



**DETERMINANTES DE LA CALIDAD INDUSTRIAL DE FRUTOS
DE DISTINTAS VARIEDADES DE CÁRTAMO (*CARTHAMUS
TINCTORIUS* L.)**

Por

PAOLA ALEJANDRA FERNANDEZ

Ing. Agrónoma

Tesis presentada como requisito para optar al grado de
MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

Directora de tesis: Dra. Lilia Ivone Lindström
Co-Director: Dr. Luis Francisco Hernández

Departamento de Agronomía
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Bahía Blanca, 2016

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la Cátedra de Morfología Vegetal, del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur durante el período comprendido entre los años 2009 y 2012, bajo la dirección de la Dra. Lilia Ivone Lindström, Profesora Asociada de Morfología Vegetal (DA-UNS) y la codirección del Dr. Luis F. Hernández, Profesor Titular de Morfología Vegetal (DA-UNS) e Investigador Independiente de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC-PBA).



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría de posgrado y educación continua

La presente tesis ha sido aprobada el / / , mereciendo la calificación(.....).

AGRADECIMIENTOS

- A la Dra. Ivone Lindström por confiar en mí, brindarme su amistad, enseñanza y permanente dedicación.
- Al Dr. Luis Hernández por su asistencia y asesoramiento durante este periodo de aprendizaje.
- A la Dra. Marcela Martínez por su apoyo y colaboración para la ejecución de tareas de laboratorio.
- A mi familia por ser mi sostén en la vida, principalmente a mi marido e hijo por su compañía incondicional.
- A todas mis compañeras y amigas del grupo de Morfología Vegetal por estar siempre presentes y dispuestas a colaborar.
- A todos mis compañeros y amigos de cursada, especialmente a Adelina, Julieta y Claudio, por su paciencia, ayuda, por tan gratos recuerdos y por que aún hoy la vida nos sigue encontrando.
- A todo el grupo de producción animal (Hugo, Marcela, Rodrigo, Mariano y Florencia) por su amistad a lo largo de esta experiencia.
- Al personal de la secretaría administrativa del Departamento de Agronomía, especialmente a Mercedes Miller, por su constante y buena predisposición para resolver cualquier dificultad.
- Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por otorgarme el espacio físico y académico para la realización de esta tesis.
- Al Ing. Julio Rivas y al personal a cargo de la ejecución de las tareas de campo de la EEA del INTA Hilario Ascasubi por su colaboración en la obtención de datos y muestras necesarias para la realización de esta tesis.

- A la Dra. Susana Nolasco y a la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires por facilitarme el equipamiento para realizar las pruebas de descascarado.
- A la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) por otorgarme las becas que me permitieron desarrollar el presente trabajo.
- A la Oleaginosa Moreno Hermanos Sociedad Anónima y a la Secretaria de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur por proporcionar los fondos que posibilitaron la realización de este proyecto.

ABREVIATURAS

AD: aptitud al descascarado.
Br: brácteas involucrales.
C: celulosa.
CC: ciclo de crecimiento
CEM: porcentaje de cáscara extraída mecánicamente.
Co: corola.
C/P: peso de la cáscara/peso de la pepa.
CR: cáscara residual.
D: descascarado.
DF: densidad del fruto.
E: entero.
ES: porcentaje de esclerificación total.
EE: estratos esclerificados.
Ep: epidermis.
ET: espesor total.
F: Producción de finos.
FDA: fibra en detergente ácida.
FDN: fibra en detergente neutro.
fi: capa de fitomelanina.
Fl: flores.
H: humedad por ciento en base seca.
Hm: hemicelulosa.
Hv: haz vascular
IPB: incremento de la proteína bruta.
LDA: lignina en detergente ácido.
MG: materia grasa
NTE: número total de estratos celulares.
NTEE: número de estratos esclerificados.
NEPE: número de estratos del parénquima externo.
NEPI: número de estratos del parénquima interno.
NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo.
NEEPI: número de estratos esclerificados del parénquima interno.
Ov: Ovario.

PB: proteína bruta.
PC: peso de la cáscara.
PE: parénquima externo.
Pe: pedúnculo.
PI: parénquima interno.
PP: peso de la pepa.
PF: peso del fruto.
R: resto.
TC: porcentaje total de cáscara.
Tr: tricomas.
UE: unidad experimental.
VF: volumen del fruto.

ÍNDICE

PREFACIO.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ABREVIATURAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del cultivo de cártamo	1
1.2 Utilización del cártamo.....	2
1.3 Producción de cártamo en Argentina.....	4
1.4 Características de la planta	5
1.5 Características del fruto de cártamo	6
1.6 Procesamiento de los frutos de cártamo	9
1.6.1 Extracción del aceite	9
1.6.2 Descascarado de los frutos de cártamo	10
1.6.3 Aptitud al descascarado (AD).....	11
1.6.3.1 Factores que influyen en la AD de los frutos	12
1.7 Fundamentos de esta investigación	16
1.8 Presentación de objetivos e hipótesis	17
1.8.1 Objetivo general.....	17
1.8.2 Hipótesis de trabajo	17
1.8.3 Objetivos específicos	18
CAPITULO II	
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
2.1. Características del sitio experimental	19
2.2. Ensayo de variedades.....	19
2.3. Ensayo de distancia entre surcos y densidad de siembra	20
2.4 Determinaciones	21
2.4.1 Parámetros del proceso de descascarado.....	21
2.4.2 Calidad de la harina de frutos parcialmente descascarados y enteros	23
2.4.2.1 Fibra en detergente neutro (FDN)	24
2.4.2.2 Fibra en detergente ácido (FDA).....	24
2.4.2.3 Lignina en detergente ácido (LDA).....	25

2.4.2.4	Cenizas	25
2.4.2.5	Proteína bruta (PB).....	25
2.4.3	Parámetros físicos	26
2.4.3.1	Humedad	26
2.4.3.2	Volumen.....	26
2.4.3.3	Peso del fruto.....	27
2.4.4	Contenido de materia grasa del fruto	27
2.4.5	Anatomía y composición química del pericarpio (cáscara)	27
2.5	Análisis estadístico	28
CAPÍTULO III		
	RESULTADOS	29
3.1	Ensayo de variedades.....	30
3.1.1	Parámetros del proceso de descascarado.....	30
3.1.2	Calidad de la harina de frutos descascarados y enteros	34
3.1.3	Parámetros físicos de los frutos	40
3.1.4	Contenido de materia grasa (MG) de las variedades.....	43
3.1.5	Anatomía del pericarpio (cáscara)	44
3.1.6	Composición química de las paredes celulares del pericarpio (cáscara).....	47
3.1.7	Relación de los parámetros del proceso de descascarado con los parámetros físicos del fruto, de calidad de la harina y anatómicos del pericarpio	49
3.2	Distancia entre surcos y densidad de siembra.....	53
3.2.1	Datos de rendimiento	53
3.2.2	Parámetros del proceso de descascarado.....	54
CAPITULO IV		
	DISCUSIÓN	58
4.1	Ensayo de variedades.....	58
4.2	Ensayo de distancia entre surcos y densidad de siembra	68
	CONCLUSIONES DE LA TESIS	70
	ASPECTOS NO RESUELTOS Y PERSPECTIVAS	73
	BIBLIOGRAFIA	75

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** A-C Capítulo y flores de CW 99 OL en antesis completa. A. Vista externa y B. sección longitudinal del capítulo. C. Flores extraídas de la periferia, parte media y del centro del capítulo. D. fruto maduro. Br: brácteas involucrales; Co: corola; Fl: flores; Pe: pedúnculo; Ov: Ovario; Tr: tricomas.7
- Figura 2.** Sección transversal del pericarpio de la variedad de cártamo AG Phoenix. Ep: epidermis externa; EE: estratos esclerificados; fi: capa de fitomelanina; PE: parénquima externo; PI: parénquima interno; Hv: haz vascular.8
- Figura 3.** Vista general del equipo piloto utilizado para el descascarado mecánico (de Figueiredo *et al.*, 2014).22
- Figura 4.** Fracciones obtenidas luego del descascarado mecánico de los frutos de cártamo: cáscaras (A), pepas (B), resto (C) y material fino (D).22
- Figura 5.** Temperaturas, humedad media mensual y precipitaciones mensuales registradas en la EEA del INTA H. Ascasubi durante los ciclos de cultivo 2008 (A) y 2009 (B).29
- Figura 6.** A. Aptitud al descascarado (AD, %) y B. cáscara extraída mecánicamente (CEM, %) de los frutos de 7 variedades de cártamo sembradas durante 2008/2009 (■) y 2009/2010 (☒). EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). DMS: 6 (AD, %), 1,88 (CEM, %).31
- Figura 7.** Producción de A. material fino (F, %) y B. resto (R, %) de 7 variedades de cártamo sembradas durante 2008/2009 (■) y 2009/2010 (☒). EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). DMS: 1,65 (F); 2,07 (R).33
- Figura 8.** Contenido de A. fibra en detergente neutro (FDN, %) y B. fibra en detergente ácido (FDA, %), de la harina de cártamo de frutos parcialmente descascarados (D) y enteros (E) (☒); y de 7 variedades de cártamo (■). EEA. INTA H. Ascasubi. Dentro de cada tratamiento (Descascarado y Entero o variedad), las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). DMS: 4,99 (FDN); 4,33 (FDA).35
- Figura 9.** Contenido de proteína bruta (PB, %) de la harina de frutos enteros (☒) y parcialmente descascarados (■) de 7 variedades de cártamo durante el primer (A) y el segundo (B) ciclo de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada tratamiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). DMS: 5,78 (A); 3,98 (B).39
- Figura 10.** Parámetros físicos de los frutos de 7 variedades de cártamo crecidos durante 2008/2009 (◆) y 2009/2010 (■). EEA - INTA H. Ascasubi. En cada ciclo de crecimiento, letras distintas indican diferencias significativas entre variedades ($p<0,05$). Para cada variedad, los asteriscos indican diferencias significativas entre ciclos de crecimiento ($p<0,05$).42
- Figura 11.** Contenido de materia grasa (MG, %) de frutos enteros de 7 variedades de cártamo durante el primer (☒) y el segundo (■) ciclo de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). Para cada variedad los asteriscos indican diferencias significativas entre ciclos de crecimiento ($p<0,05$). DMS: 5,53.43
- Figura 12.** Sección transversal del pericarpio de 7 variedades de cártamo. A-G. Cortes contrastados mediante la coloración diferencial y sucesiva combinada de safranina-fast green. H. corte teñido con fluoroglucinol en medio ácido. A. Arizona L7-5. B. L-8. C. Knowles 93079. D. AG Phoenix E. Agresearch L7-3. F. Seedtech S-345. G y H. CW 99 OL. Ep: epidermis; fi: capa de fitomelanina; PE: parénquima externo; PI: parénquima interno y TS: tegumento de la semilla.45
- Figura 13.** Contenido de A. fibra en detergente neutro (FDN%) y B. fibra en detergente ácido (FDA%) del pericarpio de 7 variedades de cártamo. EEA - INTA H. ascasubi. Barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p>0,05$). DMS: 1,54 (FDN); 1,06 (FDA).48

Figura 14. Relación entre la aptitud al descascarado (AD%) y A. el contenido de lignina en detergente ácido (LDA%) del pericarpio y B. incremento de la proteína bruta de la harina (IPB%) de frutos parcialmente descascarados de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento (■ 2008/2009 y ◆2009/2010). EEA – INTA H. Ascasubi.....	52
Figura 15. Relación entre la aptitud al descascarado (AD, %) y la producción de material fino (F, %) con la humedad en base seca (%bs) de frutos de cártamo (Adaptado de Baumler, 2002).	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de ácidos grasos y origen de las 7 variedades de cártamo utilizadas en esta tesis.	20
Tabla 2. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros del proceso de descascarado. EEA - INTA H. Ascasubi. AD: Aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; R: resto; F: material fino y CR: cáscara residual.	30
Tabla 3. Valores de F del ANDEVA para los efectos tratamiento (descascarado y entero), ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros de calidad de la harina. EEA - INTA H. Ascasubi. FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Hm: hemicelulosa; C: celulosa; LDA: lignina en detergente ácido y PB: proteína bruta.....	34
Tabla 4. Contenidos de celulosa (C, %) de la harina de frutos descascarados (D) y enteros (E) de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.	36
Tabla 5. Contenidos de hemicelulosa (Hm, %) y lignina en detergente ácido (LDA, %) de la harina de frutos parcialmente descascarados (D) y enteros (E) de 7 variedades de cártamo en promedio para dos ciclos de crecimiento. ECR del INTA H. Ascasubi.	37
Tabla 6. Valores de F del ANDEVA para los efectos tratamiento (descascarado y entero) y variedad sobre la proteína bruta (PB) de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.	38
Tabla 7. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros físicos de los frutos. EEA - INTA H. Ascasubi. H: contenido de humedad; VF: volumen del fruto; PF: peso del fruto; PC: peso de la cáscara; PP: peso de la pepa; C/P: relación peso de la cáscara/ peso de la pepa y TC: contenido total de cáscara.....	40
Tabla 8. Contenido de humedad de los frutos de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.	41
Tabla 9. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre el contenido de materia grasa (MG) del fruto de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento (CC). EEA - INTA H. Ascasubi.	43
Tabla 10. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC), variedad y la interacción CC x variedad sobre las variables anatómicas del pericarpio. EEA - INTA H. Ascasubi. ET: espesor total; NEPE y NEPI: número de estratos del parénquima externo e interno, respectivamente; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo; NTE: número total de estratos, NTEE: número total de estratos esclerificados y ES: porcentaje de esclerificación total.	46
Tabla 11. Variables anatómicas del pericarpio de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. NEPE: número de estratos del parénquima externo; NTE: número total de estratos y NTEE: número total de estratos esclerificados.	46
Tabla 12. Variables anatómicas del pericarpio en promedio para dos ciclos de crecimiento en 7 variedades de cártamo de la EEA - INTA H. Ascasubi. NEPI: número de estratos del parénquima interno; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo y ES: porcentaje de esclerificación total.	47
Tabla 13. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre las variables de composición química del pericarpio. EEA - INTA H. Ascasubi. FDN: fibra en detergente neutro, Hm: hemicelulosa; C: celulosa y LDA: lignina en detergente ácido.	47
Tabla 14. Composición química del pericarpio de 7 variedades de cártamo promediadas sobre dos ciclos de crecimiento (2008/2009 y 2009/2010). EEA – INTA H. ascasubi. Hm: hemicelulosa; C: celulosa y LDA: lignina en detergente ácido.....	49
Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson de las variables del proceso de descascarado con los parámetros físicos del fruto y su contenido de materia grasa, la calidad de la harina de frutos descascarados y la composición química y estructura anatómica del pericarpio de 7	

	variedades de cártamo correspondientes a dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; R: resto; F: producción de material fino; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; LDA: lignina en detergente ácido; ET: espesor total; NEPE y NEPI: número de estratos del parénquima externo e interno, respectivamente.; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo; NTE: número total de estratos y NTEE: número total de estratos esclerificados. ES: porcentaje de esclerificación total.....	50
Tabla 16.	Modelos predictivos de la aptitud al descascarado (AD %). LDA: lignina en detergente ácido del pericarpio e IPB: incremento de la proteína bruta de la harina.	51
Tabla 17.	Plantas por m ² de la variedad CW 99 OL establecidas bajo dos densidades de siembra y tres distancias entre surcos de plantas. EEA - INTA H Ascasubi.	53
Tabla 18.	Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC), distancia entre surcos (Dist) y densidad de siembra (D) sobre las variables de rendimiento de la variedad CW 99 OL durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H Ascasubi.; C/m ² y F/m ² : número de capítulos y frutos por metro cuadrado; P1000: peso de mil frutos y MG: materia grasa.	54
Tabla 19.	Componentes del rendimiento de la variedad CW 99 OL para dos densidades de siembra: alta (A) y baja (B) promediados sobre tres distancias de siembra entre surcos (35 cm; 52 cm y 70 cm) y dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. C/m ² y F/m ² : número de capítulos y frutos por metro cuadrado; P1000: peso del mil frutos y MG: materia grasa	54
Tabla 20.	Valores de F del ANDEVA para los efectos del ciclo de crecimiento (CC), la distancia entre surcos (Dist) y la densidad de siembra (D) sobre los parámetros del fruto y del proceso de descascarado de la variedad CW 99 OL correspondientes a dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. PC: peso seco cáscara; PP: peso seco de la pepa; PF: peso seco del fruto; TC: contenido total de cáscara; C/P: relación peso seco de la cáscara/peso seco de la pepa; AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; F: producción de finos y R: resto.....	55
Tabla 21.	Parámetros físicos de los frutos y del proceso de descascarado evaluados durante dos ciclos de crecimiento en frutos de la variedad CW 99 OL. EEA - INTA H. Ascasubi. PC: peso de la cáscara (PC) y de la pepa (PP); Densidad de siembra alta (DA) y baja (DB); C/P: relación peso de la cáscara/peso de la pepa; TC: contenido total de cáscara; AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; F: producción de material fino y R: resto.....	56
Tabla 22.	Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra sobre la relación peso de cáscara/peso de pepa (C/P) y el contenido total de cáscara (TC, %) de los frutos de la variedad CW 99 OL promediados sobre dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.	57

RESUMEN

La industria Argentina ha mostrado un creciente interés en descascarar los frutos de cártamo previo al proceso de extracción de aceite. El descascarado de los frutos permite reducir el volumen de material que circula por el sistema de extracción, el contenido de ceras y pigmentos en el aceite y el de fibra de la harina. La facilidad con que la cáscara se separa de la pepa es un parámetro que puede evaluarse determinando la aptitud al descascarado (AD) de los frutos durante su industrialización. Hasta el momento no se ha evaluado si existe variabilidad genética en este parámetro, ni tampoco cómo podrían afectarlo las modificaciones en el manejo del cultivo. Los objetivos de esta tesis fueron evaluar durante dos años consecutivos: 1) la AD de diferentes variedades de cártamo cultivadas en Argentina, 2) la calidad de la harina de cártamo obtenida de frutos descascarados y sin descascarar, 3) las características morfológicas de los frutos y anatómicas del pericarpio de estas variedades y 4) el efecto de distintas densidades de siembra y distancias entre surcos en el cultivo sobre la AD de los frutos.

