



Trabajo final de Intensificación
Ingeniería Agronómica

**Rendimiento de distintos genotipos de cártamo
en respuesta a diferentes densidades de plantas
y fechas de siembra en el sudoeste bonaerense**

Alumno: Nicolás Pesce

Docente Tutor: Lic. Mag. Andrea C. Flemmer

Docentes consejeros: Lic. Mag. M. Clara Franchini

Ing. Agr. Mag. Roberto J. Kiessling

Departamento de agronomía

2024

Agradecimientos

Primero que nada, quiero darle las gracias a mi familia, por darme la posibilidad de estudiar y acompañarme a cada momento, a pesar de las dificultades. Agradezco, también, a compañeros de la carrera, por los momentos compartidos y por brindarnos apoyo mutuamente, sumado al entusiasmo y pasión que transmiten generaron una experiencia muy agradable.

Doy las gracias al Departamento de Agronomía y a sus profesores, por su dedicación y esfuerzo, y todos los aprendizajes compartidos.

Agradezco a mi tutora de tesis Andrea C. Flemmer, por haberme aceptado en este proyecto, y por toda la paciencia y por su buena disposición, ante cualquier inconveniente, siempre estuvo presente.

Por último, una mención a mis consejeros, María Clara Franchini, y Roberto Kiessling, caracterizados por su simpatía, y predisposición a ayudar.

Agradezco que este trabajo haya sido posible, gracias al esfuerzo, dedicación, de Andrea y Clara, que tiran para adelante con mucha voluntad, para contribuir a la investigación y desarrollo productivo de nuevas alternativas, como este cultivo de cártamo. ¡Espero que les vaya bien a todos!

Índice

AGRADECIMIENTOS	2
Lista de figuras	4
Lista de tablas	6
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Situación mundial	10
1.2. Características del cultivo	12
1.3. Requerimientos del cultivo	14
1.4. Componentes del rendimiento	16
1.5. Fechas de siembra y densidades de plantas	17
1.6. Cártamo en el SOB	19
2. Hipótesis y objetivos	20
3. Materiales y métodos	21
3.1. Ubicación y caracterización del sitio de estudio	21
3.2. Caracterización del clima	21
3.3. Material vegetal	22
3.4. Diseño experimental	22
3.5. Determinaciones	23
3.6. Análisis estadístico	25
4. Resultados y discusión	26
4.1. Estadios fenológicos	26
4.1.1. Emergencia	26
4.1.2. Estadio de roseta	29
4.1.3. Ramificación	31
4.1.4. Antesis	33
4.1.5. Madurez de cosecha	35
4.2. Rendimiento	37
4.2.1. Ramificaciones y capítulos totales por planta	37
4.2.2. Biomasa aérea	38
4.2.3. P1000	40
4.2.4. Rendimiento en grano	41
4.2.5. Índice de cosecha	43
5. Conclusión general	45
6. Bibliografía	46

Lista de figuras

Figura 1. Superficie cosechada (%) en los principales países productores de cártamo del mundo en 2020 (FAOSTAT, 2023; elaboración propia).	10
Figura 2. Producción promedio de aceite (%) de los principales países productores del mundo, durante el periodo 2010-2020 (datos FAOSTAT, 2023; elaboración propia).	11
Figura 3. Estadios de crecimiento en cártamo (tomado de Li y Mündel, 1996).	12
Figura 4. Ubicación del campo Experimental Napostá (Fuente: Google Earth, elaboración propia).	21
Figura 5. Imagen del ensayo donde se observan las distintas densidades de siembra separadas por estacas.	23
Figura 6. Observación de algunos de los estadios fenológicos en plantas individuales: roseta (izquierda), elongación del tallo (centro) y ramificación (derecha, flecha).	24
Figura 7. Plantas ya cosechadas y secadas en estufa a punto de ser procesadas para determinar peso seco de capítulos y tallo+hojas.	24
Figura 8. Trilladora eléctrica para ensayos (izquierda) y tamizado de las muestras de frutos llenos (derecha).	25
Figura 9. Distribución de precipitaciones y temperaturas medias mensuales registradas durante el año 2022 en el sitio de estudio.	26
Figura 10. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	28
Figura 11. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de las tres densidades en cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	28
Figura 12. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de los cinco genotipos en cada densidad de plantas, en promedio para las fechas de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	29
Figura 13. Estadio de roseta (días desde emergencia, DDE, a inicio de elongación de los entrenudos) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	30

Figura 14. Inicio de ramificación (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	32
Figura 15. Inicio de ramificación (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades de siembra para cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	33
Figura 16. Inicio de antesis (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	34
Figura 17. Inicio de antesis (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades de siembra para cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	34
Figura 18. Madurez de cosecha (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	36
Figura 19. Madurez de cosecha (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades en cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	36
Figura 20. Biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de tallos+hojas, de capítulos y biomasa aérea total (tallos+hojas+capítulos) en las tres densidades de siembra, en promedio para las fechas de siembra 1 a 3 y los genotipos estudiados. En cada fracción, tallos+hojas capítulos y biomasa total, las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	39
Figura 21. Biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de tallos+hojas, de capítulos y biomasa aérea total (tallos+hojas+capítulos) medida en los cinco genotipos, en promedio para las fechas 1 a 3 y las densidades de plantas estudiadas. En cada fracción, tallos+hojas capítulos y biomasa total, las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	39
Figura 22. Peso de mil granos (P1000, g) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	40
Figura 23. Rendimiento en grano ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en los cinco genotipos estudiados, en promedio para las fechas y densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).	42

Figura 24. Índice de cosecha (peso seco de frutos llenos/biomasa aérea total) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$). 44

Lista de tablas

Tabla 1. Participación de los principales países productores de cártamo en la producción anual (miles de toneladas) y rendimiento ($t.ha^{-1}$) (datos FAOSTAT, 2023; elaboración propia).	11
Tabla 2. Estadios fenológicos principales del cártamo según la escala BBHC (Flemmer <i>et al.</i> , 2015).	13
Tabla 3. Valores de F del análisis de la varianza de la duración (DDS: días desde la siembra, DDE: días desde la emergencia) de cada estadio fenológico en respuesta a la fecha de siembra, densidad de plantas, genotipo y sus interacciones.	27
Tabla 4. Fechas calendario promedio en que se alcanzó cada estadio fenológico para cada genotipo y fecha de siembra.	31
Tabla 5. Número de ramificaciones y de capítulos totales por planta, medidos en antesis, en promedio para cada densidad y genotipo.	37
Tabla 6. Valores de F del análisis de la varianza de rendimiento en grano y sus componentes (P1000, biomasa aérea e índice de cosecha) en respuesta a la fecha de siembra, densidad de plantas, genotipo y sus interacciones.	38

Resumen

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es un cultivo de ciclo invernal, anual, y oleaginoso, por lo que su interés principal se basa en la extracción de aceite. El cártamo, presenta la capacidad de adaptarse a regiones semiáridas, por su extenso sistema radical pivotante, que puede llegar a los 2 metros de profundidad. Además, presenta gran capacidad de compensación en el rendimiento, gracias a la emisión de ramificaciones, las cuales pueden portar una inflorescencia (capítulo), uno de los componentes clave en la definición del rendimiento.

A pesar de sus características y su posible adaptación, la difusión del cártamo en el sudoeste bonaerense (SOB) se ha limitado debido a la escasa información que se presenta en cuanto a su manejo, sobre todo respecto a fechas de siembra y densidades de plantas en la región del SOB. Existen algunos trabajos realizados en nuestra región, donde se evaluaron distintas fechas de siembra (otoñal, invernal o primaveral), con resultados dispares. A su vez, la densidad de plantas, no está claramente definida, debido a la alta capacidad de compensación de rendimiento del cártamo ante variaciones del distanciamiento entre surcos y/o entre plantas dentro de cada surco. Por estas razones, se propuso el presente ensayo para evaluar la fenología, el rendimiento en grano y sus componentes de cinco genotipos de cártamo (RM Napostá, RCJ3, Montola 2000, CW 99-OL y WSRC01) en respuesta a diferentes combinaciones de fechas de siembra y densidades de plantas en un campo del SOB. Para ello, se realizó un ensayo con un diseño de parcelas divididas dispuestas en tres bloques completos al azar en campo en un campo del SOB Experimental Napostá, convenio UNS y MDA-PBA. El seguimiento de los estados fenológicos se realizó mediante observación directa, el registro se hizo cuando el 50% de las plantas de cada subparcela, alcanzaban cada estadio y luego se calculó el número de días en alcanzar cada estadio fenológico. En antesis se determinó el número de ramificaciones y de capítulos totales por planta de cada genotipo en cada UE. En la madurez de cosecha, se midió peso seco de la biomasa aérea de tallos+hojas y de capítulos, peso seco de frutos llenos (rendimiento), P1000 e índice de cosecha. Los datos fueron analizados

mediante un análisis de la varianza y comparación de medias (test de diferencias mínimas significativa).

Ante variaciones de 15 a 48 días en la fecha de siembra y, consecuentemente, en la duración de los estadios fenológicos, la fecha en la que se alcanza la antesis y la madurez de cosecha fue similar, probablemente debido a la influencia del fotoperiodo y la temperatura en el desarrollo reproductivo del cártamo. La variabilidad en el rendimiento en grano, estimado por unidad de área en este ensayo, quedó determinada principalmente por los genotipos, ya que no se observó efecto de las fechas de siembra o densidades de plantas ensayadas. WSRC01 fue el genotipo que presentó el mayor rendimiento en grano ($1796 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), lo que estuvo asociado a un mayor número de ramificaciones y capítulos totales por planta, mayor biomasa de capítulos y a un mayor tamaño de los frutos (mayor P1000). Los menores rendimientos en grano se observaron en RM Napostá ($1052 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y Montola 2000 ($1128 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que RCJ3 ($1307 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y CW 99-OL ($1439 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) presentaron valores intermedios. Cabe destacar que, estos valores de rendimiento en grano estimados superarían los rendimientos promedio (2010-2020) del país.

La falta de diferencias en el rendimiento en grano en respuesta a las fechas de siembra y densidades de plantas ensayadas, podría deberse a la capacidad de compensación observada en cártamo en respuesta a dichos tratamientos (principalmente, por la variación en el número de ramificaciones y de capítulos) y a las precipitaciones favorables a lo largo del ciclo del cultivo, principalmente, en los meses previos a la siembra y durante el periodo reproductivo. Sería importante repetir el ensayo durante dos o más ciclos de crecimiento para poder estudiar con mayor precisión el efecto de las prácticas de manejo evaluadas sobre las variables medidas en los distintos genotipos de cártamo.

1. Introducción

El cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) es un cultivo anual, oleaginoso, de ciclo invernal, perteneciente a la familia Asteraceae. Su origen proviene del centro oeste de Asia y del Mediterráneo, y presenta importantes centros de diversidad genética en Etiopía e India (Chamorro y Bezús, 2023 a). La planta puede desarrollar un sistema radical pivotante y extenso, siempre y cuando no haya limitantes en la profundidad de suelo, y así captar agua de horizontes profundos, lo que favorece su adaptación a condiciones semiáridas (Li y Mündel, 1996, Smith, 1996). Se cultiva principalmente por su aceite, cuyo contenido en la semilla varía entre 25 a 45%, y en algunos ensayos en la región semiárida pampeana se han encontrado valores desde 46 a 60% (Chamorro y Bezús, 2023 a). Este aceite es muy importante para la alimentación humana y sus usos dependen de las propiedades del mismo determinadas por la composición de ácidos grasos, lo que a su vez está afectado por el genotipo. Las variedades con mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados son ideales para el consumo en ensaladas y son beneficiosos para la salud humana, sin embargo, no son útiles para freír, ya que no presentan estabilidad a altas temperaturas por su elevada insaturación. Para ello, existen variedades con mayor predominancia de ácido oleico monoinsaturado (Montoya, 2010).

A pesar de sus características y su posible adaptación, cabe destacar que la difusión de este cultivo en el sudoeste bonaerense (SOB) no fue muy exitosa, debido principalmente a la llegada de híbridos de girasol, acompañado de un mercado más grande y estable para ese cultivo (Rivas y Matarazzo, 2009). Actualmente, la mayoría de los genotipos de cártamo registrados en el Catálogo Nacional de Cultivares (INASE, 2024) son de origen estadounidense. Entre ellos se encuentran genotipos primaverales, por ejemplo, CW 99-OL, variedad que se cultivaba inicialmente en nuestra región (comunicación personal, Franchini-Flemmer). También existen genotipos con mayor resistencia al frío (invernales), como WRSC01, desarrollados a partir de un programa de mejoramiento por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

1.1. Situación mundial

A nivel mundial, se cosecharon 816.423 ha de cártamo en el año 2020 y el promedio de hectáreas cosechadas para el periodo 2010-2020 fue de 863.535 ha.año⁻¹ (FAOSTAT, 2023). Kazajstán aportó la mayor área cosechada para el año 2020 contando con 315.177 ha, seguido por Federación rusa, que aportó 174.974 ha (Fig. 1). Por su parte, en Argentina, la superficie cosechada durante el 2020 fue de 27.349 ha, con un promedio de 58.290 ha para el periodo 2010-2020.

