivo de cártamo (Carthamus tinctorius L.) en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/31993954/El cultivo del cartamo carthamus tinctorius I en Mexico pdf](https://www.academia.edu/31993954/El_cultivo_del_cartamo_carthamus_tinctorius_I_en_Mexico_pdf)

- Mündel, H. H., Blackshaw R. E., Byers, J. R., Huang, H. C., Johnson, D. L., Keon, R., Kubik, J., McKenzie, R., Otto, B., Roth, B. y Stanford, K. (2004). *Safflower Production on the Canadian Prairies: Revisited in 2004*. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Centre, Alberta. Recuperado de: <http://publications.gc.ca/site/eng/333269/publication.html>
- OECD Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Consensus document on the biology of safflower (Carthamus tinctorius L.)*. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology N°68. Recuperado de: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2020\)14&doclanguage=en](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2020)14&doclanguage=en)
- Ramonda, F., Ferrero, C., J., Fritz, F. y Baudino, E. M. (2019). Influencia de la fecha de siembra sobre los determinantes fisiológicos y numéricos del rendimiento en el cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en La Pampa. *SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 29(1), 63-69.
- Rivas, J. y Matarazzo, R. (2009). Producción de cártamo. Consideraciones generales. Boletín de divulgación N°20. Estación Experimental Hilario Ascasubi, INTA. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-prodcartamo_.pdf
- Sofy, S. O., Hama, S. J. y Hamma-Umin, B. O. (2020). Influence of phosphorus fertilizer on yield and oil of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties under rain fed condition. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(2), 3409-3418.
- Tula, A. A. (2019). *Patrones de absorción y eficiencia de uso del agua de cultivos invernales en el centro de Córdoba*. (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/16965>.