El ensayo de variedades se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Hilario Ascasubi (Lat. 39° 23'S; 62° 37' O) e incluyó siete genotipos de cártamo: Agrosearch L7-3, AG Phoenix, CW 99 OL, Arizona L7-5, Knowles 93079, L-8, Seedtech S- 345. En el mismo sitio experimental, se evaluó el efecto de la densidad de siembra (baja B: 7,5 kg.ha⁻¹ y alta A: 22,5 kg.ha⁻¹) y la distancia entre surcos (35 cm; 52 cm y 70 cm) sobre la AD de los frutos de CW 99 OL.

La AD de todas las variedades fue entre un 15 a 46% superior en el primer ciclo de crecimiento (CC) respecto al segundo ($p < 0,01$). Dicho parámetro fue

similar entre variedades (68 a 76% en el primer CC y entre 58 a 60% en el segundo), excepto en L-8 en el primer CC y L-8 y Agresearch L7-3 en el segundo CC ($p<0,01$). En todas las variedades, el porcentaje de CEM fue de un 20 a 25% en el primer CC y de un 16 a 21% en el segundo CC.

La humedad de los frutos al momento de realizarse el descascarado (5%) fue similar entre CC ($p>0,05$), pero la producción de material fino se redujo a la mitad en el segundo CC (7% y 10,6%) con respecto al primer CC (17% a 23%) en todas las variedades ($p<0,01$).

El descascarado incrementó el contenido de proteína (PB) en la harina de todas las variedades, de 26% a 50% el primer CC y de un 28% a 40% en el segundo ($p<0,01$). A su vez, disminuyó el contenido de fibra (FDN) de 40,9% a 31,3% ($p<0,01$) y de dos de sus componentes (celulosa y hemicelulosa; $p<0,05$), permaneciendo invariable el contenido de lignina (LDA; $p>0,05$). Estos resultados indican que durante el descascarado de los frutos solo se separarían los estratos no esclerificados ubicados por debajo de la epidermis externa del pericarpio.

Si bien se observaron algunas diferencias entre variedades o CC en los parámetros físicos del fruto ($p<0,05$), los mismos no se correlacionaron con la variabilidad observada en su AD. En todas las variedades, el contenido de materia grasa (MG) fue superior al 32% ($p<0,01$), excepto en L-8 (24,4%) y CW 99 OL (26,7%) en el primer CC, y al 41% en el segundo CC, excepto en L-8 (19,7%).

La esclerificación total (ES) abarcó entre el 47 y 50% de los estratos del pericarpio en todas las variedades, excepto en Knowles 93079 (68,6%). El contenido FDN (85,7% vs 82,3%), de celulosa (C; 39,3% vs 37,3%) y LDA (22,5% vs 20,5%) del pericarpio fueron superiores en el segundo CC ($p<0,01$).

La AD se correlacionó positivamente con el incremento en el contenido de PB ($r = 0,75^{**}$) en la harina de frutos parcialmente descascarados con respecto a la harina de frutos enteros y negativamente con los porcentajes de ES ($r = -0,48^{**}$), de FDN ($r = -0,73^{**}$), C ($r = -0,58^{**}$) y LDA ($r = -0,82^{**}$) del pericarpio.

La densidad de siembra fue la principal fuente de variación del rendimiento (A: 3841,1 kg ha⁻¹; B: 3190,8 kg ha⁻¹), del número de capítulos (A: 582,2; B: 386,9) y de frutos por unidad de superficie (A: 14832; B: 9777) en la variedad CW 99 OL ($p < 0,01$). A su vez, el rendimiento fue menor ($p < 0,05$) en el distanciamiento de 52 cm (3285,5 kg ha⁻¹) que en el de 70 cm (3591,3 kg ha⁻¹) y 35 cm (3671 kg ha⁻¹). El peso de mil frutos (40,6 g en el primer CC y 41,7 g en el segundo CC) y su AD (70% en el primer CC y 60,3% en el segundo CC) no difirieron ($p > 0,05$) entre ninguna de las distancias o densidades de siembra evaluadas.

En esta tesis se analiza por primera vez la relación de la AD con parámetros estructurales del fruto y la calidad de la harina de frutos enteros y descascarados de distintas variedades de cártamo. Los resultados obtenidos indican que el descascarado mejoraría la calidad de la harina y que la reducción en el grosor y esclerificación del pericarpio observada en las variedades de cártamo de alto rendimiento de aceite incidiría positivamente en su AD, por lo que la selección a favor de ambos parámetros sería posible.

ABSTRACT

The Argentine oil seed industry has shown an increasing interest in hulling safflower fruit before the oil extraction process. Fruit dehulling would make it possible to decrease the volume of material circulating in the extraction system, the amount of waxes and pigments in the oil, and fiber content in the meal. The extent that hullability (H), the ease with which the pericarp separates from the seed relates to genetic variability and crop management has not been assessed. The objectives of this thesis were to assess during two consecutive growth cycles (GC): 1) the H of different safflower varieties grown in Argentina, 2) the quality of safflower meal obtained from dehulled and un-dehulled fruits, 3) the morphological characteristics of the fruits and the anatomic characteristics of the pericarp of different varieties and 4) how H is affected by different sowing rates and row spacing.

The varietal trial was conducted at the Agricultural Experimental Station of INTA Hilario Ascasubi (Lat 39 ° 23'S, 62 ° 37 'W) and included seven safflower genotypes: Agrosearch L7-3, AG Phoenix, CW 99 OL, Arizona L7-5, 93079 Knowles, L-8, Seedtech S-345. The effect of two sowing rates (low (L): 7,5 kg ha⁻¹ and high (H): 22,5 kg ha⁻¹) and three row spacing (35 cm, 52 cm and 70 cm) on CW 99 OL fruit H was evaluated at the same experimental site.

H of all varieties was between 15 and 46% higher in the first GC with respect to the second (p<0,01). H was similar among varieties (68 to 76% in the first GC and from 58 to 60% in the second one), except L-8 in the first GC and L-8 and Agrosearch L7-3 in the second GC (p<0,01). In all varieties, the percentage

of mechanically extracted hull was 20-25% in the first GC and 16-21% in the second GC.

Although fruit moisture at dehulling (5%) was similar between GC ($p>0,05$), fine production was reduced by half in the second GC (7% to 10,6%) with respect to the first GC (17% to 23%) in all varieties ($p<0,01$).

Dehulling increased the content of proteins in the residual meal of all varieties, from 26% to 50% in the first GC and from 28% to 40% in the second ($p<0,01$). It also reduced the content of neutral detergent fiber (NDF) from 40,9% to 31,3% ($p<0,01$) and of two of its components (cellulose and hemicelluloses; $p<0,05$), as acid detergent lignin content (ADL) remained invariable ($p>0,05$). These results show that during fruit dehulling only the non-sclerified strata located below the pericarp outer epidermis would be separated.

Although some differences were observed among varieties or GC in fruit physical parameters ($p<0,05$), they were not correlated with the variability observed in fruit H. Fruit fat content (FC) was higher than 32% ($p<0,01$), except in L-8 (24,4%) and CW 99 OL (26,7%) in the first GC, and 41% in the second GC, except in L-8 (19,7%).

Total sclerification (S) comprised between 47 and 50% of the pericarp strata in all varieties, except in Knowles 93079 (68,6%). The content of NDF (85,7% vs 82,3%), cellulose (C; 39,3% vs 37,3%) and ADL (22,5% vs 20,5%) of the pericarp were higher in the second GC ($p<0,01$).

H was correlated with the increase in protein content ($r = 0,75 **$) in the flour of partially dehulled fruit regarding whole fruit flour; and negatively with the percentage of S ($r = -0,49 **$), NDF ($r = -0,73 **$), C ($r = -0,53 **$) and ADL

($r = -0,73^{**}$) of the pericarp.

Sowing rates was the main source of variation in crop yield (H: 3841,1 kg ha⁻¹; L: 3190,8 kg ha⁻¹) and capitulum (H: 582,2; L: 386,9) and fruit number per unit area (H: 14832; L: 9777; $p < 0,01$). In turn, the yield was lower ($p < 0,05$) in the 52 cm row spacing (3285,5 kg ha⁻¹) than for the 70 cm (3591,3 kg ha⁻¹) and 35 cm (3671 kg ha⁻¹) row spacing. Thousand fruit weight (40,6 g in the first GC; 41,7 g in the second GC) and H (70% in the first GC; 60,3% in the second) did not differ ($p > 0,05$) between any of the distances between rows or sowing rates assessed.

This is the first analysis of the relationship of H with fruit structural parameters and meal quality of whole and dehulled fruits of different safflower varieties. The results obtained indicated that dehulling would improve residual meal quality and that pericarp thickness and sclerification reduction of the oil high yield safflower varieties would positively affect their H, so that selection in favor of both parameters would be beneficial.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Firma del Director

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del cultivo de cártamo

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), especie originaria del Medio Oriente, es una oleaginosa anual perteneciente a la familia de las Asteráceas que se ha cultivado durante siglos desde China a la región del Mediterráneo y a lo largo del valle del Nilo hasta Etiopía (Singh y Nimbkar, 2005). En la actualidad, los mayores productores de cártamo a nivel mundial son Kazajistán, México, India, Estados Unidos y Argentina (FAO, 2016).

El cártamo es más resistente a la sequía que el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), maíz (*Zea mays* L.), algodón (*Gossypium* spp. L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), básicamente, porque la planta tiene un sistema radical muy extenso y profundo (2 a 4 metros), que le permite aprovechar mejor la humedad del suelo e incluso, en algunas áreas, llegar al manto freático (Mundel *et al.*, 2004; Lyon *et al.*, 2007).

La introducción de este cultivo en los sistemas de producción del sudoeste bonaerense permitiría diversificar técnica y económicamente la agricultura en esta región, ya que constituiría una alternativa al trigo como monocultivo de cosecha (Mirassón *et al.*, 2001). Además, la inclusión de un cultivo de hoja ancha reduciría el uso de agroquímicos al cortar el ciclo de vida de insectos, enfermedades y malezas (Rivas y Matarazzo, 2009). También se diversificaría el riesgo productivo, ya que el periodo crítico de generación del rendimiento de cártamo difiere del de los cereales de invierno. Es un cultivo de fácil implementación, ya que se pueden utilizar las mismas maquinarias que para trigo. Además constituye una opción en las zonas girasoleras en donde el daño producido por la paloma pone en riesgo la continuidad de dicho cultivo.

La paloma no puede extraer los granos de la planta de cártamo porque los mismos están cubiertos por brácteas espinosas que le impiden posarse sobre los capítulos.

La Argentina es un importante productor de oleaginosas a nivel mundial, siendo dicho sector productivo uno de los más dinámicos de la economía nacional. El cártamo, surge como una alternativa otoño-invernal de producción de aceites de alta calidad (alto oleico y/o linoleico), siendo su valor de mercado idéntico al del girasol (*Helianthus annuus* L.), con bonificaciones si el contenido de materia grasa supera el 33% (Smith, 2002; Rivas y Matarazo, 2009).

En conclusión, el cártamo constituye una alternativa económica de producción extensiva, la que además por su estacionalidad ingresa al sistema agroindustrial de molienda en un momento de bajo stock (Escande, 2009).

1.2 Utilización del cártamo

El cártamo ha sido utilizado para múltiples propósitos. Originariamente, la cartamina, un pigmento de color anaranjado rojizo presente en las flores, se utilizaba para colorear el algodón y la seda o para dar color y sabor a los alimentos (Dajue y Mündel, 1996; Ekin, 2005). Las flores, el aceite y el té de cártamo se utilizan en China, Japón, Corea y otras partes del mundo con fines terapéuticos (Ekin, 2005; Emongor, 2010). También es una excelente planta forrajera, pudiendo ser pastoreada durante los primeros estadios del cultivo o empleada como heno o ensilaje. La capacidad de rebrote del cultivo es alta y las propiedades nutricionales son similares a las de la avena (*Avena sativa* L.) o alfalfa (*Medicago sativa* L.; Ekin, 2005). Actualmente, el fruto de cártamo

es utilizado para la alimentación de aves silvestres en Canadá, Estados Unidos, Francia, Egipto y Japón (Dajue y Mündel, 1996).

El interés por el cártamo como un cultivo oleaginoso ocurre a partir de 1970 cuando, en diversos países, se comienza a apreciar la calidad del aceite de sus semillas (Ekin, 2005).

Inicialmente, el aceite de cártamo se comercializaba para uso industrial exclusivamente. Su composición, libre de ácido linolénico y con un alto nivel de ácido linoleico, atrajo a la industria dedicada a la pintura y barnices, ya que es especial para la preparación de pinturas blancas porque evita su amarillamiento (Smith, 1996; Ekin, 2005; Lyon *et al.*, 2007). Además, el aceite de cártamo carece de azufre, es biodegradable y no contiene dióxido de carbono fósil, por lo que puede ser utilizado para la producción de biodiesel (Ekin, 2005).

En los países desarrollados, el aceite comestible de cártamo es muy apreciado por su alta calidad nutricional, especialmente para cocción, ensaladas o elaboración de margarinas (Mündel *et al.*, 2004). Entre los aceites vegetales comerciales, el aceite de cártamo es el más rico en ácido linoleico (ácido graso poliinsaturado) que se conoce hasta el momento, con una composición aproximada de 6-8% de ácido palmítico, 2-3% de ácido esteárico, 15% de ácido oleico y 77% de linoleico (Baümler 2002, Coşge *et al.*, 2007). Este último es uno de los ácidos grasos esenciales que debe ser incorporado mediante la dieta, ya que no es sintetizado por el organismo humano (Smith, 2005). También se encuentran variedades de cártamo alto oleico (ácido graso monoinsaturado) que contienen aproximadamente 77% de ácido oleico y 15% de linoleico. Este aceite es comparable al aceite de oliva por su valor nutricional y por su alta calidad para fritura. Por no tener ácido graso linolénico en su composición, no se oxida tan fácilmente como

el aceite de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) y colza (*Brassica napus* L.). Además, tiende a disminuir los niveles del llamado colesterol “malo” (LDL), sin afectar el colesterol “bueno” (HDL), contribuyendo a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Smith, 1996; Bergman, 1997).

1.3 Producción de cártamo en Argentina

Argentina, junto con la Unión Europea, Rusia y Ucrania, concentran el 75% de la producción mundial de aceite de girasol (FAO, 2010). La soja y el girasol son los dos principales cultivos oleaginosos de nuestro país. Sin embargo, debido a los recientes problemas de comercialización del trigo y girasol, muchos productores comenzaron a incursionar en cultivos alternativos en busca de mejores resultados agronómicos y económicos.

En Argentina, el cultivo de cártamo fue promovido por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) a partir de 1960. Desde su introducción y hasta principios de 1970, la única variedad sembrada fue Gila, de origen americano (Giayetto *et al.*, 1999).

El INTA llevó a cabo programas de mejora genética a partir de una colección mundial procedente de Méjico. Los objetivos buscados eran resistencia al frío, mayor rendimiento de frutos y alto contenido de aceite de los mismos. Actualmente, la mayoría de los híbridos y variedades de uso actual en el país son de origen estadounidense, específicamente del estado de California (Lang, 2011).

Más allá de algunas variaciones puntuales, la superficie cultivada de cártamo muestra en las últimas tres décadas una tendencia creciente, habiendo pasado de 650

hectáreas en 1981 a más de 118.000 en el ciclo 2012-2013 (Franco, 2011; SIIA, 2014), con un rendimiento promedio de aproximadamente 900 kg.ha⁻¹. La provincia de Salta representa dos tercios de la superficie total implantada con cártamo (MAGyP, 2012), donde se produce como cultivo alternativo al trigo o garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Una región potencialmente apta y con mayores posibilidades agroclimáticas la constituye la Región Pampeana Central Semiárida (Lat. 34° y 39° S; Long. 63° 30' y 66° O), que abarca una superficie mayor a 10 millones de hectáreas y coincide en parte con la región girasolera argentina (Mirassón *et al.*, 2011).

Estos aspectos permiten concluir que, si bien la expansión no es la esperada, el cártamo constituye una alternativa de diversificación muy valiosa, la que sumada a una tecnología de cultivo adecuada permitiría lograr buenos rendimientos y la participación de la producción argentina en un mercado de alimentos más saludables.

1.4 Características de la planta

El cártamo es una planta herbácea y anual. Tiene la apariencia de un cardo como muchas malezas pertenecientes a la familia de las Asteráceas. Sin embargo, la especie de interés comercial, *Carthamus tinctorius* L., no es una maleza dado que existe solamente como especie cultivada. Para la germinación de sus semillas requiere que la temperatura del suelo sea superior a los 4°C, en cuyo caso la emergencia de las plántulas demora hasta 3 semanas. A temperaturas mayores de 15°C, la emergencia ocurre en 3-4 días. Luego de la emergencia, crece lentamente permaneciendo por un tiempo en estado de roseta, durante el cual desarrolla una profunda raíz pivotante (Smith, 1996; Ekin, 2005; Lyon *et al.*, 2007).