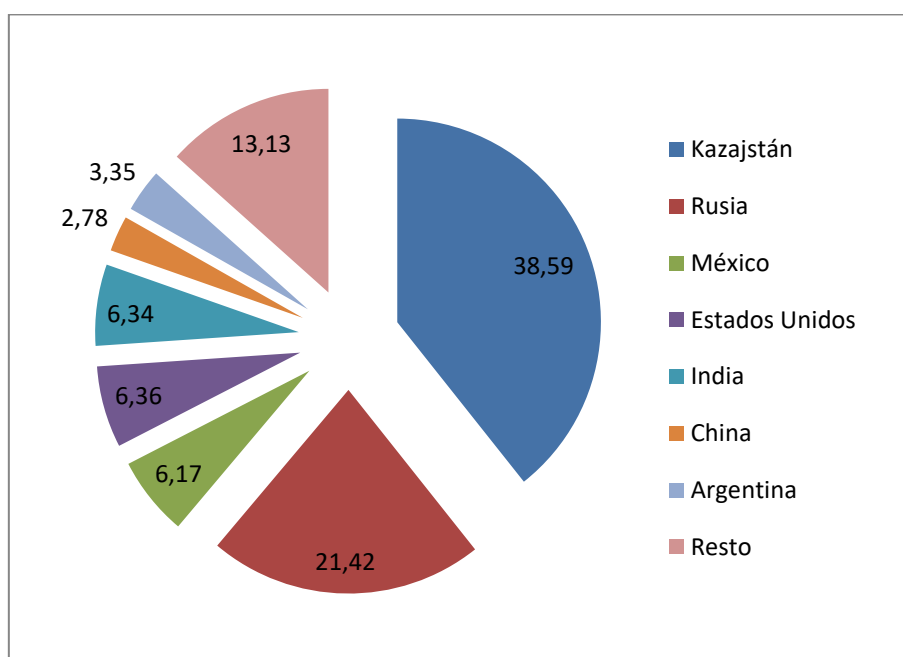


Figura 1. Superficie cosechada (%) en los principales países productores de cártamo del mundo en 2020 (FAOSTAT, 2023; elaboración propia).

En cuanto al rendimiento promedio a nivel mundial, durante el periodo 2010-2020 fue de 1 t.ha⁻¹ aproximadamente, siendo los países con mayor rendimiento México y China, seguidos por Estados Unidos y Turquía (Tabla 1). Argentina contó con rendimientos menores a la media durante dicho periodo (FAOSTAT, 2020). El mayor volumen de producción aportado por Kazajstán (Tabla 1) claramente estuvo determinado por la mayor proporción de área cosechada a nivel mundial ya que presentó rendimientos menores a la media (FAOSTAT, 2020).

Tabla 1. Producción anual (miles de toneladas) y rendimiento (t.ha⁻¹) de cártamo de los principales países productores del mundo (FAOSTAT, 2023; elaboración propia).

País	Producción 2020	Producción promedio 2010-2020	Rendimiento promedio 2010-2020
Kazajstán	227	172	0,67
México	87	112	1,57
Estados Unidos	69	90	1,44
India	44	96	0,64
China	33	33	1,45
Argentina	23	39	0,69
Turquía	21	39	1,51

En el mundo, se produjeron 69.571 toneladas de aceite en el año 2020 (FAOSTAT, 2023). Durante los años 2010 a 2020, el mayor productor de aceite a nivel mundial fue Estados Unidos, seguido por India, México y Argentina (Fig. 2).

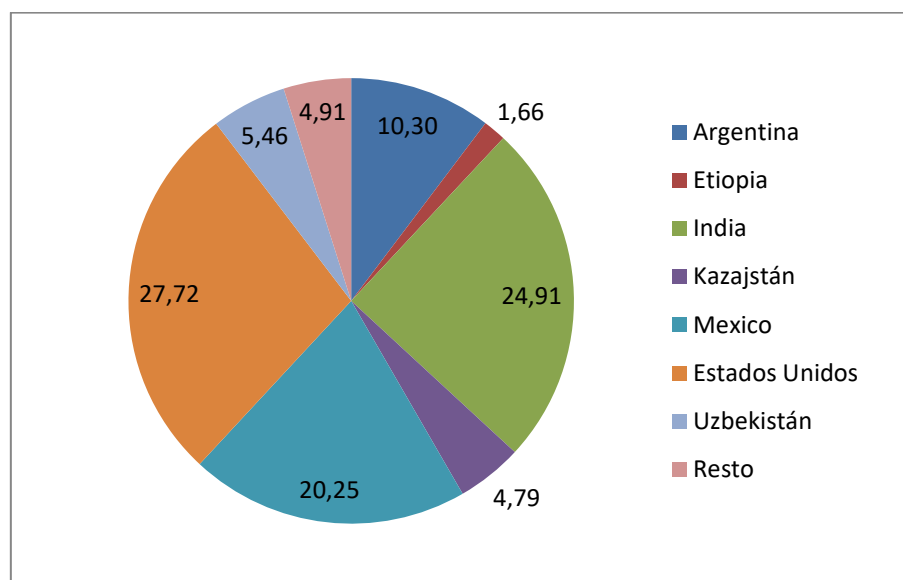


Figura 2. Producción promedio de aceite (%) de los principales países productores del mundo, durante el periodo 2010-2020 (datos FAOSTAT, 2023; elaboración propia).

1.2. Características del cultivo

La planta de cártamo es herbácea y, de manera general, se pueden mencionar 6 etapas desarrollo: emergencia, roseta, elongación del tallo, ramificación, floración y madurez, incluyendo la maduración del fruto (Li y Mündel, 1996) (Fig. 3).

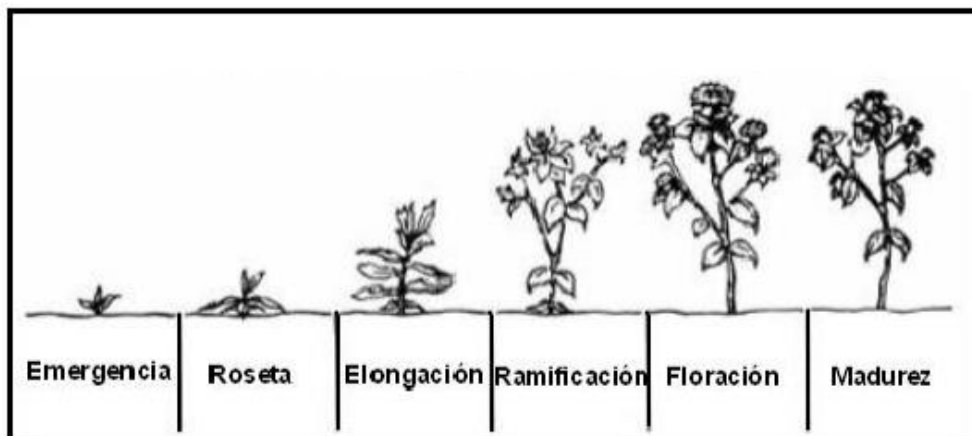


Figura 3. Estadios de crecimiento en cártamo (tomado de Li y Mündel, 1996).

Sin embargo, si se quiere tener un conocimiento más preciso de los estadios de crecimiento para el manejo del cultivo, y describir, por ejemplo, en que estadio realizar la aplicación de agroquímicos o en que estadio se fijan los componentes de rendimiento, es recomendable la utilización de escalas fenológicas de uso generalizado. Una escala muy difundida actualmente, es la escala BBCH, la cual se utiliza en todo el mundo para la descripción de las etapas de desarrollo de monocotiledóneas y dicotiledóneas (Hack *et al.*, 1992). Esta escala utiliza un código de dos dígitos para cada estadio principal y distintos sub-estadios. Cada código está basado en características fácilmente observables, lo que facilita el reconocimiento de los estadios y la comunicación profesional, independientemente de la especie con la que se trabaje. Flemmer *et al.* (2015) describieron los estadios de crecimiento de cártamo de acuerdo a la escala BBCH, incluidos los seis estadios mencionados por Li y Mündel (1996), en base a las características morfológicas observadas en plantas de dos cultivares de cártamo alto oleico (CW 88-OL y CW 99-OL) (Tabla 2).

Tabla 2. Estadios fenológicos principales del cártamo según la escala BBHC (Flemmer *et al.*, 2015).

Estadio principal 0:	Germinación
Estadio principal 1:	Desarrollo de las hojas (tallo principal)
Estadio principal 2:	Ramificación (sobre tallo principal)
Estadio principal 3:	Elongación del tallo (tallo principal)
Estadio principal 5:	Emergencia del capítulo (tallo principal)
Estadio principal 6:	Floración (tallo principal)
Estadio principal 7:	Desarrollo del capítulo y los frutos (tallo principal)
Estadio principal 8:	Maduración del fruto
Estadio principal 9:	Senescencia (planta entera)

La germinación abarca desde la siembra (BBCH 00) hasta que aparecen los cotiledones por encima de la superficie del suelo (BBCH 09), periodo que dura entre 1 a 3 semanas. A continuación, comienza el desarrollo vegetativo de la planta durante el cual se desarrolla el primer par de hojas (BBCH 12) seguido de numerosas hojas formadas al ras del suelo, etapa denominada roseta. Esta etapa es muy importante ya que hay un rápido crecimiento de la raíz y la planta es relativamente tolerante al frío. Sin embargo, presenta lento crecimiento inicial, por lo que tiene baja capacidad de competencia con las malezas (GRDC, 2010). Desde emergencia hasta el final del estadio de roseta, transcurren alrededor de 30 a 80 días, dependiendo de la fecha de siembra (Franchini *et al.*, 2021; Chamorro y Bezús, 2023 a). A medida que avanza el desarrollo y comienza la elongación de los entrenudos (BBCH 31), las hojas son más cortas y con pequeñas espinas en sus márgenes. La planta presenta un porte erecto, tallo ligeramente pubescente o glabro, con ramificaciones cuyo número varía en función del genotipo y densidad de siembra (Montoya, 2010).

El estadio de ramificación (BBCH 20 a 29) se da en paralelo con la emergencia de la inflorescencia (capítulo) principal (BBCH 50). Posteriormente, en el extremo de cada ramificación, se desarrolla un capítulo que, al igual que el capítulo principal, está rodeado por brácteas coriáceas espinosas que sirven como protección natural. Es decir que, el grado de ramificación es de gran interés para el cultivo, ya que el número de ramificaciones afectaría el rendimiento a través del número de capítulos por planta (Franchini *et al.*, 2013). Cada capítulo consta de 20 a 180 flores hermafroditas que

maduran centrípetamente. A nivel de planta, la floración comienza en el capítulo del tallo principal, continuando en ramificaciones primarias, secundarias y así sucesivamente (Li y Mündel, 1996). La corola de las flores es pentámera con pétalos amarillos, rojos o anaranjados, rara vez blancos (OECD, 2020). El androceo es pentámero con cinco estambres soldados y el ovario posee un solo óvulo. El cártamo es una planta predominantemente autógama, aunque el porcentaje de fecundación cruzada puede ser muy variable (OECD, 2020). El fruto (grano) es una cipsela, también llamado aquenio, de color blanco crema brillante. Cada capítulo puede contener alrededor de 15 a 50 frutos, constituidos por la cáscara (pericarpio) y la pepa (embrión), donde se acumula la materia grasa. La cáscara representa el 33 al 60% del peso total del fruto (Chamorro y Bezús, 2023 a). El periodo de llenado de los frutos es una etapa muy importante ya que en ella se define el último componente del rendimiento de cártamo, que es el peso individual de los frutos, producto de la tasa y duración del periodo de llenado (David, 2017). Cuando el fruto alcanza el máximo peso seco se dice que llegó a su madurez fisiológica (BBCH 87). Transcurrida la madurez fisiológica, solo queda que el grano pierda humedad hasta llegar a la madurez de cosecha (BBCH 89), visualmente reconocible porque el 90% de las brácteas de los capítulos están secas.

1.3. Requerimientos del cultivo

El cártamo requiere condiciones de clima templado a frío en sus primeras etapas de desarrollo y templado a caliente a mediados y finales de su desarrollo, respectivamente (Montoya, 2010).

La temperatura óptima del cultivo es entre 20 y 35 °C; temperaturas menores de 5 a 10 °C podrían afectar el desarrollo del cultivo, dependiendo el estadio fenológico en el que se encuentre, y la intensidad y duración de las temperaturas bajas (Montoya, 2010; Franchini *et al.*, 2021). Por ejemplo, el cártamo es más tolerante a las bajas temperaturas en los primeros estadios de desarrollo. También se ha observado

que, un aumento en la densidad poblacional de plantas aumenta la susceptibilidad a heladas, y que temperaturas mayores a 40 °C alterarían el proceso de polinización afectando la producción de semilla (Montoya, 2010).

En cuanto a los requerimientos hídricos, el cártamo es sensible a los encharcamientos, principalmente en floración, es tolerante a condiciones de sequía por su extenso sistema radicular, y puede producir grano con baja disponibilidad de agua, aunque con bajos rendimientos (GRDC, 2010; Chamorro y Bezús, 2023 a). Por ejemplo, para producir 4000 kg.ha⁻¹ de frutos necesitaría absorber 500 mm de agua (GRDC, 2010), sin embargo, con menos de 300 mm el rendimiento es más variable pudiendo alcanzar un promedio de 790 kg.ha⁻¹ (Chamorro y Bezús, 2023 a). En cambio, si se disponen de 400 mm durante el ciclo del cultivo, los rendimientos son menos variables y pueden rondar los 2000 kg.ha⁻¹ (GRDC, 2010; Gaggioli, *et al.*, 2013). Por lo mencionado, cabe destacar la importancia de un buen barbecho para almacenar agua si el cultivo se va a realizar bajo condiciones de secano, ya que los rendimientos dependerán del agua almacenada y las precipitaciones que ocurran durante el ciclo del cultivo (Rivas y Matarazzo, 2009). Durante el estadio de floración, periodo crítico del cultivo, se dan los mayores requerimientos hídricos (Corró Molas y Ghironi, 2013), existiendo opiniones contradictorias sobre el subestadio, llenado de granos o desarrollo de los capítulos, que presenta mayor requerimiento de agua (Chamorro y Bezús, 2023 a). Si bien el periodo de floración es crítico, lluvias intensas o altos valores de humedad relativa podrían perjudicar la polinización o favorecer el desarrollo de enfermedades (GRDC, 2010). De la misma manera, cabe destacar que las semillas no poseen dormancia por lo tanto tampoco son deseables altos valores de humedad relativa en cercanías a la maduración del cultivo porque favorecerían la germinación de los granos dentro del capítulo (GRDC, 2010).