A medida que se incrementa la temperatura y la longitud del día, comienza la elongación de los entrenudos alcanzando su altura máxima en floración. Dependiendo de la variedad y de las condiciones de crecimiento, esta altura puede variar de 30 a 150 cm (Wachsmann *et al.*, 2010).

Cuando el tallo tiene una altura aproximada entre 20 y 40 cm, la planta comienza a desarrollar ramificaciones laterales, las que a su vez pueden producir ramificaciones secundarias y terciarias. Cada una de estas ramificaciones lleva en su ápice un capítulo compuesto por 20 a 180 flores tubulares (capítulo cinarocéfalo; Figura 1A), cuya coloración varía del rojo al blanco, pasando por el anaranjado y el amarillo (Baümler, 2002).

La flor del cártamo (Figura 1B y C) se compone de una corola formada por cinco pétalos soldados en casi toda su longitud (gamopétala) y de un cáliz modificado denominado papus o vilano, compuesto por pelos simples o plumosos, que generalmente persisten en el fruto como una estructura de diseminación. El androceo es sinantéreo y el gineceo consiste en un ovario ínfero (Figura 1C), bicapelar y uniovulado, el que origina un fruto simple denominado cipsela (Figura 1D).

1.5 Características del fruto de cártamo

El fruto del cártamo es una cipsela obovoide (Figura 1D), de color blanco o amarillo pálido (Vilatersana, 2008). Está constituido por el pericarpio (cáscara), que representa el 40% del peso del fruto, y la semilla (pepa) en donde se produce la síntesis y acumulación de la materia grasa (MG; Smith, 1996; Ekin, 2005, Lyon *et al.*, 2007). El contenido de MG del fruto oscila entre 20 y 45% (Coşge *et al.*, 2007).

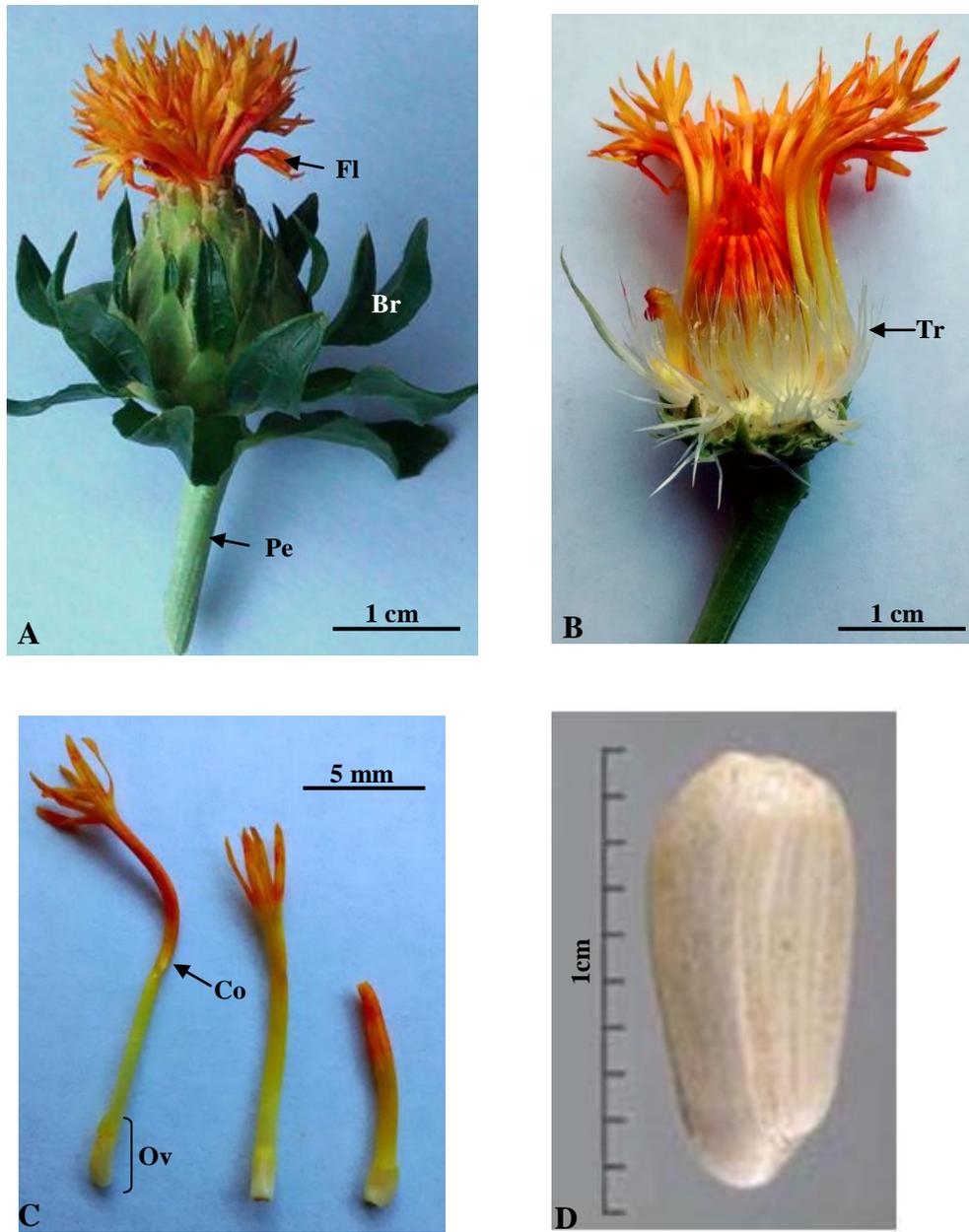


Figura 1. A-C Capítulo y flores de CW 99 OL en antesis completa. **A.** Vista externa y **B.** sección longitudinal del capítulo. **C.** Flores extraídas de la periferia, parte media y del centro del capítulo. **D.** fruto maduro. **Br:** brácteas involucrales; **Co:** corola; **Fl:** flores; **Pe:** pedúnculo; **Ov:** Ovario; **Tr:** tricomas.

En las variedades primitivas, todas las células del tejido parenquimático del pericarpio de los frutos maduros estaban esclerificadas y los frutos eran blancos (Ebert y Knowles, 1968). En las variedades de cártamo con alto contenido de aceite, la cáscara es delgada, la mayoría de los estratos de células del parénquima externo (Figura 2) no se encuentran lignificados y dejan al descubierto las tonalidades de la fitomelanina subyacente (Smith, 1996; Pandey y Dhakal. 2001). Esto genera frutos con cáscaras estriadas o manchadas de colores que pueden variar desde el gris al marrón (Mündel y Bergman, 2009).

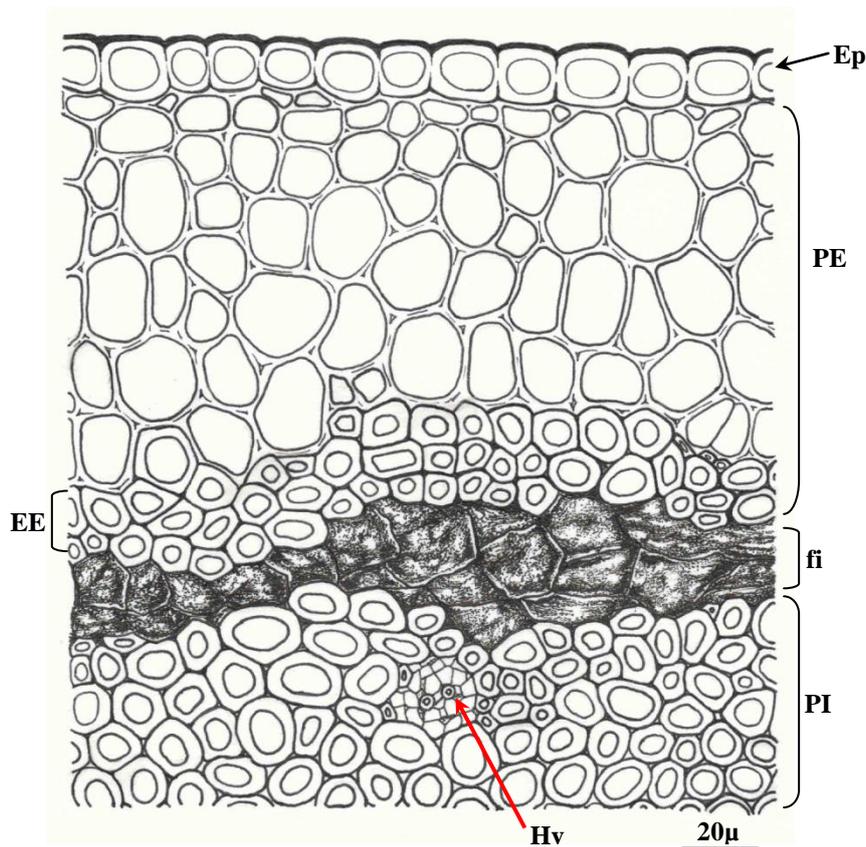


Figura 2. Sección transversal del pericarpio de la variedad de cártamo AG Phoenix. **Ep:** epidermis externa; **EE:** estratos esclerificados; **fi:** capa de fitomelanina; **PE:** parénquima externo; **PI:** parénquima interno; **Hv:** haz vascular.

1.6 Procesamiento de los frutos de cártamo

1.6.1 Extracción del aceite

La mayor cantidad de cártamo en el mundo se procesa por medio de prensas tipo expeller (Smith, 2002). El pre-prensado reduce el contenido de MG en la harina hasta un 15%. Luego, la torta resultante se extrae con solvente disminuyendo el contenido de MG de la harina hasta un 1,5% (Smith, 2002).

La extracción de aceites está asociada a la obtención de subproductos, que resultan del mismo proceso industrial. El subproducto obtenido por las prensas discontinuas se conoce con el nombre de torta, el de las prensas continuas se llama expeller y el obtenido por el uso de solventes se denomina harina de extracción. Todos ellos son destinados a la producción de alimentos balanceados para la ganadería intensiva y la avicultura (MECON, 2002). Las propiedades de estos subproductos pueden variar según el método de extracción utilizado. Por ejemplo, la harina de cártamo resultante de la extracción con solventes tiene un mayor contenido de proteína, pero tiene un menor contenido de aceite (aproximadamente un 1%) y, por lo tanto, un menor contenido energético. Por otro lado, el aceite obtenido por el prensado en frío o por prensas expeller resulta en una torta de cártamo con menor porcentaje de proteína, pero con un contenido de aceite de entre 8 a 11% (Wachsmann *et al.*, 2010).

Los aceites crudos obtenidos luego de la extracción contienen impurezas, por lo que son refinados mediante procesos físicos o químicos, con el fin de eliminar estos materiales inaceptables con el menor efecto posible sobre los componentes deseados y con la menor pérdida de aceite. Cada uno de los pasos de este proceso, que generalmente incluye el desgomado, neutralizado, blanqueo, descerado y desodorizado,

tiene funciones específicas para la eliminación de ciertos compuestos que pueden actuar como prooxidantes o antioxidantes (Ortega-García *et al.*, 2005).

El aceite refinado puede comercializarse en forma líquida o transformarse en aceite sólido, margarina o grasa vegetal, mediante el proceso de hidrogenación (MECON, 2002).

1.6.2 Descascarado de los frutos de cártamo

Durante los años 1960 y 1970, gran parte de la producción de frutos de cártamo de Estados Unidos era parcialmente descascarada previo al proceso de extracción de aceite. Las cáscaras, que representaban un importante subproducto de la industria aceitera, eran exportadas casi en su totalidad a Japón (Smith, 2002). Actualmente, no existen mercados interesados en la compra de cáscaras, por lo cual, en muchos países, la extracción del aceite se realiza a partir de frutos enteros (Wachsmann *et al.*, 2010).

En la Argentina no existen antecedentes de descascarado de frutos de cártamo. Sin embargo, en el último tiempo la industria aceitera ha mostrado un creciente interés en descascarar sus frutos, ya que permitiría disminuir el volumen de material que circula por el sistema, el contenido de ceras y pigmentos en el aceite y el de fibra en la harina resultante (Baümler, 2002). La naturaleza abrasiva de las cáscaras que no son extraídas acelera el desgaste de las maquinarias en contacto con las mismas. Incluso, durante la extracción, cuando el aceite sale de las células, las cáscaras absorben una parte de ese aceite libre, reduciendo el rendimiento del proceso (Baümler, 2002).

La harina de cártamo obtenida de frutos sin descascarar, contiene un 20% de proteína y 45% de fibra y su uso final es el abono. Por el contrario, en la harina de

frutos descascarados el contenido de proteína podría incrementarse hasta un 40% y el de fibra reducirse a un 17%, lo que incrementaría sensiblemente su valor nutricional (Pickard *et al.*, 1998), pudiendo ser adecuada para la alimentación de animales monogástricos cuando hay ingestión de energía metabolizable adicional y suplementación con metionina y lisina (Kohler *et al.*, 1966). En aves de corral, se ha demostrado que puede promover una respuesta de crecimiento comparable a la de la harina de soja (Farran *et al.*, 2009) y que, al igual que la harina de girasol, puede reemplazarla hasta en un 50% en la formulación de las dietas (Farran *et al.*, 2010). Como alimento para rumiantes, la harina de cártamo parcialmente descascarada es comparable con los granos de cebada y, aunque la fibra es menos digerible, parecería ser un buen suplemento de proteína alternativa (Mundel *et al.*, 2004).

Las cáscaras del cártamo, cuando se las muele finamente y se las mezcla con otros ingredientes, pueden ser empleadas para agregar volumen a las raciones concentradas utilizadas en la alimentación de rumiantes (Pickard *et al.*, 1998).

1.6.3 Aptitud al descascarado (AD)

En la industria oleaginosa Argentina, el descascarado de frutos de cártamo se realiza con el mismo equipo que para el girasol. Su principio de funcionamiento se basa en hacer impactar los frutos, por efecto centrífugo y a alta velocidad (entre 5-10 m.s⁻¹), contra una superficie rígida donde se fracturan (Hernández y Bellés, 2007). Las cáscaras deben desprenderse lo más enteras posible y sin formar muchas astillas. Las pepas también deben permanecer enteras o en trozos grandes. La separación de las cáscaras se hace por zarandas y con aire a contracorriente. Normalmente se deja un porcentaje de

cáscara (10-12%) para lograr una adecuada porosidad del lecho para facilitar el posterior proceso de extracción de aceite por solvente (Aguirrezábal y Pereyra, 1998). Por el contrario, la cantidad de pepa arrastrada junto con la cáscara debe minimizarse, ya que es aceite que se pierde.

La facilidad con que la cáscara se separa de la pepa, durante la industrialización de los frutos, es conocida como aptitud al descascarado de los frutos (AD) (Baümler, 2002; Nolasco *et al.*, 2005). Existen diferentes métodos para el cálculo de este parámetro. Dedio y Dorrel (1989) calcularon la AD de frutos de girasol como la relación entre la masa de pepas totalmente descascaradas y la masa de la muestra de frutos previo al descascarado. Para esta definición un porcentaje alto indica una alta AD. Por su parte, Wan *et al.* (1978) definieron la AD como la suma de la masa de frutos sin descascarar más el material fino (partículas $\leq 2,4$ mm) expresado como un porcentaje de la masa de la muestra. En este caso, un porcentaje bajo indica una alta AD. Por su parte, Denis *et al.* (1994) calcularon la AD de girasol como la relación entre la cáscara extraída mecánicamente (CEM, %), con descascaradoras de pequeño tamaño que simulan el proceso industrial, comparándola con el contenido total de cáscara (TC, %) de los frutos, determinado mediante separación manual.

1.6.3.1 Factores que influyen en la AD de los frutos

Genotipo y ambiente

La información con respecto al proceso de descascarado de los frutos de cártamo es escasa (Baümler, 2002), no habiéndose evaluado, hasta el momento, el efecto del genotipo y del ambiente sobre la AD. En el girasol, por el contrario, existen numerosos estudios sobre las diferentes características y factores que afectan la AD de sus frutos.

En este cultivo, el genotipo parecería ser la principal fuente de variación de la AD, ya que si bien el efecto del factor ambiental podría ser importante, la interacción genotipo-ambiente sería pequeña (Merrien *et al.*, 1992; Beauguillaume y Cadeac, 1992a; b; Denis, 1994; Nel *et al.*, 2000). Así, la clasificación de los genotipos de girasol por su AD fue relativamente constante en plantas crecidas en tres ambientes contrastantes en cuanto a clima y condiciones de manejo (Denis y Vear, 1996). Lindström *et al.* (2006a) hallaron que los parámetros morfo-anatómicos de los frutos, que caracterizaron a cada híbrido y que determinaron la diferencia en la AD entre los mismos, se mantuvieron, salvo ligeras variantes, constantes entre localidades, años y tratamientos.

La AD de frutos de girasol puede ser modificada por condiciones ambientales o de manejo del cultivo (Nel *et al.*, 2000; Lindström *et al.*, 2006a). Así por ejemplo, al aumentar la densidad de siembra del cultivo se redujo el volumen y la AD de los frutos de 2 híbridos de girasol (Nel, 2001). Por otro lado, la variación en la densidad de plantas del cultivo de cártamo redujo el rendimiento como consecuencia de la modificación de varios de sus componentes, entre ellos el peso de los frutos (Mohamadzadeh *et al.*, 2011; Zarei *et al.*, 2011). Teniendo en cuenta lo expuesto para girasol, se podría hipotetizar que las variaciones en el peso final de los frutos podrían estar asociadas a modificaciones en el contenido de cáscara o la relación peso del pericarpio/ peso de la pepa o la anatomía del pericarpio, parámetros estructurales del fruto que podrían incidir sobre la AD de los mismos. Sin embargo, estos aspectos aún no han sido evaluados en cártamo.

Las características del fruto sujetas a variabilidad genética y/o ambiental y que podrían incidir sobre la AD de los frutos de cártamo son:

Humedad de los frutos

El contenido de humedad de los frutos influye en la facilidad con la que las cáscaras de girasol y cártamo se fracturan y se separan de la semilla (Riccobene *et al.*, 2001; de Figueiredo *et al.*, 2013).

La disminución del contenido de humedad de los frutos de cártamo aumenta la AD de los mismos y la producción de material fino (Baümler, 2002). Esta autora, trabajando con una velocidad periférica de 34,6 m/s, determinó que el mínimo de frutos sin descascarar se obtenía con un contenido de humedad en los mismos del 3,5%. Sin embargo, el porcentaje de finos que se generaba al descascarar los frutos con este porcentaje de humedad se incrementó hasta un 13,3%. Los finos son aspirados junto con la cáscara y es aceite que se pierde (Baümler 2002).

Tamaño de los frutos

En general, en el girasol los frutos grandes presentan mejor AD que los pequeños, por lo que algunos investigadores sugieren separarlos en fracciones por tamaño antes de descascararlos (Dedio y Dorrell, 1989). Nel (2001) separó los frutos por tamaño en cuatro grupos. Los de mayor tamaño, generados al disminuir la densidad de plantas del cultivo, presentaban mejor AD que los pequeños. Por el contrario, Denis y Vear (1996) hallaron que los frutos de mayor tamaño originados en una localidad de Francia podían presentar una menor AD que los más pequeños de otra localidad del mismo país.

Contenido de cáscara y de aceite del fruto

En el cártamo (Claassen *et al.*, 1950; Urie y Zimmer, 1970), al igual que en el girasol (Morrison III *et al.*, 1981; Dedio, 1982; Denis *et al.*, 1994), la selección a favor de una mayor concentración de aceite, principal enfoque de los programas de mejoramiento, generó frutos más pequeños, con cáscaras más delgadas y adheridas a la semilla. Estas características inciden negativamente sobre la AD de los frutos de girasol.

No obstante, en el girasol se comprobó que existen genotipos con buena AD dentro de los híbridos productores de aceite; esto es, existe variabilidad suficiente como para poder seleccionar independientemente ambos parámetros (Baldini y Vannozzi, 1996; Denis y Vear, 1996; Lindström *et al.*, 2000a). Hasta el momento, no existen antecedentes de estudios que analicen si existe variabilidad genética en la AD de los frutos de cártamo.

Anatomía del pericarpio

El pericarpio de las variedades primitivas de cártamo se encontraba completamente esclerificado, lo que le confería mayor dureza (Ebert y Knowles, 1968). El mejoramiento genético a favor del contenido y la calidad del aceite resultó en una disminución de la esclerificación del pericarpio desde la periferia hacia el interior del mismo (Ebert y Knowles, 1968; Urie y Zimmer, 1970).

La disposición de los tejidos parenquimáticos y esclerenquimáticos del pericarpio de cártamo (Flemmer *et al.*, 2011) es inversa a la de los híbridos de girasol (Lindström *et al.*, 2000b). Estas diferencias histológicas podrían dar como resultado características de procesamiento particulares para los frutos de estas dos especies.

La relación entre la AD con los parámetros físicos y morfológicos de los frutos y con la estructura anatómica del pericarpio de cártamo aún no han sido investigados.

1.7 Fundamentos de esta investigación

El descascarado de los frutos de cártamo es un tema de permanente discusión debido a las dificultades técnicas que presenta el proceso.

De la revisión previa se desprende que las propiedades del aceite de cártamo son excelentes y, que el valor nutricional de la harina podría mejorarse si se logra un eficiente descascarado de sus frutos. Sin embargo, hasta el momento no se ha investigado si existe variabilidad en la AD entre variedades de cártamo de alto rendimiento de aceite y, de confirmarse, los parámetros del fruto que la determinan. Tampoco se ha analizado la relación entre la AD y la calidad de la harina resultante luego del descascarado.

Este conocimiento constituye un insumo básico indispensable para resolver las dificultades del descascarado y sus problemas anexos (bajo contenido de proteína y alto contenido de fibra en la harina). Además puede ser utilizado por los fitomejoradores como referencia para identificar qué parámetros de la estructura del fruto incrementan su AD y, así, aumentar tanto la eficiencia del proceso de extracción de aceite como la calidad de los subproductos obtenidos.

1.8 Presentación de objetivos e hipótesis

1.8.1 Objetivo general

Se plantea como objetivo general de este proyecto de tesis: ***analizar el efecto del genotipo y de condiciones de manejo del cultivo sobre la AD de frutos de distintas variedades de cártamo y la calidad de los subproductos obtenidos luego de su industrialización.***

Las hipótesis a probar y los objetivos particulares son:

1.8.2 Hipótesis de trabajo

- *Existe variabilidad genética de la AD de los frutos entre las variedades de cártamo productoras de aceite.*
- *El descascarado de los frutos, previo a la extracción de aceite, mejora la calidad de la harina resultante.*
- *Las diferencias de la AD entre las distintas variedades de cártamo están relacionadas con variaciones en la morfología del fruto y/o estructura anatómica y composición química del pericarpio.*
- *Cambios en el peso del fruto inducidos por variaciones en la densidad de plantas en el cultivo modifican la AD de los mismos.*

1.8.3 Objetivos específicos

➤ Evaluar en 7 variedades de cártamo de la red de ensayos de rendimiento del INTA H.

Ascasubi:

❖ la AD de los frutos.

❖ la calidad de la harina obtenida de frutos de cártamo descascarados y enteros.

❖ las características morfológicas de los frutos y la estructura anatómica y la composición química del pericarpio.

➤ Analizar el efecto de distintas distancias entre surcos y densidades de siembra sobre la AD de los frutos de la variedad CW 99 OL.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Características del sitio experimental*

Los experimentos se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA de Hilario Ascasubi (Pcia Bs. As.; Lat 39° 23'S; 62° 37' O). El suelo del sitio experimental era un *Haplustol údico* (Soil Survey Staff, 1999) de textura arenoso franca profundo, con un bajo contenido de materia orgánica de 2,38%; pH 7,30; 25,28 ppm de fósforo (Bray y Kurtz) y una conductibilidad eléctrica de 2,46 dS/m. En ambos ensayos se fertilizó con 60 kg de fosfato diamónico por hectárea al momento de la siembra y 100 kg de urea por hectárea en el estado de roseta.

Los registros de temperatura y lluvia fueron proporcionados por la EEA del INTA H. Ascasubi. En el sitio de estudio la napa freática se encuentra entre 0,80 y 1,20 m de profundidad, lo que constituyó un aporte hídrico adicional para el cultivo.

2.2. *Ensayo de variedades*

En la Tabla 1 se detalla el origen y la composición acídica de las semillas de las variedades de cártamo estudiadas en esta tesis. La siembra de las mismas se realizó en el mes de agosto durante el primer ciclo de crecimiento 2008/2009 (CC 08/09) y en el mes de septiembre durante el segundo ciclo de crecimiento 2009/2010 (CC 09/10). Para ello se utilizó una máquina experimental de surco profundo (marca Forti) a razón de 30 kg.ha⁻¹ y a una distancia entre surcos de 0,20 m.

Las variedades fueron dispuestas en unidades experimentales (UE) de 1,40 x 6 m dispuestas según un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones en ambos

CC. Se aplicó un riego presiembra y posteriormente el cultivo se mantuvo en condiciones de secano.

Tabla 1. Contenido de ácidos grasos y origen de las 7 variedades de cártamo utilizadas en esta tesis.

Variedad	Ácidos grasos (%)		ORIGEN
	Oleico	Linoleico	
Arizona L7-5	77,3	15,1	Americano
L 8	16,6	74,0	Americano
Agrosearch L7-3	73,4	19,0	Americano
Seedtech S-345	75,7	16,7	Criadero Seed Tech USA California
CW 99 OL	77,9	14,7	Criadero CAL WEST USA California
AG Phoenix	74,5	17,8	Americano
Knowles 93079	63,6	28,2	Americano

Fuente: INTA H. Ascasubi

2.3. *Ensayo de distancia entre surcos y densidad de siembra*

La variedad CW 99 OL se sembró a tres distancias de siembra entre surcos (35 cm, 52 cm y 70 cm) y dos densidades (baja: 7,5 kg.ha⁻¹ y alta: 22,5 kg.ha⁻¹). La siembra se llevó a cabo en el mes de septiembre, durante el CC 08/09, y en agosto en el CC 09/10. Las UE, de 6 x 2,1 m fueron dispuestas según un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones, donde el factor principal fue la distancia y el factor secundario, la densidad de siembra. Se aplicó un riego presiembra y otro cuando el cultivo había alcanzado el máximo número de ramificaciones previo al inicio de antesis (Flemmer *et al.*, 2014).

2.4 Determinaciones

En el ensayo de variedades se realizaron todas las determinaciones descriptas a continuación, mientras que en el segundo ensayo solo se realizaron las determinaciones detalladas en el punto 2.4.1 y 2.4.3. En ambos casos se utilizaron muestras de frutos de 5 plantas por UE.

2.4.1 Parámetros del proceso de descascarado

El descascarado mecánico se realizó con un descascarador centrífugo piloto, de ruptura por impacto a una velocidad estándar de 3300 rpm (velocidad periférica de 34,6 m/s), proporcionado por el Grupo de Investigación TECSE (Depto. de Ing. Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría; Figura 3). Se descascararon 10 gramos de frutos por UE. El tiempo de alimentación del equipo y el de procesamiento de los frutos, contados a partir del ingreso total de la muestra, fue de 20 segundos.



Figura 3. Vista general del equipo piloto utilizado para el descascarado mecánico (de Figueiredo *et al.*, 2014).

El producto del descascarado se separó manualmente en las siguientes fracciones: cáscaras, pepas, “resto” (frutos parcialmente descascarados y enteros) y “finos” (partículas menores a 2 mm; Figura 4).

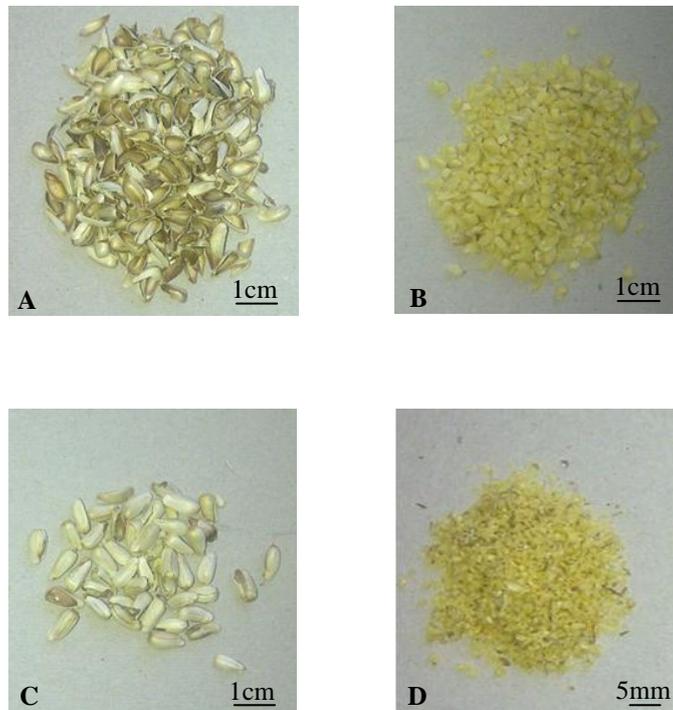


Figura 4. Fracciones obtenidas luego del descascarado mecánico de los frutos de cártamo: cáscaras (A), pepas (B), resto (C) y material fino (D).

El peso seco de la cáscara (PC, mg), de la pepa (PP, mg), del material fino (F) y del resto (R) se calculó luego del secado de las muestras a 60°C durante 72 h.

El porcentaje de cáscara extraída mecánicamente (CEM, %), de material fino (F, %) y de resto (R, %) se calcularon de la siguiente forma:

$$\text{CEM (\%)} = (\text{PC} / (\text{PC} + \text{R} + \text{F} + \text{PP})) * 100$$

$$\text{F (\%)} = (\text{F} / (\text{PC} + \text{R} + \text{F} + \text{PP})) * 100$$

$$\text{R (\%)} = (\text{R} / (\text{PC} + \text{R} + \text{F} + \text{PP})) * 100$$

El porcentaje de cáscara total (TC) de los frutos se calculó separando manualmente la cáscara de la pepa de 50 frutos por UE y pesando ambas fracciones luego de ser secadas en estufa a 60°C durante 72 h.

$$\text{TC (\%)} = \text{PC} / (\text{PC} + \text{PP}) * 100$$

La AD se calculó como la relación entre la CEM (%) y el contenido total de cáscara de los frutos (TC%) de la forma:

$$\text{AD (\%)} = \text{CEM (\%)} / \text{TC (\%)} * 100$$

Por último se estimó la cáscara residual como:

$$\text{CR (\%)} = (\text{TC (\%)} - \text{CEM (\%)} / \text{R (\%)} * 100$$

2.4.2 Calidad de la harina de frutos parcialmente descascarados y enteros

Las determinaciones de calidad se realizaron sobre dos fracciones: 1) resto + pepa y 2) frutos enteros. Ambas fracciones fueron molidas con un molino Wiley (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ. USA) utilizando una malla de 1 mm. El cálculo de materia

seca para la corrección de cada una de las determinaciones se realizó secando cada muestra en estufa a 60°C durante 48 h (AOAC, 2000).

El contenido de fibra de las muestras se analizó mediante el método secuencial con α -amilasa y sin Na_2SO_3 acorde al procedimiento descrito por Van Soest *et al.* (1991) en un baño procesador (Ankom Technology Corp., Fairpoint, NY, USA). Se determinaron, sobre 0,5 g de muestra, las concentraciones de fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y lignina en detergente ácido.

2.4.2.1 Fibra en detergente neutro (FDN)

Para la determinación de la FDN se hirvió durante 1 h la muestra de forraje en una solución al 3% de detergente neutro (sulfato lauril-sódico y ácidoetilen-di-amino-tetra-acético, EDTA) en un medio buffer de pH 6,9-7,1. De esta forma se logró la disolución del contenido celular pero no de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). El contenido de FDN se expresó como un porcentaje del total de materia seca.

2.4.2.2 Fibra en detergente ácido (FDA)

La muestra de FDN se hirvió durante 1 h en una solución de detergente ácido (ácido sulfúrico y bromuro de cetiltrimetilamonio, EDTA) al 2%. Con este proceso se extrajo la hemicelulosa, de tal forma que el residuo remanente quedó constituido por celulosa y lignina. Al igual que la FDN, los resultados se expresaron como un porcentaje de la materia seca evaluada. El contenido de hemicelulosa de las muestras se determinó por diferencia entre el contenido de FDN y de FDA.

2.4.2.3 Lignina en detergente ácido (LDA)

Luego de exponer a la FDA a una solución de ácido sulfúrico al 72% por el transcurso de 3 h, se disolvió la celulosa y quedó como residuo la lignina y ceniza insoluble en ácido (LDA). Al igual que los casos anteriores, los resultados se expresaron en porcentaje de LDA con respecto a la materia seca analizada. La diferencia entre la FDA y LDA representa el contenido de celulosa.

2.4.2.4 Cenizas

Las cenizas se calcularon incinerando las muestras durante 3 h en una mufla a 550 °C (AOAC, 2000).

2.4.2.5 Proteína bruta (PB)

La PB se determinó por el método macro-Kjeldahl. El nitrógeno (N) de la muestra fue oxidado a sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) por digestión con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y en presencia de un catalizador. Lo digerido se enfrió, se diluyó con agua y se alcalinizó con hidróxido de sodio (NaOH). El amonio (NH_4) liberado se recogió por destilación en una solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 4%. Por último, el borato de amonio se tituló con ácido sulfúrico (H_2SO_4) estandarizado (concentración exactamente conocida). El valor de nitrógeno (N) obtenido se multiplicó por el factor 6,25 para llegar al contenido de proteína cruda de la muestra (AOAC, 2000).

2.4.3 Parámetros físicos

2.4.3.1 Humedad

El contenido de humedad de los frutos se determinó en dos muestras de 10 g de frutos por UE. Los frutos se llevaron a estufa de aire por circulación forzada durante 3 h a 130 °C. El peso seco de las muestras se determinó en balanza analítica, luego de estabilizar la temperatura de las mismas en un desecador (AOCS, 2001). La humedad en base seca (H, %) se determinó como:

$$H (\%) = ((\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}) / \text{peso de la muestra seca}) * 100$$

2.4.3.2 Volumen

El volumen de los frutos (VF) se determinó por picnometría. Al peso de un matraz aforado con un contenido de 25 ml de alcohol absoluto se le sumó el peso de 20 frutos por UE (P1). Luego, se colocaron los frutos dentro del matraz con alcohol, se enrasó nuevamente y se volvió a pesar (P2). Por diferencia de pesos (P1-P2) se determinó el peso del alcohol absoluto desalojado. El volumen de la muestra de los 20 frutos se obtuvo dividiendo el peso del alcohol desalojado por la densidad del alcohol absoluto a la temperatura de trabajo (ρ_a). El VF se calculó como:

$$VF (\mu\text{L}) = [(P1-P2) / \rho_a] / 20$$

2.4.3.3 *Peso del fruto*

Las cáscaras de 50 frutos por UE fueron separadas manualmente de la pepa. El PC (mg) y de la PP (mg) se determinó luego del secado en estufa a 60°C durante 72 h. El peso seco del fruto (PF, mg) se calculó como el PC+PP.