En general, el cártamo se adapta a distintos tipos de suelo, las mayores producciones se dan en suelos de textura media, seguida por los de textura arenosa, y en menor término, en los de textura fina (Montoya, 2010). Los mejores rendimientos del cultivo ocurren en suelos fértiles, profundos, y bien drenados, esto explicaría por qué en los suelos de textura fina se producen los menores rendimientos, ya que son

los más susceptibles a encostramiento, afectando la implantación, y mantienen humedad en exceso perjudicando al cultivo (Montoya, 2010). En cambio, en los suelos de textura media a gruesa, la humedad en exceso se pierde más rápidamente, favoreciendo la absorción del cultivo (Montoya, 2010).

El cártamo se considera moderadamente tolerante a la salinidad, existiendo diferencias varietales, y, en relación al pH, el cultivo prefiere valores neutros a ligeramente alcalinos (Rivas y Matarazzo, 2009).

Con respecto a la nutrición, es importante regular la disponibilidad de nitrógeno, ya que un exceso en etapas tempranas, daría un crecimiento vigoroso inicial, pudiendo agotar la disponibilidad de agua y generar deficiencias hacia finales de ciclo en periodos críticos, lo que afectaría el rendimiento (Rivas y Matarazzo, 2009; GRDC, 2010).

1.4. Componentes del rendimiento

El rendimiento de un cultivo depende de la interacción entre factores edafoclimáticos, plagas, enfermedades, malezas, genotipos y el arreglo espacial de las plantas, entre otros. Estos factores, influyen sobre el número de plantas por unidad de superficie, el número de capítulos por planta que depende del número de ramificaciones, el número de frutos por capítulo y el peso de los frutos, afectando en última instancia el rendimiento (Smith, 1996; Cerrotta *et al.*, 2021; Franchini *et al.*, 2021).

El número de plantas queda definido poco después de terminada la etapa de implantación del cultivo. Es importante mencionar que ante una falla en la emergencia que resulte en un menor número de plantas, el cártamo posee gran plasticidad a través de la formación de un mayor número de ramificaciones y capítulos por planta (GRDC, 2017).

El número final de ramificaciones y de capítulos por planta queda determinado al inicio de la floración (Franchini *et al.*, 2012). Cualquier factor adverso que

comprometa la emisión de ramas durante el periodo de ramificación, afectará negativamente al número final de capítulos (Chamorro y Bezús, 2023 a). Dado que el número de capítulos por planta es uno de los componentes determinantes del rendimiento en cártamo (Montoya, 2010), y el periodo crítico del cultivo se centra en la etapa de formación de capítulos y floración, prácticas como riego y fertilización garantizarían la disponibilidad de agua y nutrientes durante este periodo (Rivas y Matarazzo, 2009).

Luego del inicio de la elongación de entrenudos, comienza la diferenciación del capítulo, el cual no es visible inicialmente (Flemmer *et al.*, 2015); posteriormente queda fijado el número de flores por capítulo, que constituye el número potencial de frutos (Franchini *et al.*, 2012), mientras que el número final de frutos se determina una vez finalizada la floración. Dependiendo del año, luego de un periodo de 16 a 25 días desde inicio de floración, los frutos alcanzan la madurez fisiológica, quedando determinado el peso final de cada fruto y también el rendimiento en grano (Franchini *et al.*, 2014). Por su parte, el porcentaje de aceite de los frutos alcanza su máximo a los 33 días de iniciada la floración (Franchini *et al.*, 2012).

1.5. Fechas y densidades de siembra

Si bien no se cuenta con mucha información, en la región semiárida pampeana, Rivas y Matarazzo (2009) mencionan que con siembras primaverales los mejores resultados se obtienen en los meses de agosto, y que siembras de septiembre disminuyen los rendimientos. Por otro lado, en los meses de julio, registraron mayores problemas debido a enmalezamiento, sin presentar diferencias significativas en los estadios fenológicos con respecto a las siembras de agosto, ya que por las bajas temperaturas de julio se retrasa la emergencia. En un campo experimental de la región, en Cabildo, se han observado aumentos de rendimiento en grano en las siembras otoñales de distintos genotipos de cártamo, duplicando los valores observados en siembras primaverales (Franchini *et al.*, 2021). Dentro de las siembras

otoñales, otros autores observaron mayores rendimientos en siembras de mediados a fines de mayo hasta mediados de junio, lo que se explicaría por un mayor desarrollo vegetativo, mayor exploración radicular del perfil del suelo y mayor acumulación de reservas en el periodo de preantesis respecto a siembras más tardías (Cerrota *et al.*, 2021). Hay que tener en cuenta que fechas de siembras muy tempranas, acortarían el periodo de barbecho, lo que afecta la acumulación de agua y puede dificultar el control de malezas (Cerrota *et al.*, 2021). Cabe destacar la importancia de continuar con los ensayos para determinar la fecha óptima de siembra en cada zona en particular, a fin de lograr una emergencia rápida y un buen desarrollo durante el ciclo del cultivo, maximizando rendimientos.

Como ya hemos planteado, la planta de cártamo posee una gran capacidad de compensación en cuanto a la formación de ramificaciones y, en consecuencia, de capítulos bajo diferentes densidades de siembra (Elfadl *et al.*, 2009). Sin embargo, en bajas densidades de plantas, con mayor producción de ramificaciones, el número de capítulos totales podría no reflejar el rendimiento en grano porque estaría incluyendo los capítulos pequeños de estratos inferiores de la planta que poseen pocos o ningún grano lleno y su recolección es difícil (Cerrota, 2021; Konradsen, 2020). Por el contrario, densidades muy altas podrían generar competencia entre plantas disminuyendo el rendimiento (Sampaio *et al.*, 2017). Desde el punto de vista del arreglo espacial, la densidad de plantas depende del número de plantas por surco y de la distancia entre surcos. En nuestro país, la distancia utilizada es muy variable, siendo de 17,5 cm a 40 o 50 cm bajo siembra directa en la región semiárida (Chamorro y Bezús, 2023 b), en otros ambientes se encuentran espaciamientos desde 30 hasta 70 cm bajo condiciones de secano (Rivas y Matarazzo, 2009). Las características de la semilla y las condiciones de crecimiento durante la implantación, también influirán sobre el número final de plantas obtenidas. De acuerdo al poder germinativo y peso de la semilla, se citan densidades de 14 a 18, hasta 40 kg.ha⁻¹ para lograr en promedio 40 a 50 plantas.m⁻² variando entre 20 a 100 plantas.m⁻². Sin embargo, es probable que se logren densidades más bajas por condiciones ambientales desfavorables para la germinación o fallas en la siembra (Chamorro y Bezús, 2023 b; Rivas y Matarazzo,

2009). Normalmente, las mayores densidades se utilizan en los ambientes más fértiles y con buena disponibilidad de agua, y los mayores distanciamientos entre surcos y menores densidades de siembra, en ambientes más secos (Rivas y Matarazzo, 2009).

1.6. Cártamo en el SOB

En cuanto a los cultivos agrícolas, el SOB es una zona tradicionalmente triguera y con características edafoclimáticas limitantes para oleaginosas como girasol y soja. Sin embargo, sería apta para el cultivo de cártamo, cuya incorporación en el ciclo productivo, constituiría una interesante alternativa para la diversificación e intensificación de la agricultura en el SOB:

- se pueden utilizar las mismas maquinarias que para trigo.
- la inclusión de un cultivo de hoja ancha reduciría el uso de agroquímicos y permitiría cortar el ciclo de vida de insectos, enfermedades y malezas.
- prolongaría el tiempo de actividad de las plantas procesadoras de girasol a lo largo del año.
- permitiría el acceso a nuevos mercados.

De un total de 11 genotipos estudiados, de origen americano, Montola 2000 (variedad primaveral alto oleico) fue uno de los que mostró mayor rendimiento en grano bajo siembras otoñales y mayor resistencia al frío durante la elongación de los entrenudos en ensayos a campo en el SOB (Lindström *et al.*, 2015; Franchini *et al.*, 2021). Por ejemplo, Lesaf y CW 99-OL mostraron mortalidad del tallo principal y de plantas enteras en respuesta a temperaturas bajo cero ocurridas durante dicho estadio (Lindström *et al.*, 2015; Franchini *et al.*, 2021). Paralelamente, el grupo CERZOS/UNS obtuvo dos líneas experimentales de cártamo, RM Napostá y RCJ3, con alta adaptación al SOB, alto contenido y rendimiento de materia grasa, alto contenido de ácido oleico y mayor precocidad (floración temprana) que el testigo comercial CW 99-OL (Cerrotta, 2021).

Para establecer las normas de manejo tendientes a maximizar el rendimiento y el contenido de materia grasa de los granos de cártamo para cada región en particular

es necesario conocer como inciden factores como fecha y densidad de plantas sobre el rendimiento de distintos genotipos de cártamo. Por ello, este plan de trabajo propone evaluar la respuesta de dos líneas mejoradas de cártamo, RM Napostá y RCJ3, y de los genotipos de referencia Montola 2000, CW 99-OL y WSRC01 (genotipo invernal), a los dos factores mencionados.

2. Hipótesis y Objetivos

Hipótesis

En un campo del SOB, el rendimiento en grano de los cinco genotipos de cártamo mencionados será mayor con fechas de siembra tempranas (fines de abril-principios de mayo) y densidad de plantas intermedia (20 plantas.m⁻²).

Objetivos

1. Determinar en cada genotipo el momento en que se alcanza cada uno de los estadios fenológicos y su duración, en respuesta a diferentes combinaciones de fechas de siembra y densidades de plantas por unidad de área en un campo experimental de la región.

2. Evaluar el rendimiento en grano y los componentes de rendimiento de cada genotipo en respuesta a diferentes combinaciones de fechas de siembra y densidades de plantas por unidad de área en un campo experimental de la región.

3. Materiales y métodos

3.1. Ubicación y caracterización del sitio de estudio

El ensayo fue llevado a cabo en la Chacra Experimental Napostá convenio UNS y MDA-PBA ($38^{\circ}25'S$ $62^{\circ}17'O$) (Fig. 4) durante un ciclo de crecimiento (2022). El campo está ubicado en el kilómetro 35 de la Ruta Nacional 33 y cuenta con una superficie de 711 hectáreas. Se encuentra en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, dentro del partido de Bahía Blanca. Los suelos más representativos del campo son los Haplustoles típicos y los Paleustoles petrocálcicos (Borel y Buss, 2022).

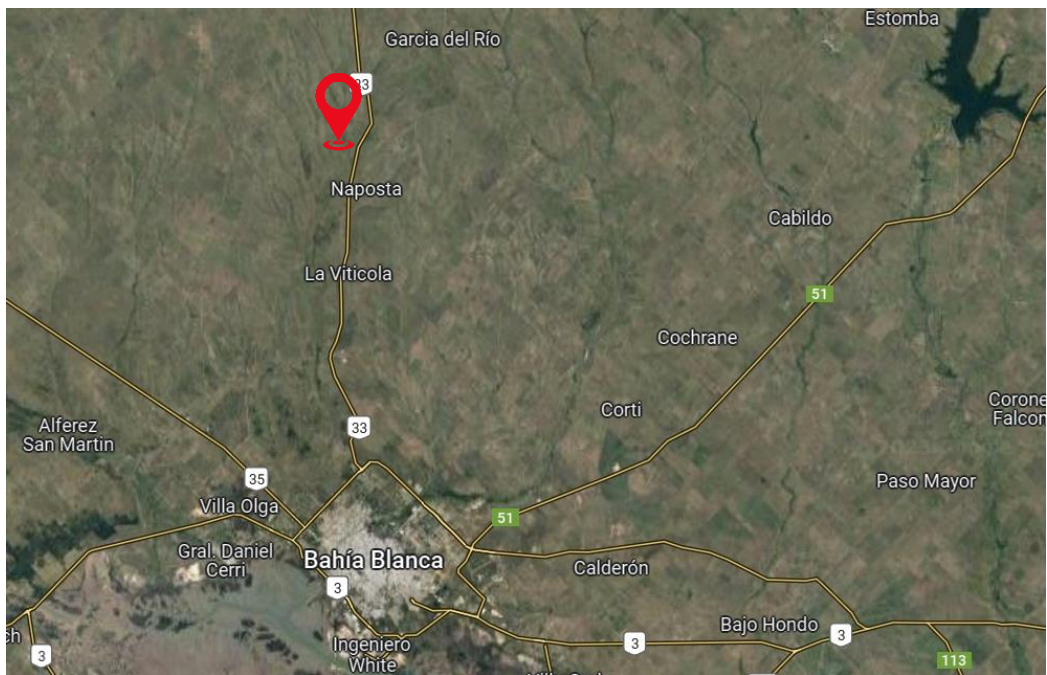


Figura 4. Ubicación del campo Experimental Napostá (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

3.2. Caracterización del clima

El clima del SOB se clasifica como semiárido, caracterizado por una gran variación en la precipitación y estaciones térmicas bien diferenciadas (Aliaga *et al.*, 2016; Bohn, *et al.*, 2014).