2.4.4 *Contenido de materia grasa del fruto*

El extracto etéreo (EE) se determinó sometiendo 1 g de muestra a un proceso de extracción con éter etílico durante 6 h. en el equipo Goldfish (Guiragossian *et al.*, 1977; AOAC, 2000). El EE representa el contenido graso (MG, %) de la muestra e incluye, además de los ésteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolípidos, las lecitinas, los esteroides, las ceras, los ácidos grasos libres, los carotenos, las clorofilas y otros pigmentos.

2.4.5 *Anatomía y composición química del pericarpio (cáscara)*

El análisis de la estructura del pericarpio se realizó a partir de frutos previamente fijados en FAA (solución de formol, ácido acético y alcohol absoluto). Las muestras fijadas fueron deshidratadas en una serie ascendente de alcohol terbutílico e incluidas en Paraplast plus (Sigma-Aldrich, EUA). Del material incluido se realizaron cortes transversales de 10 µm de espesor, utilizando un micrótopo rotatorio tipo Minot (Jung, Alemania). El contraste de los cortes se realizó mediante la coloración diferencial y sucesiva combinada de Safranina-Fast Green (Jensen, 1962).

También se efectuaron cortes a mano alzada del pericarpio de 10 frutos maduros por UE, previamente hidratados durante 12 h en agua a temperatura ambiente. Las

secciones transversales, de 15 a 30 μm de espesor, fueron teñidos con fluoroglucinol en medio ácido (Ruzin, 1999), reactivo específico para la determinación de lignina, y montados con glicerina en agua (1:1).

En cada sección transversal del pericarpio se evaluaron los siguientes parámetros: espesor total (ET), número total de estratos (NTE) y de estratos esclerificados (NTEE), número de estratos del parénquima externo (NEPE) e interno (NEPI) y número de estratos esclerificados del parénquima externo (NEEPE) e interno (NEEPI). El porcentaje de esclerificación total (ES) se calculó como:

$$\text{ES (\%)} = (\text{NTEE} * 100) / \text{NTE}$$

Las observaciones, mediciones y registros fotográficos de los cortes se realizaron con un microscopio Nikon Labophot-2 provisto de cámara fotográfica digital y micrómetro ocular. La composición química del pericarpio (FDN, FDA y LDA) se determinó tal como se detalló en la sección 2.4.2.

2.5 *Análisis estadístico*

Los resultados experimentales de cada una de las variables analizadas fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA) y los valores promedio comparados mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS; Di Rienzo *et al.*, 2011).

Las relaciones entre la AD y las variables analizadas se estudiaron usando técnicas correlación y regresión múltiple por incorporación progresiva (Di Rienzo *et al.*, 2011).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

En el primer CC, las precipitaciones totalizaron 157,5 mm de los cuales 78 mm se registraron durante la etapa reproductiva del cultivo (Octubre-Enero). Durante el segundo CC dichos registros fueron de 237 mm y 155 mm, respectivamente (Figura 5).

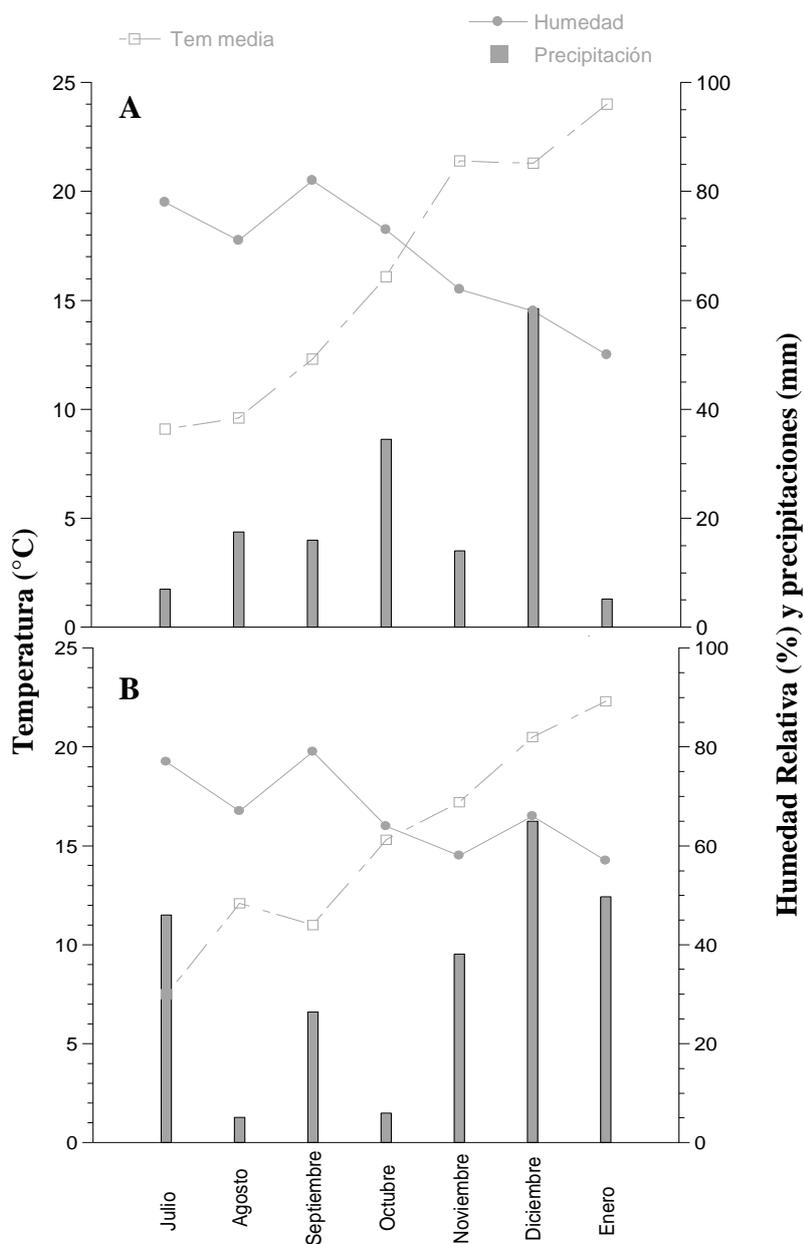


Figura 5. Temperaturas, humedad media mensual y precipitaciones mensuales registradas en la EEA del INTA H. Ascasubi durante los ciclos de cultivo 2008 (A) y 2009 (B).

Las temperaturas medias mensuales fueron similares entre ciclos de crecimiento (Figura 5).

3.1 *Ensayo de variedades*

3.1.1 *Parámetros del proceso de descascarado*

En todas las variedades, la AD, la CEM y la producción de finos fueron mayores mientras que el R y la CR (16,9% vs 20,4%) fueron menores en el CC 08/09 con respecto al segundo ($p < 0,01$; Figuras 6 y 7). La magnitud de la diferencia entre CC en estos parámetros, a excepción de la CR, difirió entre variedades generando interacciones CC x Variedad de baja magnitud (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros del proceso de descascarado. EEA - INTA H. Ascasubi. AD: Aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; R: resto; F: material fino y CR: cáscara residual.

	Variables del proceso				
	AD (%)	CEM (%)	R (%)	F (%)	CR (%)
CC	1520,1**	2120,64**	8434**	2424,45**	92,84**
Variedad	8,11**	11,58**	21,55**	8,25**	3,92**
CC×Variedad	3,12*	5,51**	13,81**	8,30**	2,07 ns

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ y ns no significativo

La AD presentó un gradiente, que osciló desde un mínimo de 61% y un máximo de 76% en el primer CC y entre un 49% y un 60% en el segundo CC (Figura 6A). El porcentaje de CEM fue de un 20 a 25% en el CC 08/09 y de un 16 a 21% en el CC 09/10 (Figura 6B).

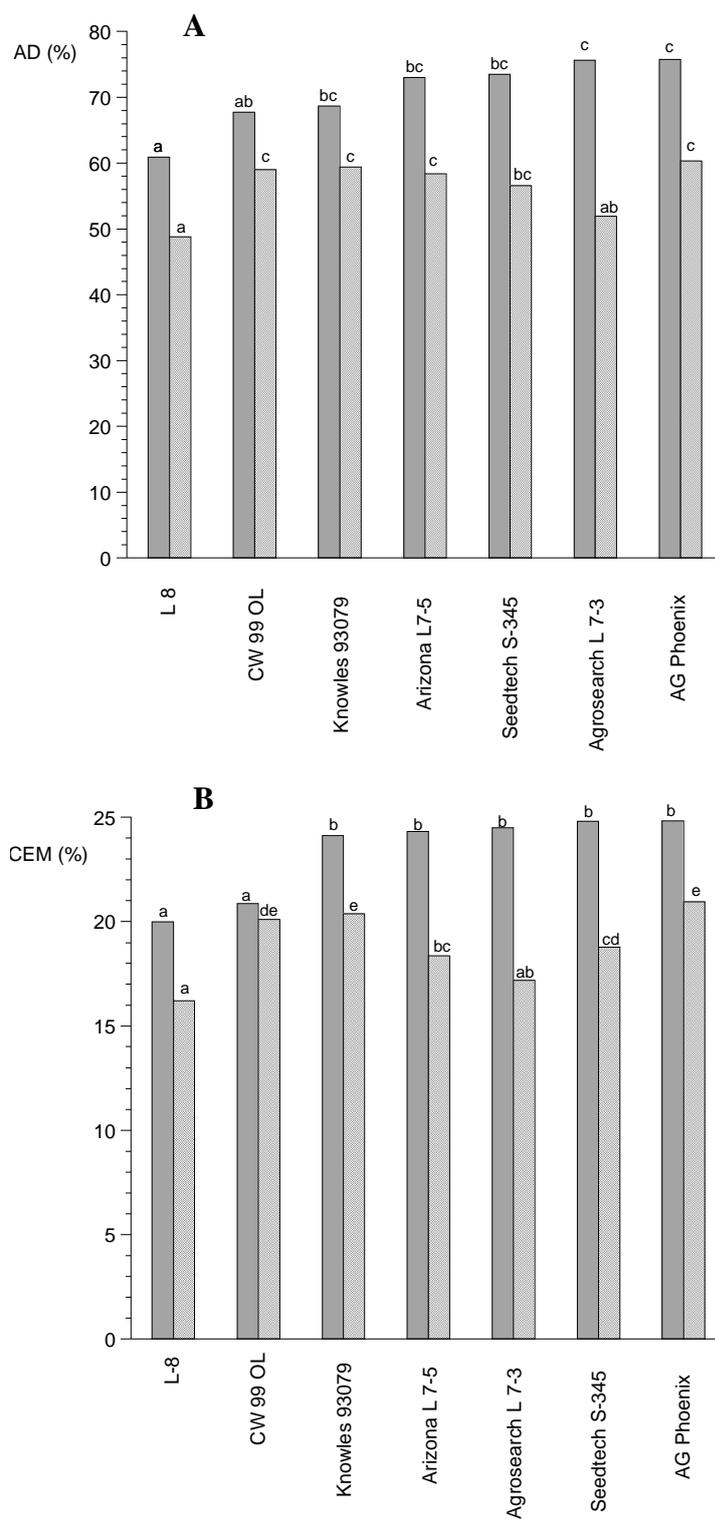


Figura 6. A. Aptitud al descascarado (AD, %) y B. cáscara extraída mecánicamente (CEM, %) de los frutos de 7 variedades de cártamo sembradas durante 2008/2009 (■) y 2009/2010 (▣). EEA - INTA H. Ascacubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). DMS: 6 (AD, %), 1,88 (CEM, %).

La producción F varió entre 17 y 23% en el primer CC y entre un 7 y 10,6% en el segundo (Figura 7A). En las variedades Agrosearch L7-3, CW 99 OL, Seedtech S-345 y Arizona L7-5 los valores alcanzados durante el primer CC superaron en más de un 50% a los del segundo (Figura 7A).

El porcentaje de R (Figura 7B) fue entre un 12 y 16% superior en el segundo CC con respecto al primero, alcanzando un valor del 76% en Agrosearch L7-3. La cáscara residual osciló entre un mínimo de 17,3% en AG Phoenix y un máximo de 21,8% en L-8 ($p < 0,01$).

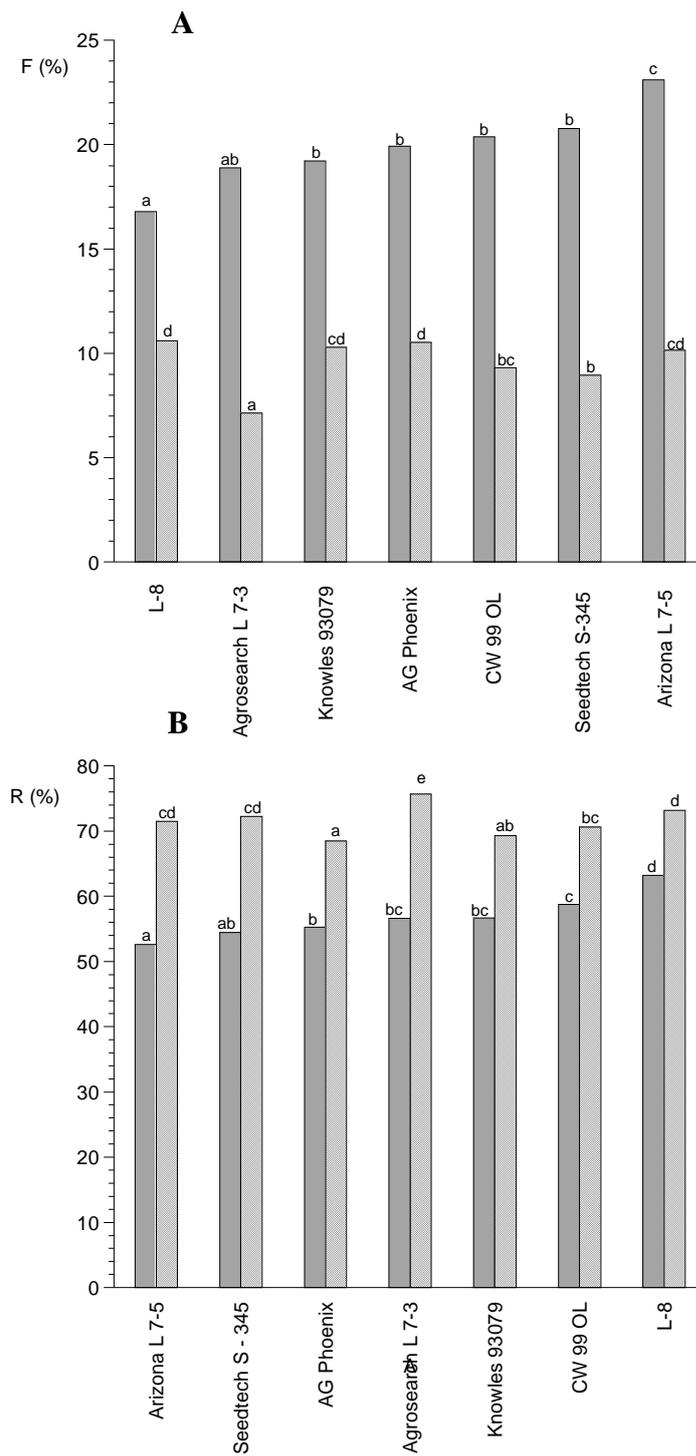


Figura 7. Producción de **A.** material fino (F, %) y **B.** resto (R, %) de 7 variedades de cártamo sembradas durante 2008/2009 (■) y 2009/2010 (▣). EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). DMS: 1,65 (F); 2,07 (R).

3.1.2 Calidad de la harina de frutos descascarados y enteros

El descascarado fue la principal fuente de variación en la expresión de los valores de FDN, FDA y de dos de sus componentes (celulosa y hemicelulosa), presentando estas dos últimas variables interacciones dobles de escasa magnitud (Tabla 3). La fuente de variación más relevante para la LDA fue la variedad (Tabla 3). Mientras que no se observaron diferencias en este parámetro entre CC y tampoco como consecuencia del descascarado de los frutos (Tabla 3). El incremento en el porcentaje de PB de la harina de frutos descascarados respecto a la proveniente de frutos enteros difirió entre CC y variedades (CC x Variedad x Tratamiento; $p < 0,05$; Tabla 3).

Tabla 3. Valores de F del ANDEVA para los efectos tratamiento (descascarado y entero), ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros de calidad de la harina. EEA - INTA H. Ascasubi. FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Hm: hemicelulosa; C: celulosa; LDA: lignina en detergente ácido y PB: proteína bruta.

	Parámetros de calidad de la harina					
	FDN	FDA	C	Hm	LDA	PB
Variedad (Var)	15,68**	9,9**	3,17*	9,33**	9,47**	73,28**
CC	19,55*	15,03*	46,81**	0,01ns	2,65ns	56,45**
Tratamiento (Trat)	107,79**	86,35**	401,82**	45,76**	0,48ns	865,93**
Var×CC	0,91ns	1,17ns	4,08**	1,29ns	0,86ns	13,47**
Var×Trat	0,62ns	1,69ns	1,49ns	2,69*	1,84ns	11,74**
CC×Trat	0,02ns	0,20ns	1,42ns	0,50ns	0,03ns	106,41**
CC×Var×Trat	0,54ns	0,57ns	1,67ns	0,65ns	0,48ns	3,18*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ y ns no significativo

El contenido de FDN y FDA fue similar entre variedades a excepción de L-8 (Figura 8A y B). En promedio, el porcentaje de FDN (38,6%) y FDA (28,4%) en el segundo CC fue superior con respecto al primero (FDN: 33,6% y FDA: 23,5%). Por otro lado, el descascarado disminuyó un 23,4% y un 25,1% los contenidos de FDN (E:

40,9% vs D: 31,3%; Figura 6A) y de FDA (E: 29,7% vs D: 22,2%; Figura 8B), respectivamente.

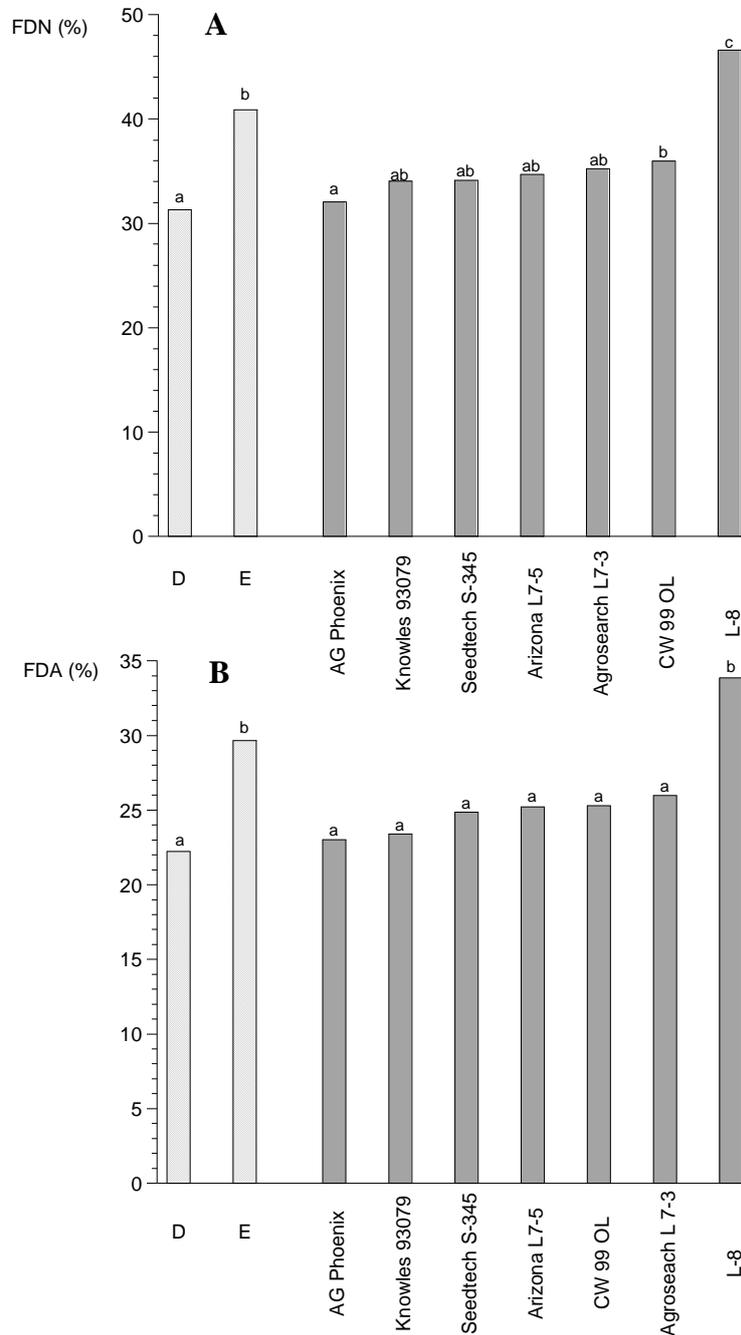


Figura 8. Contenido de **A.** fibra en detergente neutro (FDN, %) y **B.** fibra en detergente ácido (FDA, %), de la harina de cártamo de frutos parcialmente descascarados (D) y enteros (E) (☒); y de 7 variedades de cártamo (■). EEA. INTA H. Ascasubi. Dentro de cada tratamiento (Descascarado y Entero o variedad), las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). DMS: 4,99 (FDN); 4,33 (FDA).

Se observó mayor variabilidad genética en el contenido de celulosa de la harina de los frutos descascarados en el primer CC (Tabla 4). El descascarado redujo el contenido de C de la harina entre un 33 y 62,5% en todas las variedades, excepto en AG Phoenix. En esta variedad el descascarado disminuyó un 54% el contenido de celulosa de la harina el primer CC y solo un 24% el segundo (Año x Variedad; $p < 0,01$; Tablas 3 y 4).

Tabla 4. Contenidos de celulosa (C, %) de la harina de frutos descascarados (D) y enteros (E) de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.

Variedades	Tratamiento	C (%)	
		2008/2009	2009/2010
Arizona L7-5	D	5,47 a	11,47 ab
	E	14,58 fg	20,89 d
Seedtech S-345	D	6,06 ab	11,00 a
	E	14,45 fg	19,41 cd
CW 99 OL	D	6,67 ab	10,85 a
	E	13,61 f	20,80 d
AG Phoenix	D	7,07 bc	12,16 ab
	E	15,27 gh	15,93 bc
Knowles 93079	D	8,53 cd	8,06 a
	E	16,46 hi	17,71 cd
Agrosearch L7-3	D	9,92 de	11,73 ab
	E	14,76 fg	19,36 cd
L-8	D	10,91 e	11,37 ab
	E	17,31 i	20,92 d

Dentro de cada ciclo de crecimiento, valores seguidos por distintas letras difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

A excepción de L-8, se observaron valores similares de Hm y LDA entre variedades (Tabla 5). El descascarado de los frutos redujo entre un 24% y 36% el contenido de Hm solo en AG Phoenix, Seedtech S-345 y Agrosearch L7-3 (Variedad x Tratamiento; $p < 0,05$; Tabla 3 y 5).

El contenido LDA en la harina proveniente de frutos parcialmente descascarados no difirió del determinado para frutos enteros en ninguna de las variedades (Tablas 3 y 5). L-8 presentó el mayor contenido de LDA en la harina (Tabla 5).

Tabla 5. Contenidos de hemicelulosa (Hm, %) y lignina en detergente ácido (LDA, %) de la harina de frutos parcialmente descascarados (D) y enteros (E) de 7 variedades de cártamo en promedio para dos ciclos de crecimiento. ECR del INTA H. Ascasubi.

Variedades	Tratamiento	Hm (%)	LDA (%)
AG Phoenix	D	7,08 a	11,26 ab
	E	11,01 cd	9,59 a
Seedtech S-345	D	7,41 a	13,62 b
	E	11,13 cde	10,64 ab
Agrosearch L7-3	D	8,00 a	12,59 ab
	E	10,51 cd	11,46 ab
Arizona L7-5	D	8,72 ab	13,42 b
	E	10,23 bcd	10,80 ab
CW 99 OL	D	9,83 bc	10,80 ab
	E	11,54 de	13,82 b
Knowles 93079	D	9,90 bcd	10,55 ab
	E	11,46 cde	10,86 ab
L-8	D	12,73 e	17,74 c
	E	12,75 e	19,72 c

Para cada variable, valores seguidos por distinta letra difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

El efecto de la interacción Tratamiento x Variedad ($p < 0,01$) sobre la PB durante ambos CC fue de escasa magnitud con respecto a los efectos individuales de dichos factores (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de F del ANDEVA para los efectos tratamiento (descascarado y entero) y variedad sobre la proteína bruta (PB) de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.

Parámetros de calidad de la harina		
	2008-2009	2009-2010
	PB	PB
Variedad (Var)	38,88**	55,15**
Tratamiento (Trat)	569,60**	277,85**
Trat×Var	9,05**	3,61*

* p<0,05 y ** p<0,01

El contenido de PB de los frutos enteros y su variación entre genotipos fue mayor durante el CC 09/10 (Figura 9A y B). El descascarado incrementó el contenido de PB de la harina de todas las variedades. Dicho incremento fue del 95% el primer CC (E: 26% a D: 50%) y un 42% en el segundo (E: 28% a D: 40%; Figura 9A y B).

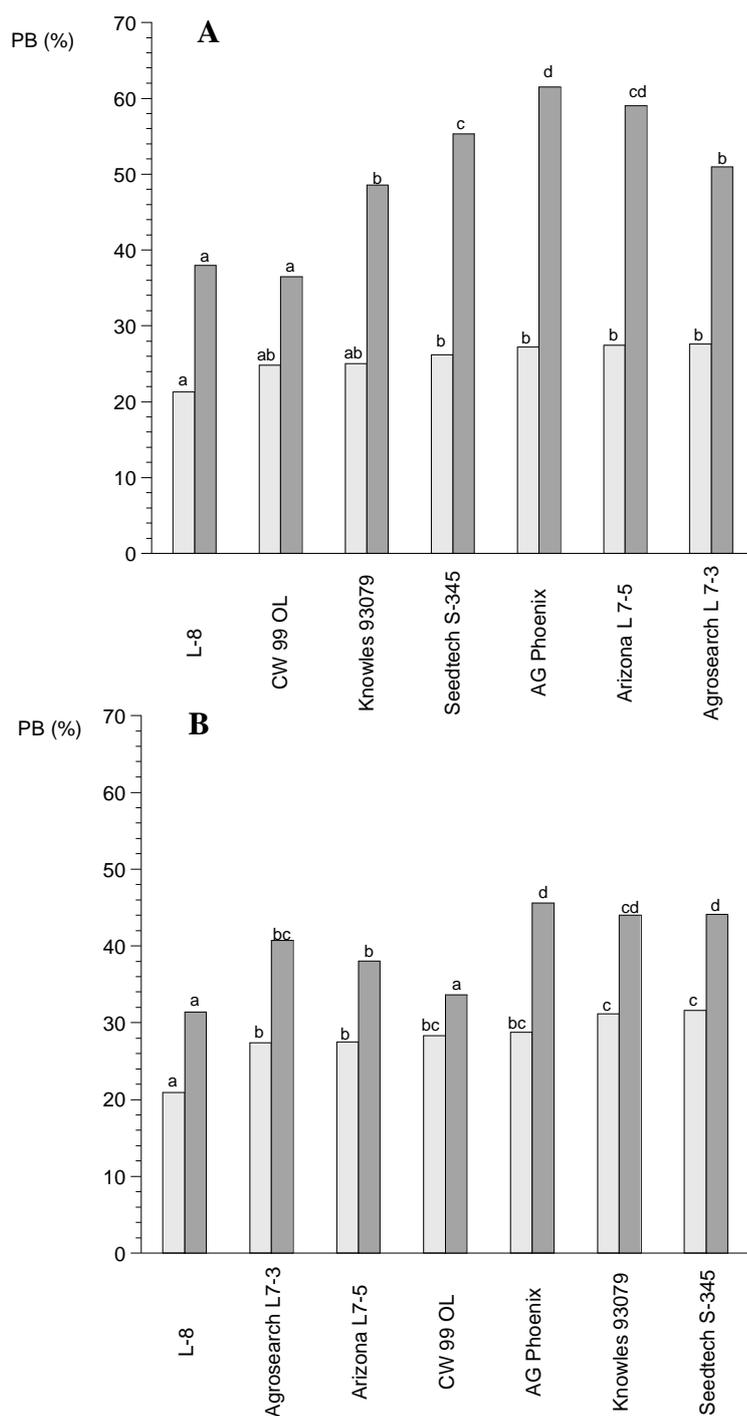


Figura 9. Contenido de proteína bruta (PB, %) de la harina de frutos enteros (☐) y parcialmente descascarados (■) de 7 variedades de cártamo durante el primer (A) y el segundo (B) ciclo de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada tratamiento, las barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). DMS: 5,78 (A); 3,98 (B).

3.1.3 Parámetros físicos de los frutos

Los parámetros físicos de los frutos presentaron interacción CC x Variedad (Tabla 7), por lo que se compararon las variedades para cada CC por separado y los CC para cada variedad (Figura 10).

Tabla 7. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre los parámetros físicos de los frutos. EEA - INTA H. Ascasubi. H: contenido de humedad; VF: volumen del fruto; PF: peso del fruto; PC: peso de la cáscara; PP: peso de la pepa; C/P: relación peso de la cáscara/ peso de la pepa y TC: contenido total de cáscara.

Parámetros físicos de los frutos							
	H	VF	PF	PC	PP	C/P	TC
CC	1,23ns	0,24ns	35,27**	29,09**	28,20**	3,61ns	2,25ns
Variedad	3,18*	5,29**	14,12**	13,95**	13,29**	8,13**	9,29**
CC×Variedad	4,00*	5,57**	9,02**	14,55**	6,09**	8,50**	9,97**

* p<0,05; ** p<0,01 y ns no significativo

El contenido de humedad de los frutos no difirió entre variedades dentro de cada CC. Solo se observaron ligeras diferencias entre CC en las variedades Seedtech S-345 y Knowles 93079 (Tabla 8). La humedad promedio de los frutos fue igual a 5,62% ± 0,04 en el primer y a 5,68% ± 0,07 en el segundo CC.

Tabla 8. Contenido de humedad de los frutos de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.

Variedades	Contenido de humedad (%)	
	2008-2009	2009-2010
L-8	5,63 a	5,35 a
Agrosearch L7-3	5,56 a	5,52 a
Seedtech S-345 *	5,46 a	5,86 a *
Arizona L7-5	5,82 a	5,52 a
CW 99 OL	5,72 a	5,74 a
Knowles 93079 *	5,70 a	6,08 a *
AG Phoenix	5,47 a	5,72 a

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre variedades ($p < 0,05$). Para cada variedad, el asterisco indica diferencias significativas entre ciclos de crecimiento ($p < 0,05$).

El PF osciló entre 30,2 mg y 38,9 mg en el primer CC, mientras que durante el segundo CC fue de 33,2 mg a 42,3 mg (Figura 10A), representado el PC, aproximadamente, entre el 30 y 35% de dicho peso (Figura 10B y D). El PF, PC y PP de CW 99 OL y Knowles 93079 difirieron entre CC (Figura 10A-C).

Si bien se observaron diferencias en el TC entre variedades y CC, las mismas no superaron el 4,4% en ninguno de los casos (Figura 10D). El TC fluctuó entre un 31% y 35% entre variedades en ambos CC (Figura 10D).

El rango de variación en el VF entre variedades fue similar entre campañas, oscilando desde 38,6 μ L a 50,7 μ L en el primer ciclo y desde 36,5 μ L a 50,1 μ L en el segundo CC (Figura 10F). El VF fue un 27% mayor en CW 99 OL y un 21% menor en AG Phoenix en el primer CC con respecto al segundo (Figura 10E).

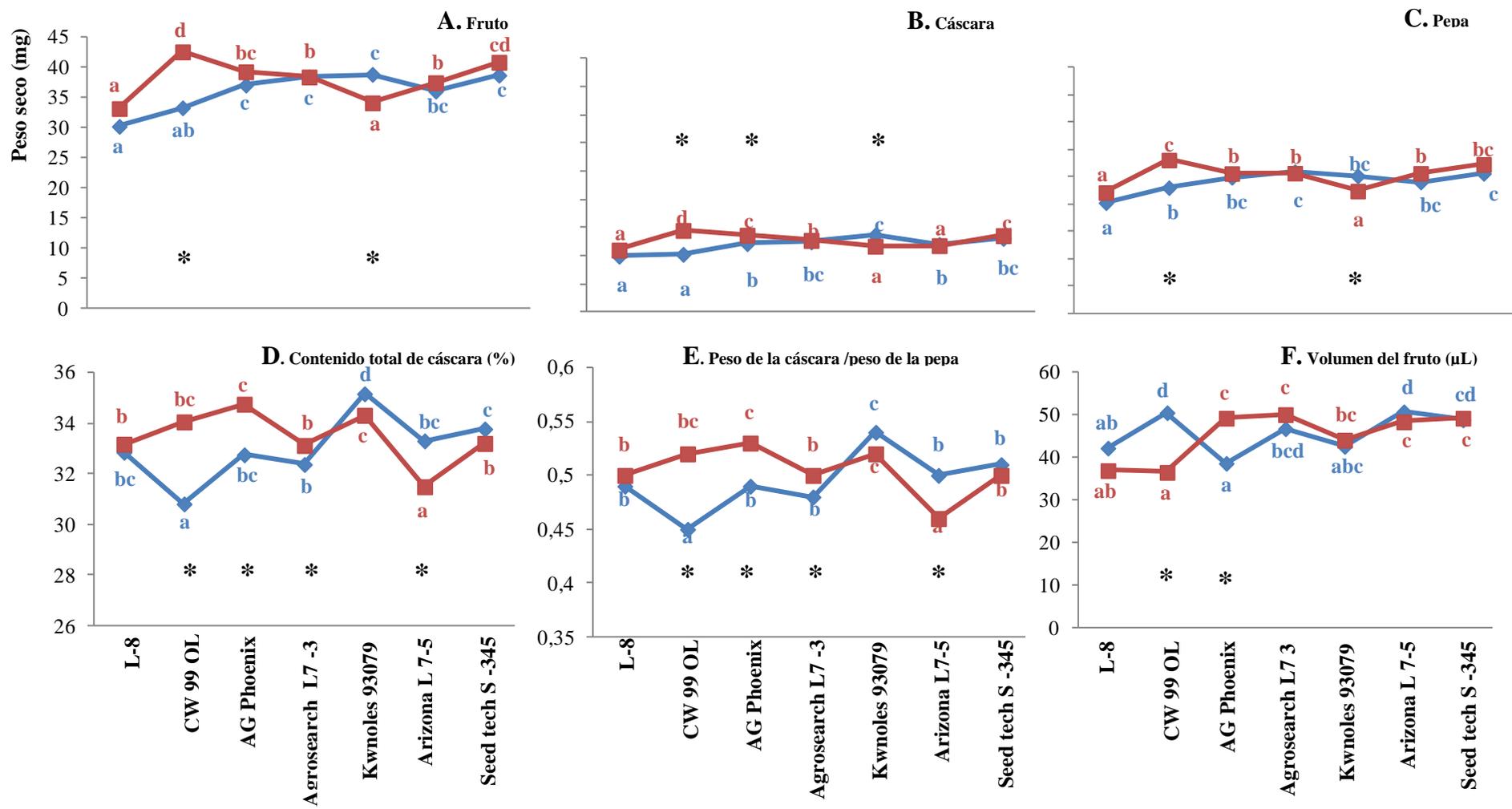


Figura 10. Parámetros físicos de los frutos de 7 variedades de cártamo crecidos durante 2008/2009 (◆) y 2009/2010 (■). EEA - INTA H. Ascasubi. En cada ciclo de crecimiento, letras distintas indican diferencias significativas entre variedades ($p < 0,05$). Para cada variedad, los asteriscos indican diferencias significativas entre ciclos de crecimiento ($p < 0,05$).