La precipitación media anual en la zona del sitio de estudio, registrada en una serie de 30 años (1980-2010), varió entre 550 y 650 mm (Bohn, *et al.*, 2014). El invierno es el periodo más seco del año, con marcada estacionalidad en la precipitación en los meses otoñales y primaverales (Aliaga, *et al.*, 2016). Por su parte, la temperatura media anual para el mismo periodo fue superior a 14 °C (Bohn, *et al.*, 2014).

Los datos meteorológicos, registrados por una estación meteorológica (Davis Vantage Pro 2) ubicada en el campo experimental durante el periodo de estudio, fueron provistos por la Cátedra de Agrometeorología, Departamento de Agronomía, UNS.

3.3. Material vegetal

Se sembraron los genotipos de cártamo mejorados RM Napostá y RCJ3 y los genotipos americanos Montola 2000 (primaveral), CW 99-OL (primaveral) y WSRC01 (invernal). Todos los genotipos son altos en ácido oleico excepto el invernal que es alto en ácido linoleico.

3.4. Diseño experimental

Se establecieron cuatro fechas de siembra: 27 de abril (fecha 1), 12 de mayo (fecha 2), 23 de mayo (fecha 3) y 14 de junio (fecha 4) y tres densidades de plantas (14, 20 y 29 plantas m⁻²) (Fig. 5) durante un ciclo de crecimiento. La siembra se realizó con bastón a 3,5 cm de profundidad. Previo a la siembra, las semillas fueron tratadas con fungicida. El cultivo se mantuvo libre de plagas, enfermedades y malezas, mediante la aplicación de insecticidas (dimetoato, cipermetrina) y herbicidas (metsulfuron y cletodim). La cosecha se realizó de forma manual.

El diseño experimental fue de parcelas divididas dispuestas en tres bloques completos al azar. Las fechas de siembra fueron asignadas a las parcelas principales, las densidades a las subparcelas y los genotipos a las sub-subparcelas (unidades experimentales, UE). Cada UE consistió en cinco hileras de 2 m de largo cada una, distanciadas 35 cm entre sí. En cada fila, la distancia entre plantas fue de 20, 15 y 10 cm de manera de lograr las tres densidades propuestas.



Figura 5. Imagen del ensayo donde se observan las distintas densidades de siembra separadas por estacas.

3.5. Determinaciones

Se realizó el registro de los estadios fenológicos del cultivo mediante observación directa (Fig. 6), de acuerdo a la escala fenológica desarrollada para cártamo por Flemmer *et al.* (2015). Cada estadio quedó definido cuando el 50 % de las plantas de cada UE alcanzaron el mismo.

El número de ramificaciones y de capítulos totales por planta se determinó en 3 plantas por genotipo por UE en antesis, momento en que ya están fijadas ambas variables.

En la madurez de cosecha, se cortaron a nivel del suelo todas las plantas de 2 m lineales de las filas centrales de cada UE, y se colocaron en bolsas previamente

rotuladas con la siguiente información: fecha de siembra, genotipo, número de bloque y densidad. Las muestras obtenidas fueron llevadas a estufa a 60 °C durante 48 horas.



Figura 6. Observación de algunos de los estadios fenológicos en plantas individuales: roseta (izquierda), elongación del tallo (centro) y ramificación (derecha, flecha).

Una vez secadas las muestras (Fig. 7) se cortaron todos los capítulos de las plantas para determinar la biomasa (peso seco) de los capítulos y, por otro lado, de tallo+hojas. Sólo se presentan los valores de biomasa de las fechas de siembra 1 a 3 ya que, debido a un desperfecto eléctrico en la estufa de secado, las muestras de la fecha 4 se perdieron.



Figura 7. Plantas ya cosechadas y secadas en estufa a punto de ser procesadas para determinar peso seco de capítulos y tallo+hojas.

Para obtener los frutos llenos, se procedió al trillado de los capítulos en una trilladora eléctrica para ensayos y, para eliminar impurezas, se continuó con el tamizado de las muestras (Fig. 8), determinando posteriormente el peso seco de los frutos llenos. Con esa variable se estimó el rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en grano extrapolado a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Finalmente, se determinó el peso de mil frutos para cada muestra pesando tres submuestras de cien frutos cada una y promediando los valores para extrapolarlo al peso de mil. Además, se calculó el índice de cosecha ($\text{IC} = \text{peso seco de frutos llenos}/\text{peso seco biomasa aérea}$).



Figura 8. Trilladora eléctrica para ensayos (izquierda) y tamizado de las muestras de frutos llenos (derecha).

3.6. Análisis estadístico

Las mediciones de cada una de las variables analizadas fueron sometidas a análisis de la varianza (ANDEVA) y los valores medios, comparados mediante el test de diferencias mínimas significativas, utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

4. Resultados y discusión

La temperatura media anual durante el periodo de estudio fue de 14,3 °C (Fig. 9). La precipitación total anual fue de 623,4 mm, con buen aporte de agua en los meses previos a la siembra (febrero, marzo y abril, Fig. 9) lo que podría haber contribuido a la acumulación de agua en el perfil del suelo y, de esta manera, favorecer la emergencia del cultivo y su posterior desarrollo. También fueron importantes las precipitaciones caídas en los meses primaverales, principalmente octubre y noviembre, coincidiendo con el periodo crítico del cultivo.

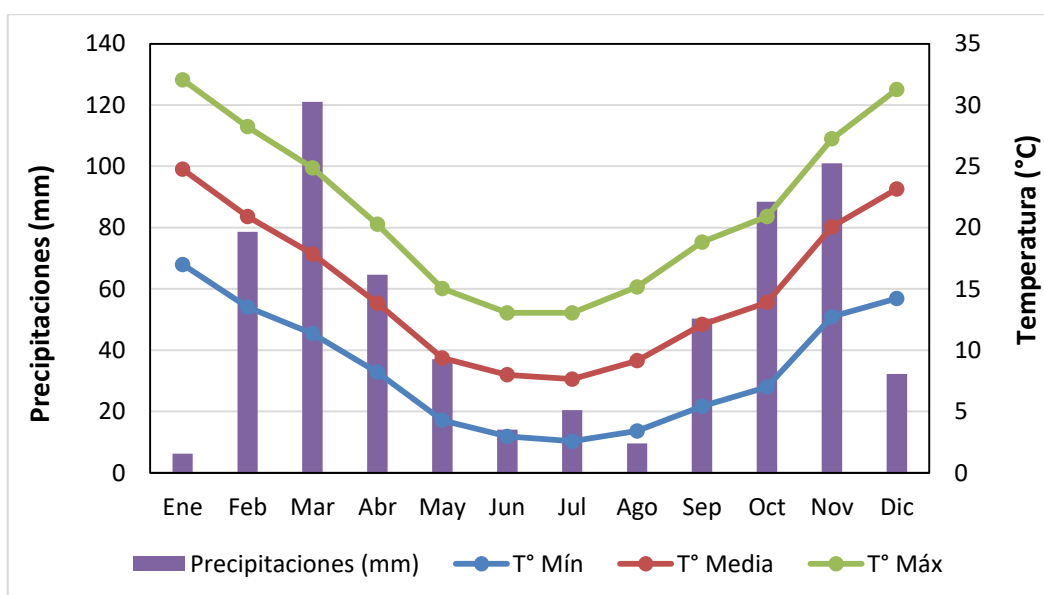


Figura 9. Distribución de precipitaciones y temperaturas medias mensuales registradas durante el año 2022 en el sitio de estudio.

4.1. Estadios fenológicos

4.1.1. Emergencia

El número de días desde la siembra (DDS) a emergencia (BBCH 09) mostró interacción significativa ($p < 0,05$) entre fecha de siembra y genotipo, entre fecha de siembra y densidad de plantas y entre genotipo y densidad de plantas (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de F del análisis de la varianza de la duración (DDS: días desde la siembra, DDE: días desde la emergencia) de cada estadio fenológico en respuesta a la fecha de siembra, densidad de plantas, genotipo y sus interacciones.

Fuente de variación	Estadios fenológicos									
	Emergencia (DDS)		Estadio de roseta (DDE)		Ramificación (DDE)		Antesis (DDE)		Madurez de cosecha (DDE)	
Fecha	203,92	**	409,87	**	93,93	**	2128,45	**	989,18	**
Densidad	0,9	ns	0,94	ns	4,77	*	0,26	ns	0,94	ns
Genotipo	54,92	**	43,65	**	9,59	**	177,68	**	62,47	**
Genotipo* Densidad	2,00	*	1,01	ns	1,33	ns	1,70	ns	1,71	ns
Fecha*Genotipo	1,93	*	5,24	**	6,86	**	5,88	**	3,64	**
Fecha*Densidad	2,88	*	1,72	ns	2,52	*	2,67	*	1,86	ns
Fecha*Genotipo* Densidad	0,96	ns	0,91	ns	1,07	ns	1,49	ns	0,66	ns

ns: no hay diferencias significativas, *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$.

En cada genotipo, se observaron diferencias entre las fechas de siembra ($p < 0,05$), evidenciando valores de más del doble entre la primera (13 a 17 días) y la segunda fecha (31 a 36 días) (Fig. 10). El número de días a emergencia continuó aumentando ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra hasta alcanzar los 35 a 42 días, dependiendo del genotipo, en la fecha 4 (Fig. 10). Al extenderse el periodo de emergencia, probablemente debido a la disminución de las temperaturas asociada a la estación del año (Fig. 9), el cultivo podría sufrir competencia por malezas, similar a lo sugerido por Rivas y Matarazzo (2009), quienes observaron que en las siembras de julio a diferencia de las de agosto, se extiende la emergencia entre 30 y 35 días por el frío y se registra una mayor incidencia de las mismas.

Respecto a las densidades de plantas, no se observaron diferencias en el número de DDS a emergencia en la fecha 1, sin embargo, hubo algunas diferencias significativas ($p < 0,05$) de 1 a 2 días, en las fechas 2, 3 y 4 (Fig. 11).

En general, excepto en la fecha 1, las líneas mejoradas y CW 99-OL mostraron tiempos de emergencia intermedios ($p < 0,05$) entre Montola 2000, que fue el primero en emerger y WSRC01, que fue el último en emerger, independientemente de la fecha

y la densidad de plantas (Figs. 10 y 12). En cambio, en la fecha 1, los DDS a emergencia de las líneas mejoradas fueron similares ($p>0,05$) a Montola 2000 (Fig. 10).

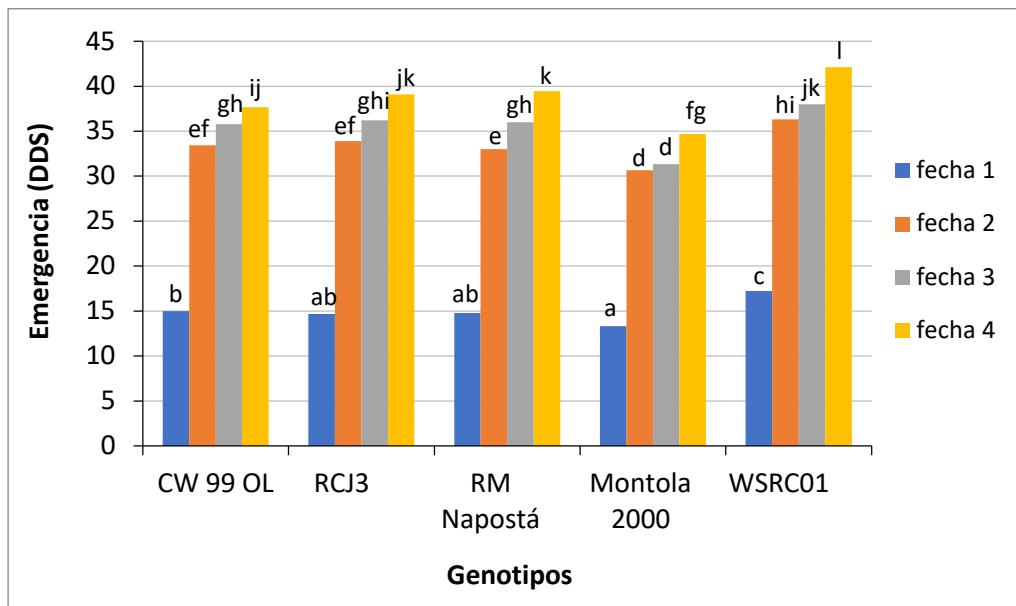


Figura 10. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

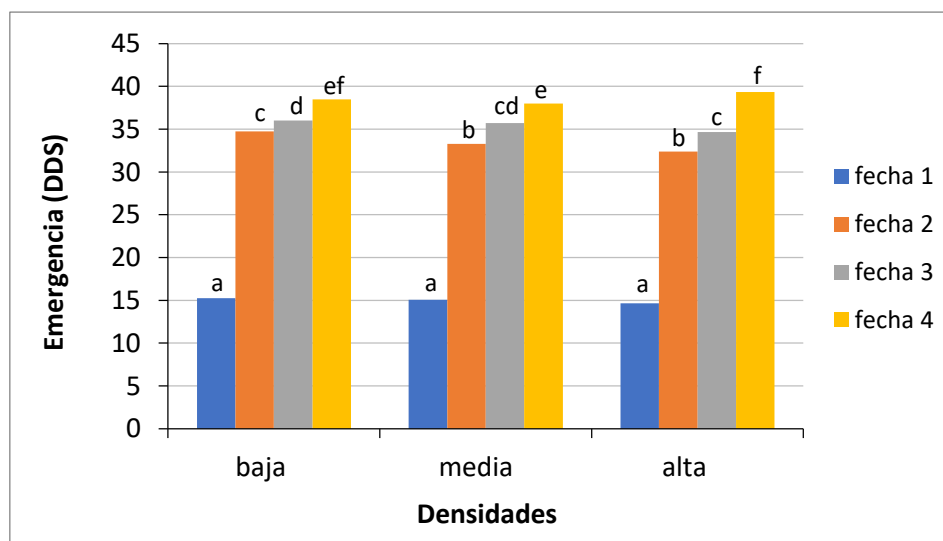


Figura 11. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de las tres densidades en cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

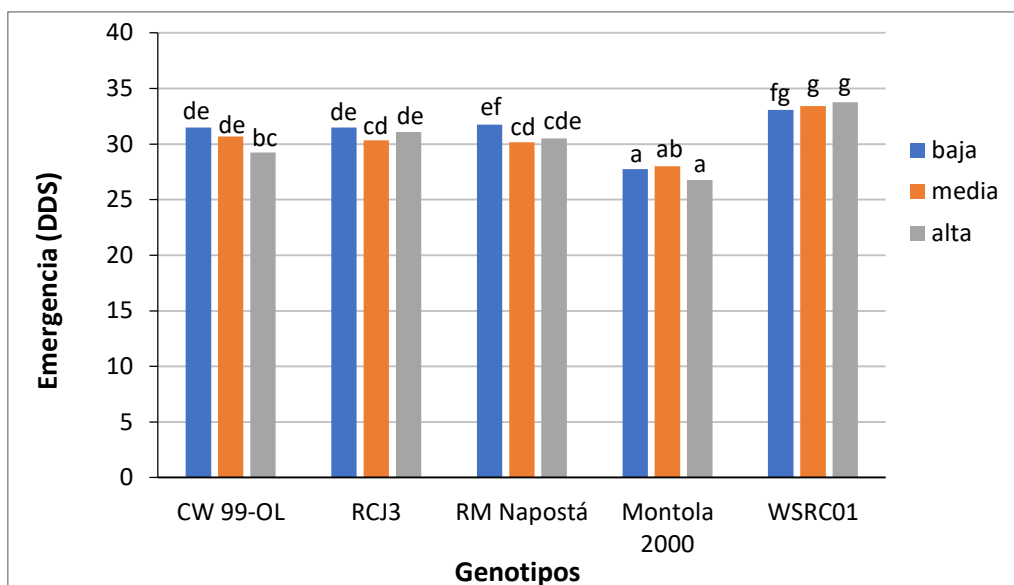


Figura 12. Emergencia (días desde la siembra, DDS) de los cinco genotipos en cada densidad de plantas, en promedio para las fechas de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

4.1.2. Estadio de roseta

La duración del estadio de roseta (BBCH 12-19, días desde emergencia, DDE, a inicio de elongación de los entrenudos) mostró interacción significativa ($p < 0,01$) únicamente entre fechas de siembra y genotipos (Tabla 3). Por su parte, la densidad de plantas no afectó ($p > 0,10$) la duración del estadio de roseta (Tabla 3) promediando $95 \pm 2,2$ (media \pm ES) DDE en cada una de las densidades de plantas. En general, en cada fecha de siembra, el periodo de roseta fue mayor ($p < 0,05$) en las líneas mejoradas y en Montola 2000 que en WSRC01 y CW 99-OL, y estas diferencias se acentuaron al retrasar la fecha de siembra (Fig. 13). Por otro lado, a medida que se retrasa la fecha de siembra, se acorta la duración del estadio de roseta (Fig. 13), en concordancia con Cerrota *et al.* (2021) quienes observaron mayor duración del periodo de roseta en cártamo con siembras tempranas. De la misma manera, Franchini *et al.* (2021) mencionan que el periodo de roseta fue 55 días más largo en siembras otoñales en relación a invernales.

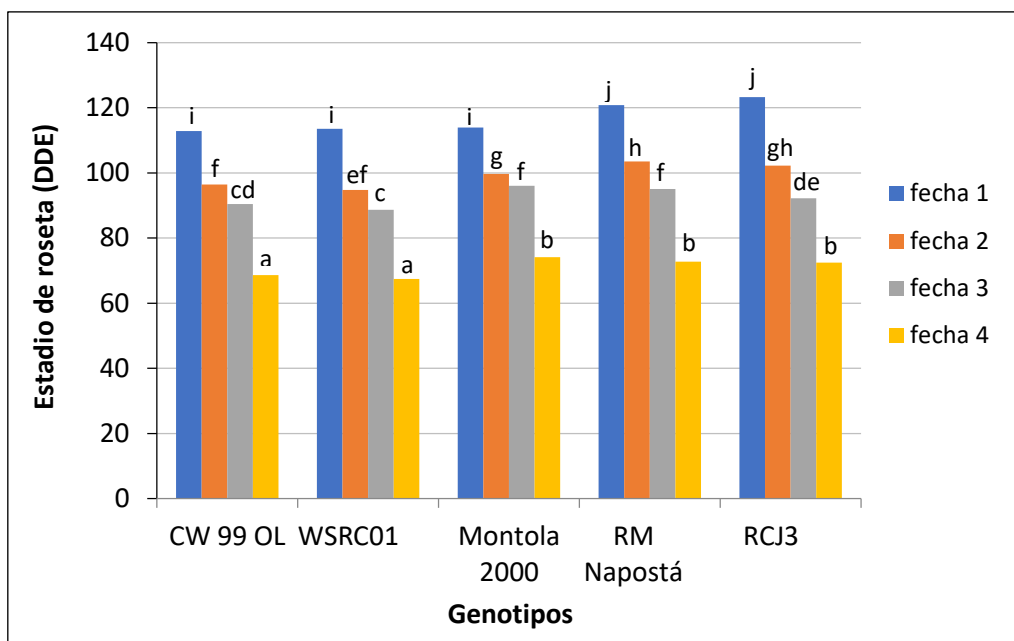


Figura 13. Estado de roseta (días desde emergencia, DDE, a inicio de elongación de los entrenudos) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

Considerando la fecha calendario, las plantas sembradas en la fecha 1, iniciaron la elongación del tallo las primeras semanas de septiembre, mientras que las sembradas en las fechas restantes, lo hicieron entre fines de septiembre y principios de octubre (Tabla 4). En línea con estos resultados, Franchini *et al* (2021), en un ensayo de dos años, observaron que el inicio de la elongación de distintos genotipos de cártamo ocurre más tempranamente con siembras en abril (principios de agosto a principios de septiembre, año 2013) respecto a siembras en junio (mediados a fines de septiembre, año 2012). Es importante considerar que, en este estadio, el cultivo es susceptible al daño por heladas tardías (septiembre-octubre), las que suelen ocurrir en la región de estudio (Lambrecht *et al.*, 2023). En este sentido, Franchini *et al* (2021), reportaron daño y muerte de plantas por helada en algunos genotipos, entre ellos CW 99-OL, que comenzaban a elongarse hacia fines de agosto, debido a la ocurrencia de tres noches consecutivas con temperaturas menores a 0 °C en ese momento.

Tabla 4. Fechas calendario promedio en que se alcanzó cada estadio fenológico para cada genotipo y fecha de siembra.

Fecha de siembra	Estadios fenológicos					
	Genotipos	Emergencia	Inicio elongación	Inicio ramificación	Inicio de antesis	Madurez de cosecha
24 de abril (Fecha 1)	WSRC01	13-may	4-sep	12-sep	19-nov	19-dic
	RM Napostá	12-may	9-sep	26-ago	27-nov	26-dic
	Montola 2000	10-may	1-sep	28-ago	28-nov	26-dic
	RCJ3	12-may	12-sep	9-sep	26-nov	26-dic
	CW 99-OL	12-may	2-sep	3-sep	23-nov	26-dic
12 de mayo (Fecha 2)	WSRC01	16-jun	19-sep	29-sep	26-nov	27-dic
	RM Napostá	14-jun	24-sep	23-sep	29-nov	27-dic
	Montola 2000	11-jun	18-sep	19-sep	30-nov	27-dic
	RCJ3	14-jun	24-sep	2-oct	29-nov	27-dic
	CW 99-OL	14-jun	18-sep	27-sep	29-nov	27-dic
23 de mayo (Fecha 3)	WSRC01	30-jun	27-sep	7-oct	28-nov	3-ene
	RM Napostá	28-jun	30-sep	8-oct	1-dic	3-ene
	Montola 2000	24-jun	28-sep	5-oct	1-dic	3-ene
	RCJ3	29-jun	29-sep	7-oct	1-dic	3-ene
	CW 99-OL	27-jun	26-sep	8-oct	2-dic	3-ene
14 de junio (Fecha 4)	WSRC01	26-jul	2-oct	11-oct	27-nov	6-ene
	RM Napostá	23-jul	4-oct	9-oct	1-dic	6-ene
	Montola 2000	19-jul	1-oct	7-oct	1-dic	6-ene
	RCJ3	23-jul	3-oct	10-oct	1-dic	6-ene
	CW 99-OL	21-jul	29-sep	8-oct	1-dic	6-ene

4.1.3. Ramificación

El inicio de ramificación (BBCH 21) comenzó entre el 26 de agosto en la fecha 1 y el 11 de octubre en la fecha 4 (Tabla 4). El número de DDE para llegar a este estadio mostró interacción significativa ($p < 0,01$) entre fechas de siembra y genotipos (Tabla 3).

En general, en cada genotipo, el número de DDE a inicio de ramificación fue disminuyendo ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra (Fig. 14). Así, la fecha 4 (14 de junio) es la que presentó el periodo más corto ($p < 0,05$) abarcando entre 77 a 81 días, según el genotipo considerado (Fig. 14). Los valores más altos ($p < 0,05$) se observaron en una de las líneas mejoradas, RCJ3, y en WSRC01 en la primera fecha de siembra,

contando con un periodo de emergencia a ramificación de 124 y 118 días respectivamente (Fig. 14).

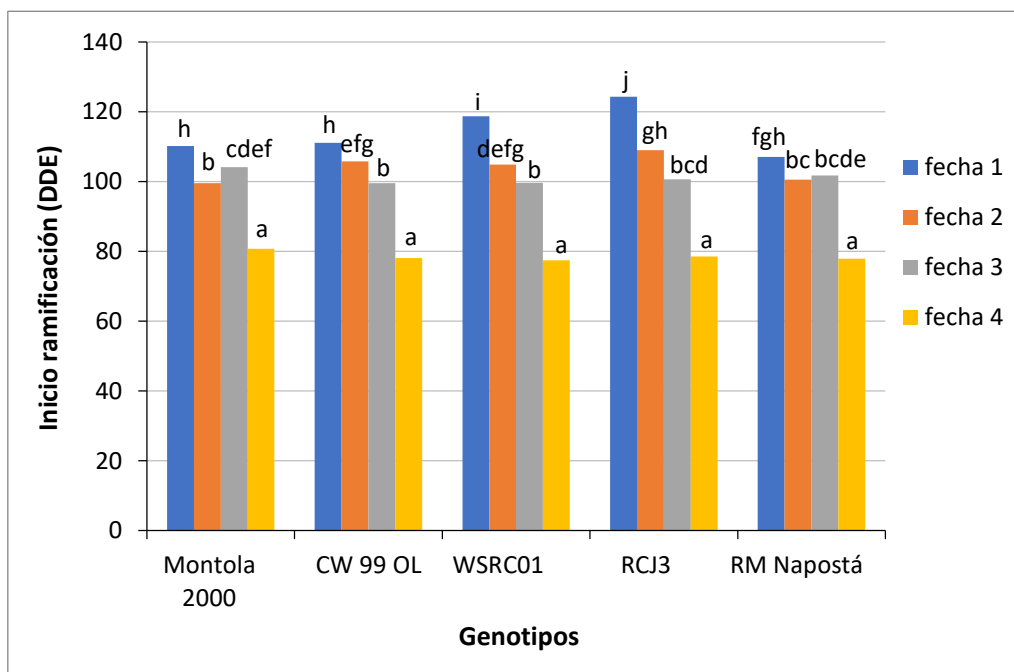


Figura 14. Inicio de ramificación (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

También se observó interacción ($p < 0,05$) entre la fecha de siembra y la densidad de plantas en el número de DDE a inicio de ramificación (Tabla 3). En general, este período va disminuyendo ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra independientemente de la densidad de plantas (Fig. 15). Por otro lado, en las fechas de siembra 2 y 4 (12 de mayo y 14 de junio), se observó un efecto significativo en la duración de este periodo, como consecuencia de la densidad de plantas, siendo más corto en los planteos con menor número de individuos (Fig. 15).