3.1.4 Contenido de materia grasa (MG) de las variedades

La MG de las variedades CW 99 OL, Knowles 93079 y Seedtech S-345 fue superior ($p < 0,01$) en el segundo CC (CC x Variedad; Tabla 9 y Figura 11). El porcentaje de MG fue superior al 32%, excepto en L-8 (24,4%) y CW 99 OL (26,7%) en el CC 08/09, y al 41% en el CC 09/10, excepto en L-8 (19,7%) (Figura 11).

Tabla 9. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre el contenido de materia grasa (MG) del fruto de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento (CC). EEA - INTA H. Ascasubi.

Contenido de materia grasa	
	MG
CC	30,92**
Variedad	31,27**
CC×Variedad	7,77**

** $p < 0,01$

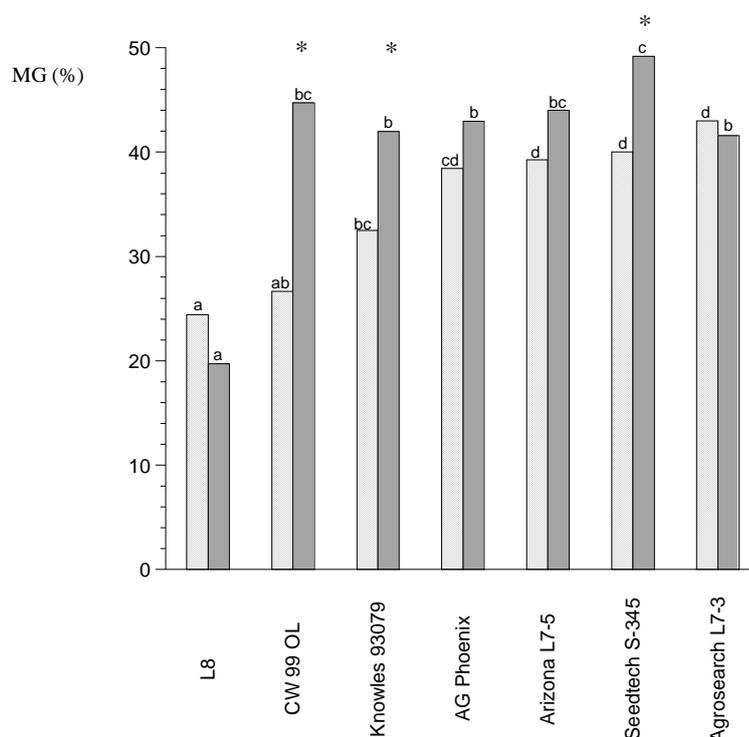


Figura 11. Contenido de materia grasa (MG, %) de frutos enteros de 7 variedades de cártamo durante el primer (☐) y el segundo (■) ciclo de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. Dentro de cada ciclo de crecimiento, barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). Para cada variedad los asteriscos indican diferencias significativas entre ciclos de crecimiento ($p < 0,05$). DMS: 5,53.

3.1.5 Anatomía del pericarpio (cáscara)

La sección transversal del pericarpio de todas las variedades estudiadas presentó: una epidermis externa (Ep), un parénquima externo (PE) formado por 7 a 11 estratos de células, una capa de fitomelanina (fi), luego un parénquima interno (PI) constituido por 3 a 5 estratos de células de paredes gruesas y lignificadas (Figura 12). En el corte transversal del pericarpio de CW 99 OL teñido con fluoroglucinol en medio ácido (Figura 12H) se puede observar que la esclerificación (estratos celulares de color rojo) abarca la totalidad de los estratos del PI y 2-3 estratos del PE.

El ET del pericarpio (179 a 220 μm) no difirió entre CC ni variedades ($p>0,05$; Tabla 10). El NTE (11 a 15 estratos) y el NEPE (7 a 11 estratos) difirieron entre CC en las variedades Arizona L7-5 y L-8, mientras que la esclerificación total del pericarpio (NTEE), que abarcó entre 5 y 10 estratos celulares, fue superior en el segundo CC solamente en Arizona L7-5 y Knowles 93079 (CC x Variedad $p<0,05$; Tabla 10 y 11). Las variedades no difirieron en el NTE ni en NEPE, pero si en el NTEE. Knowles 93079 presentó el máximo NTEE en ambos CC.

El NEEPE fue menor ($p<0,05$) durante el CC 08/09 ($2,19 \pm 1,03$) comparado con el segundo ($3 \pm 1,41$) en todas las variedades. El NEEPE del pericarpio de Knowles 93079 duplicó el de las restantes variedades que no difirieron entre sí (Tabla 12). El PI presentó entre 3 y 5 estratos celulares esclerificados (Tabla 12).

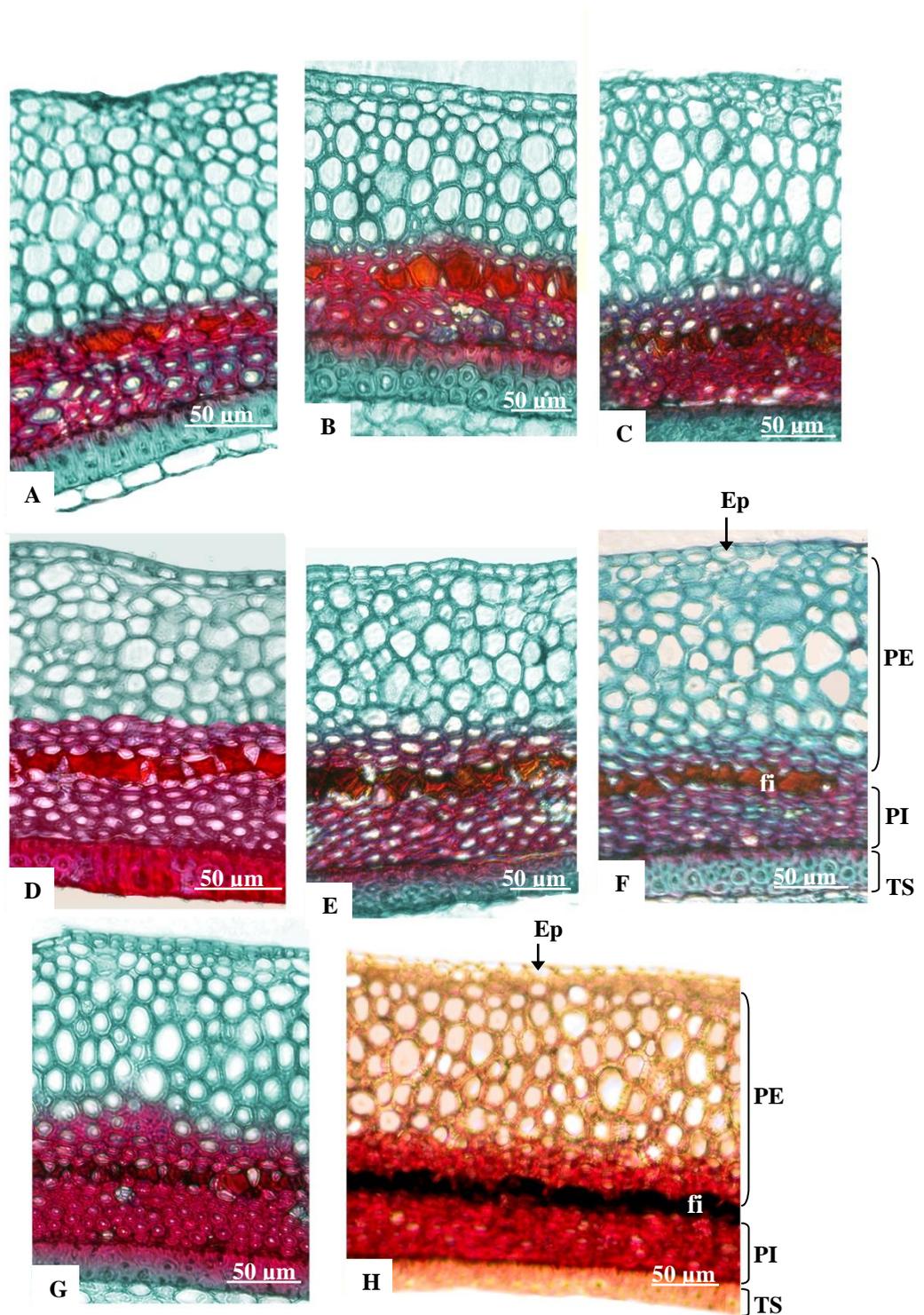


Figura 12. Sección transversal del pericarpio de 7 variedades de cártamo. A-G. Cortes contrastados mediante la coloración diferencial y sucesiva combinada de safranina-fast green. H. corte teñido con fluoroglucinol en medio ácido. A. Arizona L7-5. B. L-8. C. Knowles 93079. D. AG Phoenix E. Agrosearch L7-3. F. Seedtech S-345. G y H. CW 99 OL. Ep: epidermis; fi: capa de fitomelanina; PE: parénquima externo; PI: parénquima interno y TS: tegumento de la semilla.

Tabla 10. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC), variedad y la interacción CC x variedad sobre las variables anatómicas del pericarpio. EEA - INTA H. Ascasubi. ET: espesor total; NEPE y NEPI: número de estratos del parénquima externo e interno, respectivamente; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo; NTE: número total de estratos, NTEE: número total de estratos esclerificados y ES: porcentaje de esclerificación total.

Fuente de variación	Variables anatómicas del pericarpio						
	ET	NTE	NEPE	NEPI	NTEE	NEEPE	ES
CC	1,07ns	12,02*	16,41*	1,23ns	34,57**	13,14*	8,95*
Variedad	0,38ns	1,57ns	0,46ns	3,32*	15,41**	23,59**	8,36**
CC×Variedad	1,62ns	3,28*	2,80*	0,96ns	2,78*	2,34ns	0,66ns

* p<0,05, ** p<0,01 y ns: no significativo

Tabla 11. Variables anatómicas del pericarpio de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento. NEPE: número de estratos del parénquima externo; NTE: número total de estratos y NTEE: número total de estratos esclerificados.

Variedades	NTE		NEPE		NTEE	
	2008/2009	2009/2010	2008/2009	2009/2010	2008/2009	2009/2010
Arizona L7-5	10,67a	15,00a*	7,00a	10,67a*	5,00a	7,67c*
Seedtech S-345	13,00a	12,33a	9,00a	8,33a	6,00ab	6,00a
CW 99 OL	14,00a	14,67a	9,33a	9,33a	6,67b	7,67c
AG Phoenix	13,00a	13,67a	8,67a	9,00a	6,00ab	7,33bc
Knowles 93079	13,67a	13,67a	9,33a	9,67a	8,67c	10,00d*
Agrosearch L7-3	13,00a	13,00a	8,67a	9,00a	6,67b	6,33ab
L-8	11,33a	14,00a*	7,67a	10,00a*	5,33a	6,67abc

Para cada ciclo de crecimiento letras distintas indican diferencias significativas entre variedades (p<0,05). Para cada variedad y parámetro, los asteriscos indican diferencias significativas entre ciclos de crecimiento (p<0,05).

El porcentaje de esclerificación del pericarpio fue mayor durante el CC 09/10 (49,9 vs 53,8%; Tabla 10). La esclerificación total del pericarpio abarcó aproximadamente entre el 47 y 50% de los estratos del mismo en todas las variedades, excepto en Knowles 93079 en que dicho porcentaje fue del 68,6 % (Tabla 12).

Tabla 12. Variables anatómicas del pericarpio en promedio para dos ciclos de crecimiento en 7 variedades de cártamo de la EEA - INTA H. Ascasubi. NEPI: número de estratos del parénquima interno; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo y ES: porcentaje de esclerificación total.

Variedades	Variables anatómicas		
	NEEPE	NEPI	ES
L-8	2,17 a	3,83 a	47,73 a
Seedtech S-345	2,00 a	4,00 ab	47,63 a
Arizona L7-5	2,17 a	4,00 ab	48,97 a
Agrosearch L7-3	2,33 a	4,17 ab	50,21 a
Knowles 93079	5,17 b	4,17 ab	68,58 b
AG Phoenix	2,17 a	4,50 bc	49,91 a
CW 99 OL	2,17 a	5,00 c	50,09 a

Dentro de cada columna, promedios seguidos por distinta letra difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

3.1.6 Composición química de las paredes celulares del pericarpio (cáscara)

La mayor variabilidad en los componentes químicos de la pared celular del pericarpio fue la observada entre CC, excepto en el contenido de Hm (Tabla 13).

Los porcentajes de FDN (85,7% vs 82,3%), FDA (61,8 vs 57,9), C (39,3% vs 37,3) y de LDA (22,5% vs 20,5%) fueron ligeramente superiores en el segundo CC (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC) y variedad sobre las variables de composición química del pericarpio. EEA - INTA H. Ascasubi. FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácido, Hm: hemicelulosa; C: celulosa y LDA: lignina en detergente ácido.

Fuente de variación	FDN	FDA	Hm	C	LDA
CC	69,24**	234,86**	5,69ns	39,49**	165,04**
Variedad	8,93**	10,12**	4,30**	1,80**	13,26**
CC×Variedad	1,20ns	0,73ns	1,74ns	0,73ns	1,99ns

** $p < 0,01$ y ns: no significativo

El contenido de FDN del pericarpio de las distintas variedades osciló entre un 81,5% y 84% excepto en Knowles 93079 y L-8 donde fue ligeramente superior (86%; Figura 13A). El contenido de FDA mostró una tendencia similar (Figura 13B).

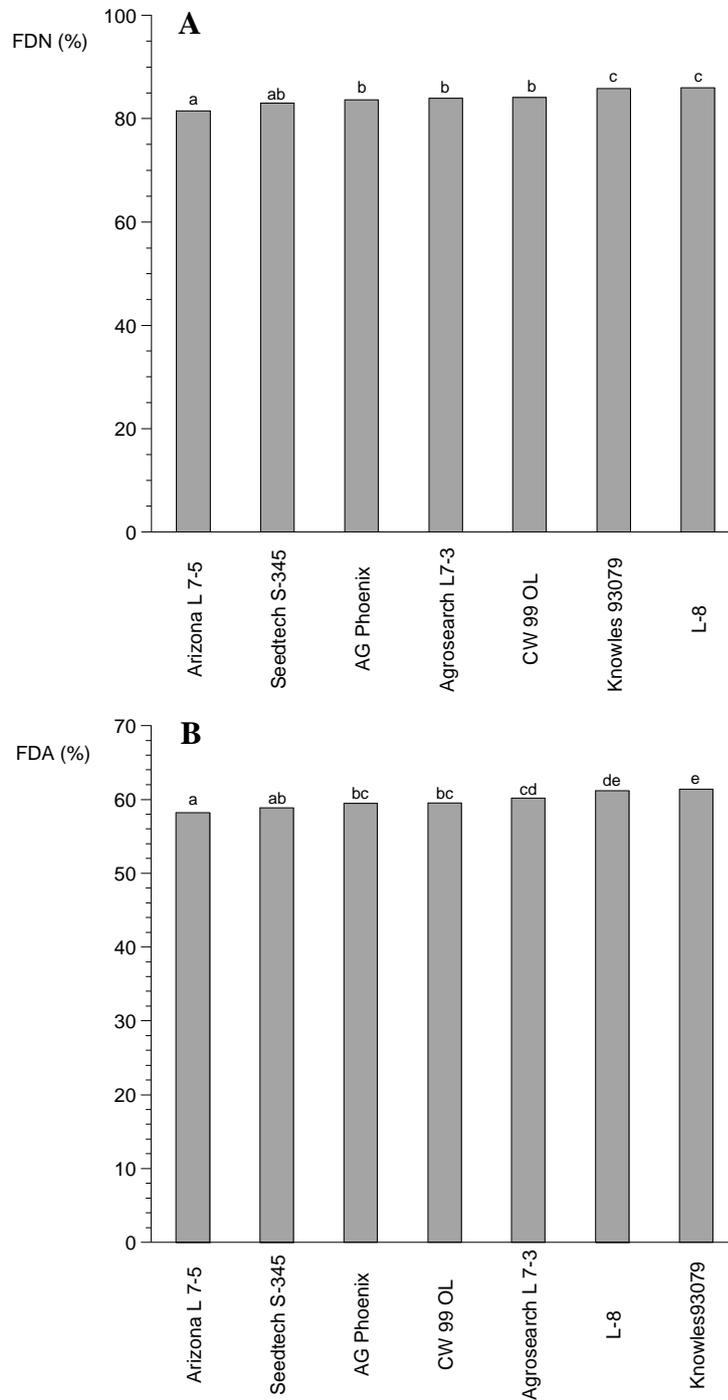


Figura 13. Contenido de **A.** fibra en detergente neutro (FDN%) y **B.** fibra en detergente ácido (FDA%) del pericarpio de 7 variedades de cártamo. EEA - INTA H. ascasubi. Barras coronadas con la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). DMS: 1,54 (FDN); 1,06 (FDA).