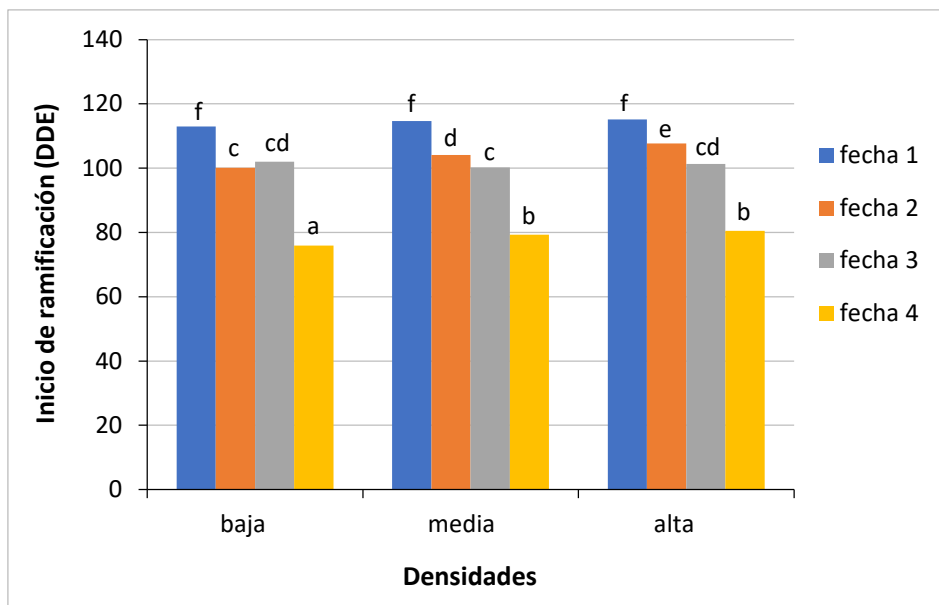


Figura 15. Inicio de ramificación (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades de siembra para cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

4.1.4. Antesis

A pesar de la diferencia de 48 días entre la primera y la última fecha de siembra, el inicio de antesis (BBCH 61) de las distintas UE ocurrió en un periodo más breve (13 días), entre el 19 de noviembre y el 2 de diciembre (Tabla 4). Franchini *et al* (2021), observaron valores similares para el periodo de antesis, ocurriendo entre el 17 de noviembre al 7 de diciembre (20 días). Igualmente, el número de DDE a inicio de antesis fue disminuyendo ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra tanto en promedio para cada genotipo (Fig. 16) como para cada densidad (Fig. 17). El periodo transcurrido entre la emergencia e inicio de antesis (123 a 203 DDE, dependiendo del genotipo y fecha de siembra, Fig. 16), son similares a los reportados por Torabi *et al*. (2020) para otros genotipos y fechas de siembra similares a las establecidas en el presente trabajo.

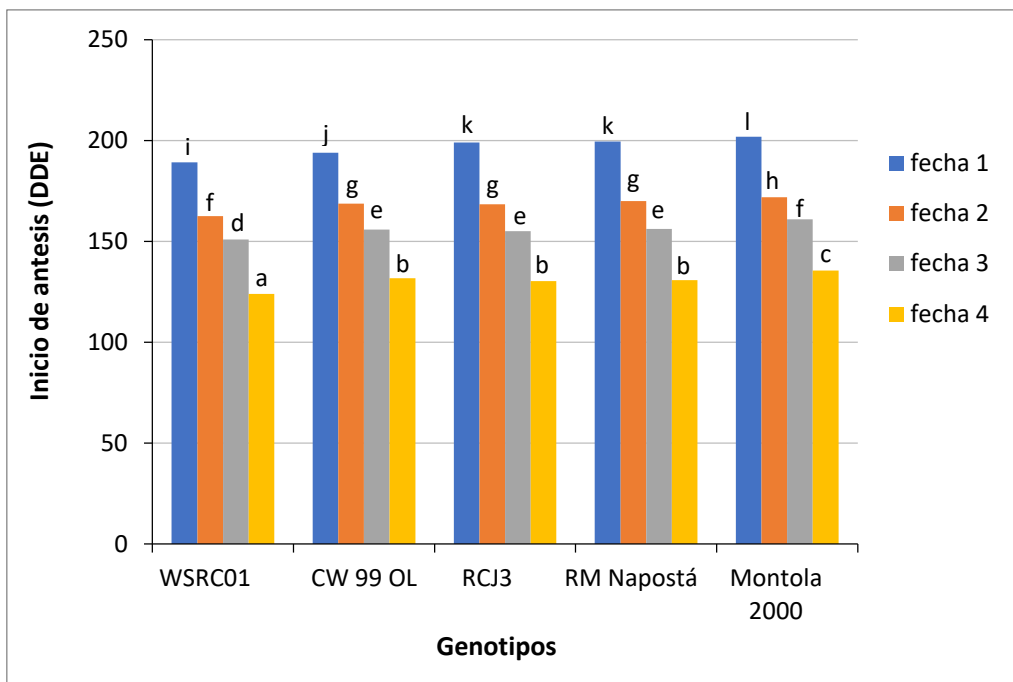


Figura 16. Inicio de antesis (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

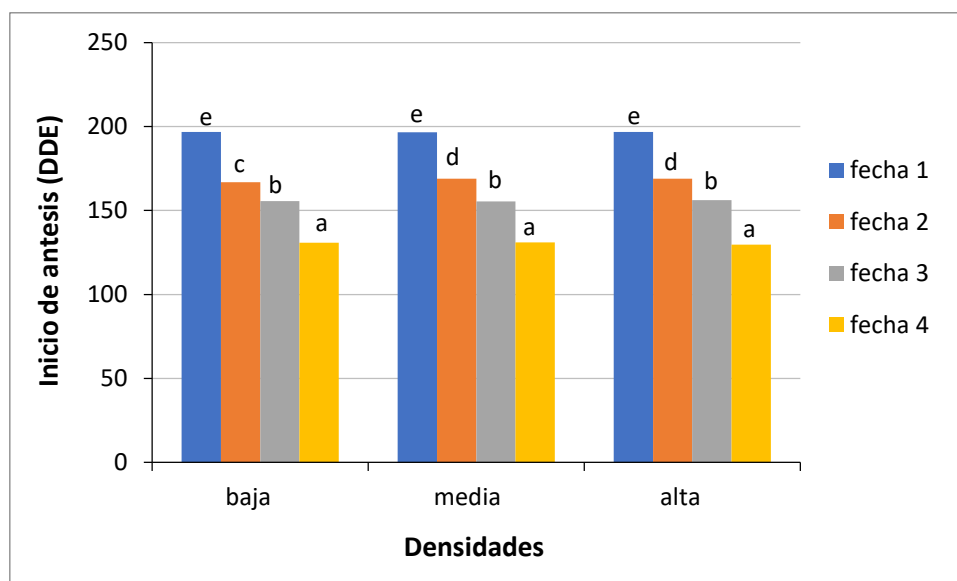


Figura 17. Inicio de antesis (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades de siembra para cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

En cada fecha de siembra, el genotipo más precoz fue WSRC01 (Fig. 16). En cambio, Montola 2000 mostró un comportamiento opuesto siendo el último en florecer ($p < 0,05$) (Fig. 16). Por su parte, las dos líneas mejoradas y CW 99-OL mostraron valores intermedios (Fig. 16). Es importante considerar que aun ante variaciones en la fecha de siembra, la fecha en la que alcanzan la antesis suele ser similar. Esto se debería a que el inicio del desarrollo reproductivo del cártamo depende principalmente del fotoperiodo y de la temperatura más que de la fecha de siembra (Cerrota, 2021; GRDC, 2017; Torabi *et al.*, 2020).

4.1.5. Madurez de cosecha

La madurez de cosecha (BBCH 89) ocurrió de manera escalonada desde la fecha 1 (19 de diciembre) a la fecha 4 (6 de enero) (Tabla 3). Así, el número de DDE a madurez de cosecha (90% de las brácteas de los capítulos secas) fue disminuyendo ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra tanto en promedio para cada genotipo (Fig. 18) como para cada densidad (Fig. 19). Al igual que en antesis, en cada fecha de siembra, WSRC01 fue el primero en alcanzar madurez de cosecha ($p < 0,05$) mientras que, Montola 2000 fue el último ($p < 0,05$) (Fig. 18). La mayor diferencia entre ambos genotipos se observó en la primera fecha de siembra en la cual WSRC01 alcanzó la madurez de cosecha alrededor de 10 días antes. Las dos líneas mejoradas y CW 99-OL mostraron valores intermedios (Fig. 18). Excepto en la fecha 2, no se observaron diferencias ($p < 0,05$) entre densidades de plantas en cada fecha de siembra (Fig. 19). En esta fecha, la menor densidad de plantas sólo adelantó dos días ($p < 0,05$) la madurez de cosecha respecto a la mayor densidad (Fig. 19).

En el presente ensayo, se acortó el periodo de emergencia a madurez de cosecha al atrasar la fecha de siembra en todos los genotipos (Fig. 18). La menor duración del ciclo del cultivo ($p < 0,05$) se observó en WSRC01 sembrado en la fecha 4, alcanzando en promedio 164 DDE a madurez de cosecha (Fig. 18). La mayor duración del ciclo del cultivo ($p < 0,05$) se observó en Montola 2000 sembrado en la fecha 1,

alcanzando en promedio 230 DDE a madurez de cosecha (Fig. 18). Algo similar, observaron Franchini *et al.* (2021), quienes obtuvieron valores entre 176 y 230 días, desde emergencia a madurez de cosecha, en siembras otoñales y dos años distintos, mientras que, en siembras invernales, obtuvieron valores entre 120 a 115 días para dicho periodo.

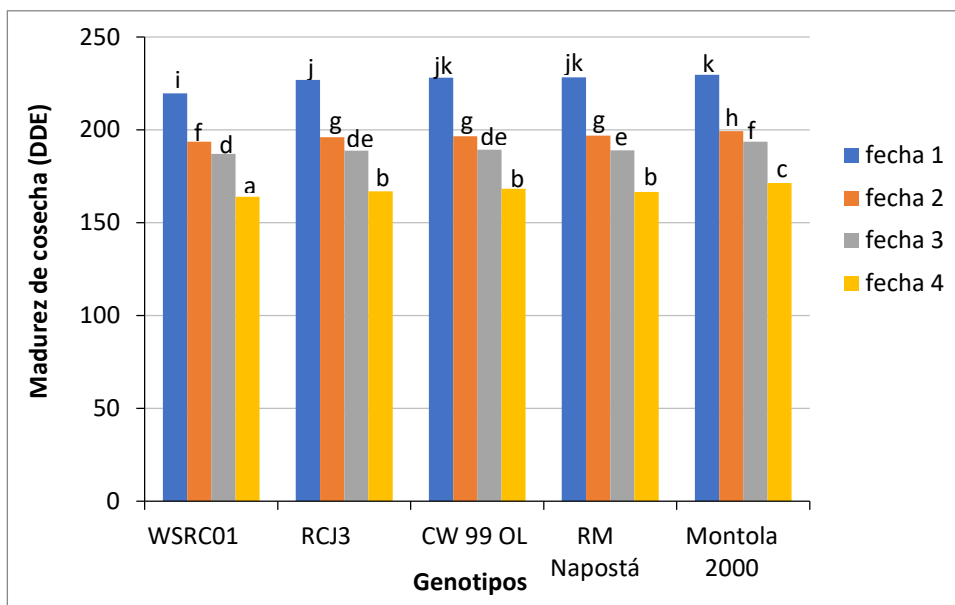


Figura 18. Madurez de cosecha (días desde emergencia, DDE) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

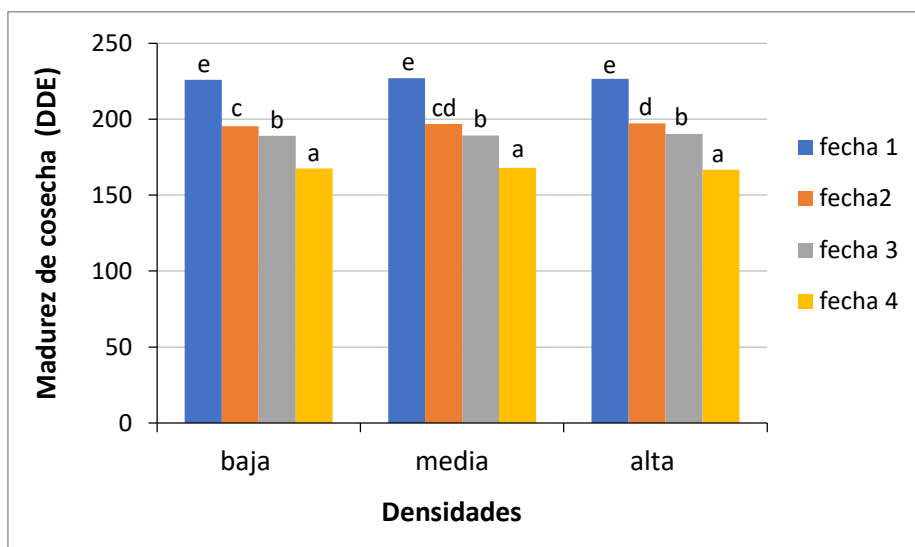


Figura 19. Madurez de cosecha (días desde emergencia, DDE) de las tres densidades en cada fecha de siembra, en promedio para los genotipos estudiados. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

4.2. Rendimiento

4.2.1. Ramificaciones y capítulos totales por planta

El número de ramificaciones y de capítulos totales por planta no mostró interacción significativa ($p>0,25$ y $p>0,05$, respectivamente) entre los factores estudiados, ni diferencias entre fechas de siembra ($p>0,25$). Ambas variables, aumentaron a medida que disminuyó la densidad de plantas (Tabla 5), lo que pone en evidencia la capacidad de compensación observada en cártamo por otros autores (Elfadl *et al.*, 2009; Sampaio *et al.*, 2017).

Tabla 5. Número de ramificaciones y de capítulos totales por planta, medidos en antesis, en promedio para cada densidad y genotipo.

		Número de ramificaciones		Número de capítulos	
Densidad de plantas	alta	16,57	a	11,63	a
	media	19,43	b	14,47	b
	baja	21,85	c	16,53	c
Genotipos	CW 99-OL	17,47	a	12,58	a
	RM Napostá	18,49	ab	12,97	ab
	RCJ3	19,58	bc	14,19	b
	Montola 2000	20,14	bc	14,42	b
	WSRC01	20,73	c	16,9	c

* En cada factor, valores que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

En general, WSRC01 fue el que presentó el mayor ($p<0,05$) número de ramificaciones y de capítulos totales por planta, mientras que los menores ($p<0,05$) valores se observaron en CW 99-OL (Tabla 5). Los demás genotipos mostraron valores intermedios (Tabla 5).

Cabe destacar que, el número de capítulos siempre fue menor que el número de ramificaciones por planta, independientemente de la densidad de plantas y del genotipo (Tabla 5).

4.2.2. Biomasa aérea

En cuanto a la producción de biomasa aérea, no se observaron interacciones entre los factores estudiados ($p > 0,25$) ni diferencias entre fechas de siembra ($p > 0,25$) (Tabla 6). La producción de biomasa aérea total fue menor en la densidad baja, aunque las diferencias sólo fueron significativas ($p < 0,05$) respecto a la densidad media (Fig. 20). Esta diferencia estuvo asociada a una menor ($p < 0,05$) biomasa de tallos+hojas en la densidad baja (Fig. 20).

Tabla 6. Valores de F del análisis de la varianza de rendimiento en grano y sus componentes (P1000, biomasa aérea e índice de cosecha) en respuesta a la fecha de siembra, densidad de plantas, genotipo y sus interacciones.

Fuente de variación	Variables medidas							
	Biomasa aérea (kg.ha ⁻¹)		P1000 (g)		Rendimiento (kg.ha ⁻¹)		Índice de cosecha	
Fecha	0,28	ns	1,99	ns	0,47	ns	6,09	ns
Densidad	5,7	*	1,71	ns	0,35	ns	1,28	ns
Genotipo	10,72	**	413,66	**	29,96	**	17,02	**
Genotipo*Densidad	0,68	ns	0,64	ns	0,15	ns	1,28	ns
Fecha*Genotipo	0,64	ns	2,23	*	1,3	ns	2,17	*
Fecha*Densidad	0,57	ns	0,78	ns	0,96	ns	1,45	ns
Fecha*Genotipo*Densidad	0,78	ns	0,68	ns	0,77	ns	0,51	ns

ns: no hay diferencias significativas, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

La mayor ($p < 0,05$) producción de biomasa aérea total se observó en WSRC01, que se diferenció del resto de los genotipos tanto por una mayor ($p < 0,05$) biomasa de tallos+hojas como de capítulos (Fig. 21). Estas dos últimas variables fueron similares en el resto de los genotipos, excepto la biomasa de tallo+hojas que, en general, fue menor ($p > 0,05$) en RCJ3 (Fig. 21). El peso seco de los capítulos, que incluye los granos llenos, representó el 41,35 % de la biomasa aérea total en WSRC01 y el 39 % en los genotipos restantes.

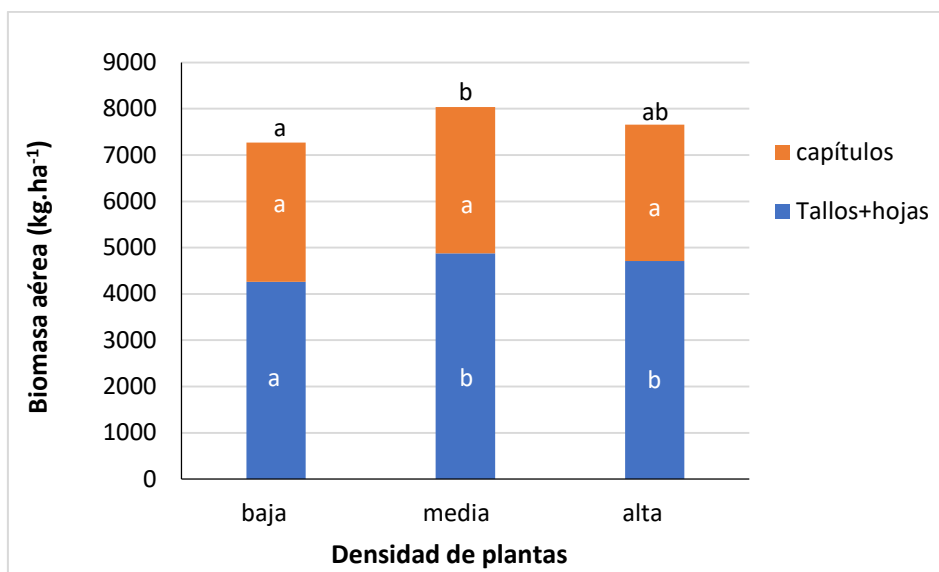


Figura 20. Biomasa (kg.ha⁻¹) de tallos+hojas, de capítulos y biomasa aérea total (tallos+hojas+capítulos) en las tres densidades de siembra, en promedio para las fechas de siembra 1 a 3 y los genotipos estudiados. En cada fracción, tallos+hojas capítulos y biomasa total, las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

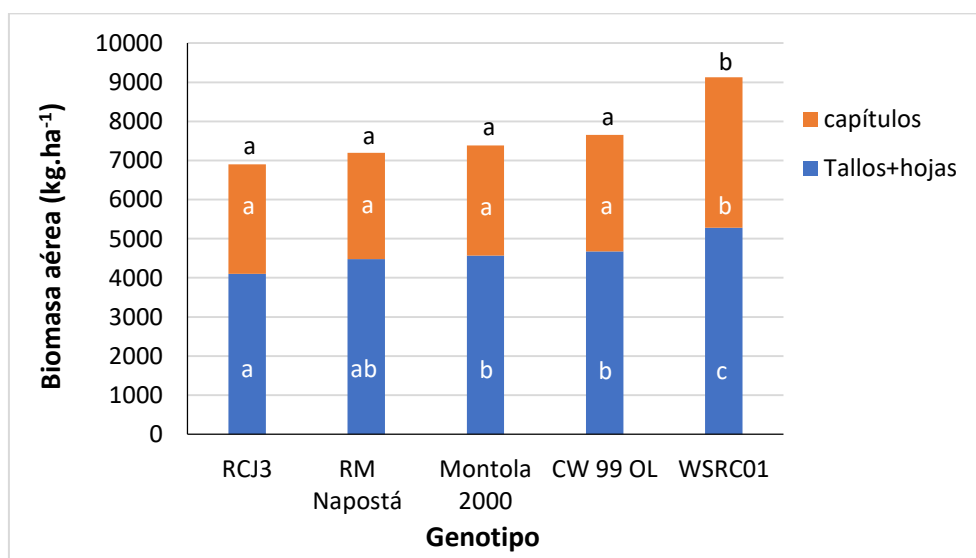


Figura 21. Biomasa (kg.ha⁻¹) de tallos+hojas, de capítulos y biomasa aérea total (tallos+hojas+capítulos) medida en los cinco genotipos, en promedio para las fechas 1 a 3 y las densidades de plantas estudiadas. En cada fracción, tallos+hojas capítulos y biomasa total, las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p>0,05$).

4.2.3. P1000

Si bien hubo interacción entre fecha de siembra y genotipo ($p < 0,05$) (Tabla 6), el P1000 fue diferente entre genotipos ($p < 0,05$) independientemente de la fecha de siembra (Fig. 22). En este sentido, el genotipo WSRC01 fue el que presentó el mayor ($p < 0,05$) peso de granos, seguido por CW 99-OL, quienes alcanzaron importantes diferencias ($p < 0,05$) respecto a los otros genotipos (Fig. 22). El menor P1000 se observó en RCJ3 y Montola 2000, los cuales presentaron un P1000 similar ($p < 0,05$) entre sí en cada fecha de siembra (Fig. 22). Respecto a la fecha de siembra, el P1000 fue mayor en la fecha 1 que en las demás fechas en Montola 2000, RCJ3 y CW 99-OL,

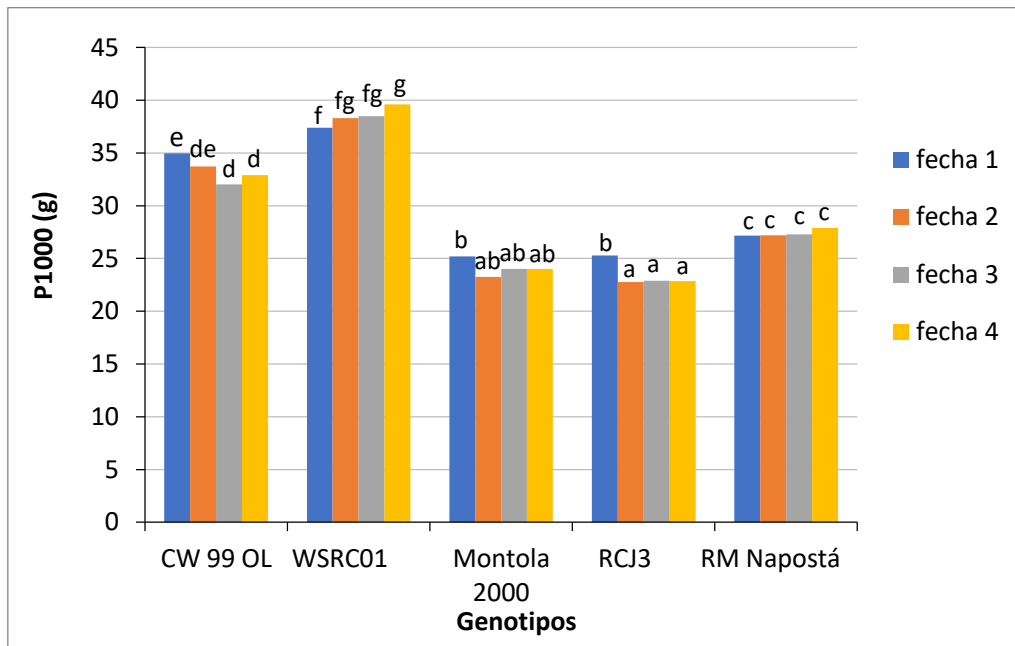


Figura 22. Peso de mil granos (P1000, g) de los cinco genotipos para cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

mientras que no hubo diferencias ($p > 0,05$) entre fechas en RM Napostá (Fig. 22). Por su parte, el P1000 de WSRC01 mostró una tendencia a aumentar a medida que se retrasó la fecha de siembra, aunque las diferencias no fueron siempre significativas (Fig. 22). Cerrota *et al.* (2021) mencionan que el genotipo es la principal fuente de variabilidad en el P1000 y las variaciones en respuesta a la fecha de siembra suelen ser

escasas, al igual que lo observado en este ensayo. Al igual que lo observado por otros autores (Sampaio *et al.*, 2017), no se observaron diferencias significativas ($p > 0,25$) en el P1000 en respuesta a las diferentes densidades de plantas ensayadas (Tabla 6).

4.2.3. Rendimiento en grano

En este trabajo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,25$) en el rendimiento en grano estimado por hectárea en respuesta a distintas fechas de siembra ni a las densidades de plantas ensayadas (Tabla 6).

Los resultados de ensayos realizados en distintos campos del SOB por otros autores, son dispares respecto al rendimiento en grano de cártamo en respuesta a distintas fechas de siembra. Franchini *et al.* (2021), encontraron diferencias de rendimiento en grano duplicando los valores en la siembra otoñal (abril, $1100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) respecto de la invernal (agosto, $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), asociado a un mayor número de granos llenos en la siembra otoñal. Por su parte, comparando distintas fechas de siembra entre mayo y julio, Cerrota (2021) menciona que las fechas de siembras más tempranas son las que suelen presentar mayor rendimiento en grano, y que el rendimiento decae $12,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por cada día de atraso en la fecha de siembra respecto a la primera fecha de siembra evaluada (14 de mayo). En ambos trabajos, se observaron condiciones climáticas favorables para la siembra otoñal, sumado a que el cultivo presenta un mayor periodo de crecimiento vegetativo en términos de días con fechas más tempranas, lo que favorecería un mayor desarrollo del sistema radical, mayor acumulación de reservas en preantesis y, por lo tanto, mayor rendimiento en grano (Franchini *et al.*, 2021; Cerrota, 2021). En cambio, Konradsen (2020), no observó variaciones en el rendimiento en grano de cártamo ni en los componentes de rendimiento entre siembras de julio y agosto, posiblemente debido a las escasas lluvias (6 mm) registradas entre la primera y la segunda fecha de siembra. Franchini *et al.* (2021), mencionan que el rendimiento en grano y el número de capítulos en distintos genotipos de cártamo, se correlacionaron positivamente con las precipitaciones,

especialmente las ocurridas durante el periodo de preantesis. En el presente trabajo, se registraron precipitaciones favorables (Fig. 9) durante los meses de siembra y los meses previos a la antesis, septiembre a noviembre, lo que pudo haber favorecido el desarrollo de estructuras reproductivas y el llenado de los granos y, por lo tanto, haber atenuado las diferencias entre las fechas de siembra y densidades de plantas ensayadas.

Cabe destacar, que la falta de diferencias en el rendimiento en grano en respuesta a las densidades de plantas ensayadas estuvo asociada a una compensación en el número de ramificaciones y capítulos totales por planta, los cuales aumentaron al disminuir la densidad de plantas (Tabla 5).

Sí se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el rendimiento en grano entre los genotipos estudiados (Tabla 6). WSRC01 fue el genotipo que presentó mayor rendimiento en grano ($p < 0,05$) diferenciándose de los demás genotipos en un 25 a 71 % (Fig. 23). Esto estuvo asociado a un mayor número de ramificaciones y capítulos totales por planta (Tabla 5), mayor biomasa de capítulos (Fig. 21) y a un mayor tamaño de los frutos (mayor P1000, Fig. 22) observados en WSRC01 respecto al resto de los genotipos. RM Napostá y Montola 2000 fueron los genotipos de menor ($p < 0,05$) rendimiento en grano (Fig. 23). Cabe destacar que, los rendimientos en grano por

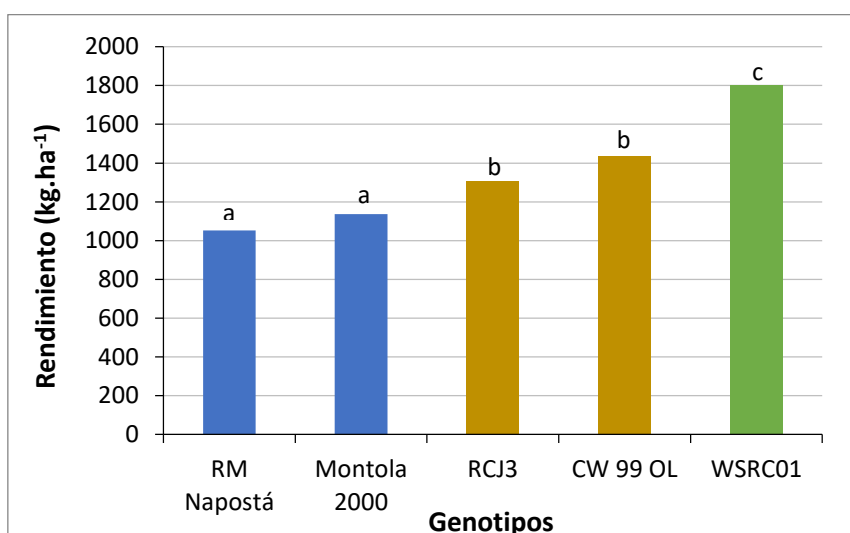


Figura 23. Rendimiento en grano (kg.ha⁻¹) en los cinco genotipos estudiados, en promedio para las fechas y densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

hectárea estimados en este ensayo, aún en el genotipo con menor rendimiento (RM Napostá, 1052 kg.ha⁻¹), superarían el rendimiento en grano promedio de nuestro país (700 kg.ha⁻¹; FAOSTAT, 2023).

En un ensayo realizado en el sur de Brasil, Sampaio *et al.* (2017) observaron variaciones en el rendimiento en grano de cártamo ante distintas densidades de siembra, presentando el rendimiento máximo con 16 plantas.m⁻¹ en otoño y 20 plantas.m⁻¹, en invierno. Las diferencias en el número de plantas en distintas épocas del año tienen que ver con que en otoño el cultivo posee mayor plasticidad, probablemente por un ciclo vegetativo más largo. Por lo tanto, según estos autores, sería recomendable aumentar la densidad de siembra ante atrasos en la fecha de siembra. Sin embargo, al igual que los resultados del presente trabajo, en el sur de Alemania otros autores observaron rendimientos en grano de cártamo similares ante variaciones de la densidad de plantas, lo que se atribuiría a la capacidad de compensación del cultivo (Elfadl *et al.*, 2009).

4.2.4. Índice de cosecha

El índice de cosecha (relación entre peso seco de los frutos llenos y la biomasa aérea total), varió entre 0,12 y 0,24 (Fig. 24). Se observó interacción ($p < 0,05$) entre fecha y genotipo (Tabla 6). En cada fecha, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre genotipos, pero no fueron consistentes entre fechas de siembra (Fig. 24). En general, el menor índice de cosecha se observó en RM Napostá y el mayor, en WSRC01 (Fig. 24). En general, en cada genotipo, excepto en CW 99-OL, el índice de cosecha aumentó ($p < 0,05$) al retrasar la fecha de siembra, aunque las diferencias no fueron siempre significativas (Fig. 24). En promedio, en las dos líneas mejoradas se observó una diferencia de 40 y un 42 % mayor ($p < 0,05$) en la fecha 3 respecto a la fecha 1, mientras que el índice de cosecha de Montola 2000 y WRSC01 fue un 36 % mayor ($p < 0,05$) en la fecha 3 respecto a la fecha 1.

En relación a las líneas mejoradas, RCJ3 presentó mayor ($p < 0,05$) índice de cosecha que RM Napostá (Fig. 24), lo que estuvo asociado a un mayor rendimiento en grano (Fig. 23).

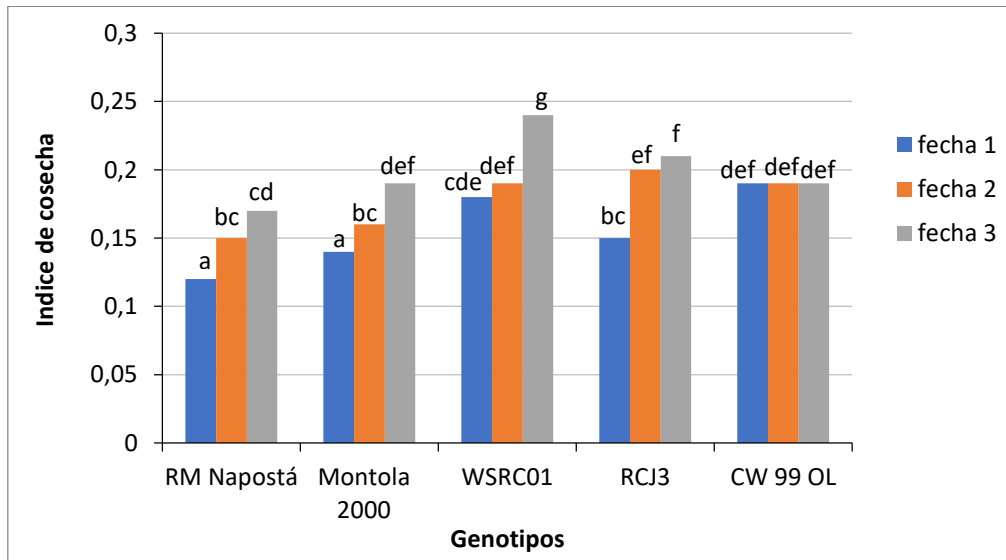


Figura 24. Índice de cosecha (peso seco de frutos llenos/biomasa aérea total) de los cinco genotipos en cada fecha de siembra, en promedio para las densidades de siembra estudiadas. Las barras que comparten la misma letra no poseen diferencias significativas ($p > 0,05$).

5. Conclusión general

Los resultados obtenidos en el presente trabajo mostraron que, bajo las condiciones de este estudio:

- Aún ante variaciones de 15 a 48 días en la fecha de siembra y, consecuentemente, en la duración de los estadios fenológicos, la fecha en la que se alcanza la antesis y la madurez de cosecha fue similar para todos los genotipos, probablemente debido a la influencia del fotoperiodo y la temperatura en el desarrollo reproductivo del cártamo.
- La variabilidad en el rendimiento en grano quedó determinada principalmente por los genotipos, ya que no se observó efecto de fechas de siembra o densidad de plantas ensayadas, con lo cual no se aceptaría la hipótesis propuesta.
- La falta de diferencias en el rendimiento en grano se puede deber a la capacidad de compensación del cártamo (principalmente, por la variación en el número de ramificaciones y de capítulos) en respuesta a los tratamientos estudiados y a las precipitaciones favorables a lo largo del ciclo del cultivo, principalmente, en los meses previos a la siembra y durante el periodo reproductivo.
- Los rendimientos en grano de los genotipos estudiados, estimados por unidad de área en este ensayo, superarían los rendimientos promedio (2010-2020) del país.
- Sería importante repetir el ensayo durante dos o más ciclos de crecimiento para poder estudiar con mayor precisión el efecto de las prácticas de manejo evaluadas sobre las variables medidas en los distintos genotipos de cártamo.

6. Bibliografía

- Aliaga, V.S., Ferrelli, F., Alberdi-Algañaraz, E.D., Bohn, V.Y. y Piccolo, M.C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42: 261-280.
- Bohn, V.Y., Sánchez, R.M., Carrascal, C.N. y Romagnoli, F.B. (2014). Estudio preliminar de variables climatológicas y productividad de los suelos (RESAP, Argentina). XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Borel, M. y Buss, A. (2022). Caracterización de dos suelos Molisoles en el campo Napostá, DA-UNS. Trabajo final Tecnicatura Superior Agraria en Suelos y Aguas. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Cerrotta, A. (2021). Obtención de variedades invernales de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) y desarrollo de herramientas moleculares para asistir la selección. Tesis doctoral. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Cerrotta, A., Lindström, L.I., Franchini, M.C., Flemmer A.C. y Echenique, V. (2021). Evaluation of sowing dates of safflower in the southwest of Buenos Aires. *AgriScientia*, vol. 38 (2): 103-115.
- Chamorro, A.M. y Rodolfo Bezus, R. (2023) a. Morfología y ecofisiología del cultivo de cártamo. En: G.E. Sánchez Vallduví y A.M. Chamorro (coord.), Lino, colza y cártamo. Oleaginosas que aportan a la diversificación productiva. (pp. 127-139). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Chamorro, A.M. y Rodolfo Bezus, R. (2023) b. Manejo tecnológico del cultivo de cártamo. En G.E. Sánchez Vallduví y A.M. Chamorro (coord.), Lino, colza y cártamo. Oleaginosas que aportan a la diversificación productiva. (pp. 140-155). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Corró Molas, A. y Ghironi E. (2013). Uso consuntivo y producción de materia seca del cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la región semiárida pampeana. II Workshop Internacional: Eco Fisiología de cultivos aplicada al mejoramiento vegetal. Red Raíces de Ecofisiología SECyT, Mar del Plata, Argentina. Sesión 3.

- David, M.A. (2017). Factores determinantes del peso potencial y final del fruto de cultivares de Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) Tesis de magister. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo. (2020). Software InfoStat versión 2020. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Elfadl, E., C. 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 Crop Research*, 114: 2-13.
- Flemmer, A.C., Franchini, M.C. y Lindström, L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166: 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., Lindström, L.I., Flemmer, A.C., Fernández, P.A. y David, M.A. (2013). Rendimiento de variedades invernales y primaverales de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en dos fechas de siembra en el sudoeste bonaerense. II Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos aplicada al mejoramiento vegetal, 26-27 de agosto, Mar del Plata, Argentina.
- 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. *ΦΥTON, Revista Internacional de Botánica Experimental*, 83: 379-388.
- Franchini, M.C., Flemmer, A.C., Lindström, L.I., Carrin, M.E., Constenla, D. y Johnson, R.C. (2021). How sowing date affects development and performance of safflower through climate variables. *Crop Science*, 61: 2775-2786.
- Gaggioli, C., Quiroga y A., 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*, Vol 23 (2).

- GRDC. (2010). Grain research and development corporation. Raising the bar with better safflower agronomy. Agronomic information and safflower case studies. Recuperado de: https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0016/210634/grdc-raising-the-bar-with-better-safflower-agronomy.pdf.pdf
- GRDC. (2017). Grain research and development corporation. Grownotes Safflowers Northern. Recuperado de: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grownotes/crop-agronomy/safflowergrownotesnorth>
- Hack H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-Fricke, U., Weber, E. y Witzemberger, A. (1992). The Extended BBCH-Scale. En: Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH Monograph (2001), Ed. U. Meier. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Wissenschafts-Verlag, Berlin, Germany.
- INASE. (2024). Catálogo Nacional de Cultivares. Instituto Nacional de Semillas, Argentina. Recuperado de: <https://gestion.inase.gob.ar/consultaGestion/gestiones>
- 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>
- Lambrecht, Y.B., Ramos, M.B. y Picone, N. (2023). Heladas agrometeorológicas en el suroeste bonaerense, Argentina (2013-2017). Revista de Geografía, (33): 1-12.
- Li, D. y Mündel, H.H. (1996). Safflower *Carthamus tinctorius* L. En J. Heller, J. Engels y K. Hammer (Eds.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. (Vol 7). Gatersleben, Alemania (IPK)/ Roma, Italia (IPGRI): International Plant Genetic Resources Institute.
- Lindström, L.I., Franchini, M.C., Flemmer, A.C., Fernandez, P.A. y David, M.A. (2015). Efecto de la fecha de siembra sobre los parámetros determinantes del rendimiento del cultivo y de la calidad de los frutos de variedades invernales y primaverales de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). Informe del 5° año (período 2012-2014) presentado a la empresa Oleaginosa Moreno Hermanos Sociedad Anónima.

- Montoya Coronado, L. (2010). El cultivo del Cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F. Libro técnico Núm. 5, 96págs.
- OECD, (2020). Consensus document on the biology of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). Organisation for Economic Co-Operation and Development. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology 68, 61 p. Recuperado de: <https://www.oecd.org/env/ehs/biotrack/>
- 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*, 29 (1), 63-69.
- Rivas, J. y Matarazzo, R. (2009). Producción de cártamo. Consideraciones generales. Boletín de divulgación N° 20. INTA, Argentina.
- Sampaio, M.C., Ferrerira Santos, R., Bassegio, D., Soares de Vasconcelos, E., da Silveira, L., Lenz, N.B.G., Lewandoski, C.F. y Tokuro, L.K. (2017). Effect of plant density on oil yield of safflower. *African Journal of Agricultural Research*, vol.12 (25): 2147-2152.
- Smith, J.R. (1996). Safflower. The American Oil Chemistry Society Press, Champaign, Illinois, 606 págs.
- Torabi, B., Adibnya, M., Rahimi, A. y Azari, A. (2020). Modeling flowering response to temperature and photoperiod in safflower. *Industrial Crops and Products*, Volume 151: 112-474.