Los contenidos de Hm, C y LDA presentaron escasa variabilidad genética (1-2%;

Tabla 14).

Tabla 14. Composición química del pericarpio de 7 variedades de cártamo promediadas sobre dos ciclos de crecimiento (2008/2009 y 2009/2010). EEA – INTA H. ascasubi. Hm: hemicelulosa; C: celulosa y LDA: lignina en detergente ácido.

Variedades	Hm (%)	C (%)	LDA (%)
Arizona L7-5	23,24a	37,20a	21,06a
Agrosearch L7-3	23,74ab	38,81c	21,38ab
Seedtech S-345	24,08bc	37,90ab	20,98a
AG Phoenix	24,18bc	38,57bc	20,92a
Knowles 93079	24,44bc	39,85d	21,57b
CW 99 OL	24,59c	37,11a	22,40c
L-8	24,81c	38,80c	22,37c

Dentro de cada columna, los promedios seguidos por distinta letra difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

3.1.7 Relación de los parámetros del proceso de descascarado con los parámetros físicos del fruto, de calidad de la harina y anatómicos del pericarpio

El incremento en la AD generó una disminución del R ($r = -0,92^{**}$) y un aumento de la producción de finos ($r = 0,82^{**}$; Tabla 15). Como era de esperar, la AD se correlacionó positivamente con la CEM ($r = 0,96^{**}$; Tabla 15).

La AD no se correlacionó con ninguno de los parámetros físicos del fruto analizados (Tabla 15).

La AD y la CEM se correlacionaron positivamente con el incremento en el contenido de PB ($r = 0,75^{**}$ y $r = 0,78^{**}$, respectivamente) pero no con la reducción en el contenido de fibra de la harina de frutos parcialmente descascarados (Tabla 15).

Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson de las variables del proceso de descascarado con los parámetros físicos del fruto y su contenido de materia grasa, la calidad de la harina de frutos descascarados y la composición química y estructura anatómica del pericarpio de 7 variedades de cártamo correspondientes a dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; R: resto; F: producción de material fino; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; LDA: lignina en detergente ácido; ET: espesor total; NEPE y NEPI: número de estratos del parénquima externo e interno, respectivamente.; NEEPE: número de estratos esclerificados del parénquima externo; NTE: número total de estratos y NTEE: número total de estratos esclerificados. ES: porcentaje de esclerificación total.

		AD (%)	CEM (%)	R (%)	F (%)	
Variables del proceso	CEM (%)	0,96**	-	-	-	
	Resto (%)	-0,92**	-0,90**	-	-	
	Finos (%)	0,82**	0,77**	-0,97**	-	
Parámetros físicos del fruto	Peso fruto (mg)	ns	ns	ns	ns	
	Peso cáscara (mg)	ns	ns	ns	ns	
	Peso pepa (mg)	ns	ns	ns	ns	
	Peso cáscara/Peso pepa	ns	ns	ns	ns	
	Contenido total de cáscara (%)	ns	ns	ns	ns	
	Volumen (μL)	ns	ns	ns	ns	
	Materia grasa (%)	ns	ns	ns	ns	
Calidad de la harina	Incremento Proteína Bruta (%)	0,75**	0,78**	-0,77**	0,70**	
	Reducción	FDN (%)	ns	ns	ns	ns
		FDA (%)	ns	ns	ns	ns
		Celulosa (%)	ns	ns	ns	ns
		Hemicelulosa (%)	ns	-0,37*	ns	ns
		LDA (%)	ns	ns	ns	ns
P E R I C A R P O	Paredes celulares	FDN (%)	-0,73**	-0,64**	0,72**	-0,70**
		FDA (%)	-0,79**	-0,69**	0,84**	-0,85**
		Celulosa (%)	-0,58**	-0,44**	0,61*	-0,65**
		Hemicelulosa (%)	ns	ns	ns	ns
		LDA (%)	-0,82**	-0,80**	0,87**	-0,84**
	Estructura anatómica	ET	ns	ns	ns	ns
		NTE	ns	ns	ns	-0,34*
		NEPE	ns	ns	0,33*	-0,34*
		NEPI	ns	ns	ns	ns
		NTEE	ns	ns	ns	-0,34*
		NEEPE	ns	ns	ns	ns
ES (%)	-0,48**	-0,49**	0,37*	ns		

* p<0,05, ** p<0,01 y ns: no significativo

El análisis de correlación también mostró que al incrementarse la proporción de los componentes de la pared celular en el pericarpio disminuía la facilidad con que la cáscara se separaba de la pepa, a la vez que aumentaba la proporción de R y disminuía la producción de F (Tabla 15).

Por último, las características anatómicas del pericarpio no incidirían sobre la AD, a excepción de la esclerificación total (ES) del mismo ($r = -0,48^{**}$; Tabla 15). Además, el porcentaje de frutos sin descascarar aumentaría al incrementarse el NEPE; mientras que la producción de finos aumentaría al disminuir el NTE, NEPE y NTEE (Tabla 15).

El modelo que mejor explicó la variabilidad de la AD de los frutos fue el que incluyó como variable predictiva al contenido de LDA del pericarpio ($R^2 = 74\%$; Tabla 16). Con la incorporación de la variable incremento de la PB (IPB) de la harina este porcentaje de explicación solo se elevó al 76% (Tabla 16).

Tabla 16. Modelos predictivos de la aptitud al descascarado (AD %). LDA: lignina en detergente ácido del pericarpio e IPB: incremento de la proteína bruta de la harina.

Modelo	Datos incluidos en el análisis	Ecuación	n	R ²
1	Composición del pericarpio	$AD (\%) = 195,7 - 6,12 * LDA$	40	0,74**
2	Composición del pericarpio y calidad de la harina	$AD (\%) = 144,6 + 0,28 * IPB - 3,99 * LDA$	37	0,76**

** $p < 0,0001$

En la figura 14 se grafica la relación en la AD y las variables predictivas incluidas en ambos modelos. Las particiones realizadas en dicha figura muestran claramente que las variaciones en los valores de LDA del pericarpio y del IPB de la harina están dadas principalmente por la diferencia entre CC (Figura 14).

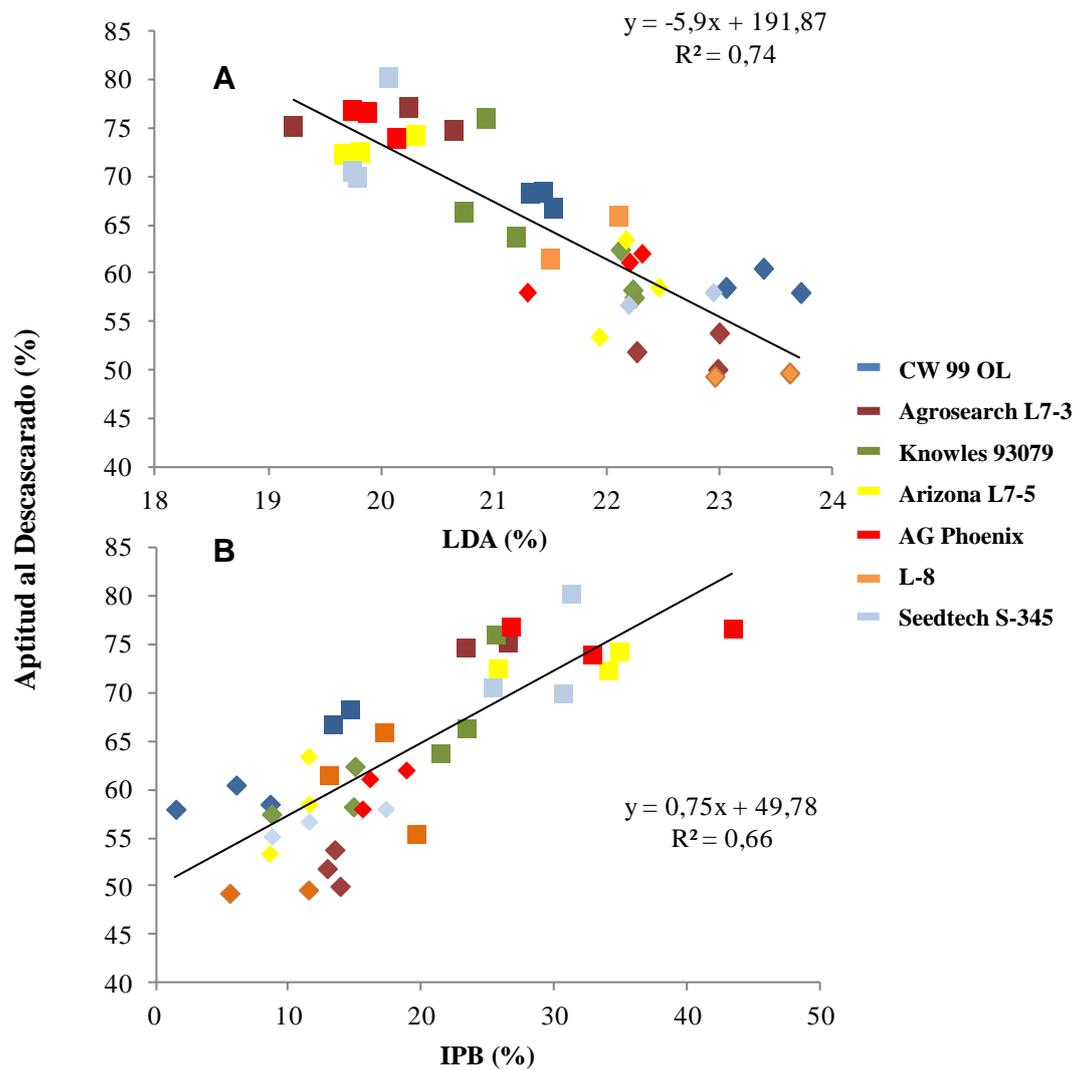


Figura 14. Relación entre la aptitud al descascarado (AD%) y **A.** el contenido de lignina en detergente ácido (LDA%) del pericarpio y **B.** incremento de la proteína bruta de la harina (IPB%) de frutos parcialmente descascarados de 7 variedades de cártamo durante dos ciclos de crecimiento (■ 2008/2009 y ◆ 2009/2010). EEA – INTA H. Ascasubi.

3.2 *Distancia entre surcos y densidad de siembra*

3.2.1 *Datos de rendimiento*

El número de plantas por m² fue similar para las tres distancias entre surcos dentro de cada densidad de siembra (Tabla 17). Por este motivo, la densidad fue la principal fuente de variación del rendimiento y de cada uno de sus componentes (Tabla 18). El efecto del factor distancia entre surcos sobre el rendimiento, y la interacción distancia por densidad observada en la variable plantas por m² fue de baja magnitud (Tabla 18).

Tabla 17. Plantas por m² de la variedad CW 99 OL establecidas bajo dos densidades de siembra y tres distancias entre surcos de plantas. EEA - INTA H Ascasubi.

Densidad (kg ha ⁻¹)	Distancia entre surcos (cm)		
	35	52	70
7,5	16,2 a	15,8 a	11,7 b
22,5	38,1 c	34,9 d	33,5 d

Promedios seguidos por distinta letra son diferentes (p<0,05).

El rendimiento en el distanciamiento de 52 cm (3285,5 kg.ha⁻¹) fue menor (p<0,05) al registrado para las distancias de 70 cm (3591,3 kg.ha⁻¹) y 35 cm (3671 kg.ha⁻¹).

La variable de ajuste del rendimiento fue el número de capítulos y de frutos por unidad de superficie, ya que no se registraron diferencias en el P1000 frutos entre tratamientos (Tabla 19).

Tabla 18. Valores de F del ANDEVA para los efectos ciclo de crecimiento (CC), distancia entre surcos (Dist) y densidad de siembra (D) sobre las variables de rendimiento de la variedad CW 99 OL durante dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H Ascasubi.; C/m² y F/m²: número de capítulos y frutos por metro cuadrado; P1000: peso de mil frutos y MG: materia grasa.

Fuente de variación	Rendimiento kg ha ⁻¹	Variables de Rendimiento				
		Plantas/m ²	C/m ²	F /m ²	P1000 (g)	MG (%)
CC	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns
Dist.	4,8*	33,4**	1,6ns	2,3ns	2,7ns	1,0ns
CC×Dist	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns
D	41,2**	2561**	26,0**	31,6**	2,2 ns	26,6**
CC × D	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns
Dist. x D	1,0ns	5,1*	0,8ns	0,5ns	0,9ns	1,2ns
CC×Dist× D	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,0ns

* p<0,05, ** p<0,01 y ns no significativo

Tabla 19. Componentes del rendimiento de la variedad CW 99 OL para dos densidades de siembra: alta (A) y baja (B) promediados sobre tres distancias de siembra entre surcos (35 cm; 52 cm y 70 cm) y dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. C/m² y F/m²: número de capítulos y frutos por metro cuadrado; P1000: peso del mil frutos y MG: materia grasa

Densidad	Rendimiento kg ha ⁻¹	Variables de Rendimiento			
		C/m ²	F/m ²	P1000 (g)	MG (%)
A	3841,1b	582,2a	14832a	40,6a	45a
B	3190,8a	386,9 b	9777b	41,7a	45,8b

Para cada variable, promedios seguidos por distinta letra son diferentes (p<0,05).

3.2.2 Parámetros del proceso de descascarado

El CC fue la principal fuente de variación en la expresión de la mayoría de los parámetros físicos y del proceso de descascarado de los frutos. Los efectos de la densidad sobre el porcentaje de F y R y las interacciones observadas fueron de baja magnitud (Tabla 20).

Tabla 20. Valores de F del ANDEVA para los efectos del ciclo de crecimiento (CC), la distancia entre surcos (Dist) y la densidad de siembra (D) sobre los parámetros del fruto y del proceso de descascarado de la variedad CW 99 OL correspondientes a dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi. PC: peso seco cáscara; PP: peso seco de la pepa; PF: peso seco del fruto; TC: contenido total de cáscara; C/P: relación peso seco de la cáscara/peso seco de la pepa; AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; F: producción de finos y R: resto.

	Parámetros del Fruto					Variables del Proceso			
	PC	PP	PF	TC	C/P	AD	CEM	F	R
CC	24,3**	0,4ns	2,4ns	580,6**	571,9**	74,5**	30,1**	136,3**	146,65**
Dist	2,1ns	0,2ns	0,8ns	1,8ns	1,7ns	3,3ns	1,4ns	2,2ns	0,2ns
CC×Dist	1,6ns	2,0ns	2,4ns	0,5ns	0,4ns	0,8ns	1,1ns	2,3ns	0,9ns
D	0,2ns	0,3ns	0,3ns	0,1ns	0,1ns	1,3ns	1,8ns	5,3*	6,6*
CC × D	0,01ns	6,5*	1,5ns	4,0ns	3,8ns	0,1ns	0,4ns	0,4ns	0,003ns
Dist x D	1,8ns	1,8ns	1,1ns	4,7*	4,6*	1,0ns	0,1ns	0,6ns	0,5ns
CC×Dist×D	0,7ns	1,6ns	0,7ns	2,1ns	1,9ns	1,7ns	0,5ns	0,3ns	0,03ns

* p<0,05, ** p<0,01 y ns no significativo

La relación C/P y el TC del fruto fueron superiores en el segundo CC del cultivo, debido a que el PC (Tabla 21) se incrementó, mientras que el PP se mantuvo constante entre CC, excepto en la densidad de siembra alta en el que fue ligeramente superior en el primer CC (CC x D; p<0,05; Tablas 20 y 21).

La AD y la CEM disminuyeron en el CC 09/10, lo que se vio reflejado en un aumento del R del 16% en dicho CC (Tabla 21). La producción de finos se redujo en un 50% en el segundo CC. El F producido fue ligeramente superior (12,8% y 12,2%) en los frutos provenientes de las plantas sembradas a alta densidad (33,5 a 38,1 pl/m²) con respecto a aquellas sembradas a baja densidad (11,7 a 16,2 pl/m²; Tablas 17 y 20). Lo inverso ocurrió con el R, que fue de 28,7 y 30,2% para la alta y baja densidad de siembra respectivamente (Tabla 20).

Tabla 21. Parámetros físicos de los frutos y del proceso de descascarado evaluados durante dos ciclos de crecimiento en frutos de la variedad CW 99 OL. EEA - INTA H. Ascasubi. PC: peso de la cáscara (PC) y de la pepa (PP); Densidad de siembra alta (DA) y baja (DB); C/P: relación peso de la cáscara/peso de la pepa; TC: contenido total de cáscara; AD: aptitud al descascarado; CEM: cáscara extraída mecánicamente; F: producción de material fino y R: resto.

		Ciclo de crecimiento		
		2008-2009	2009-2010	
Parámetros físicos de los frutos	PC (mg)	13,6 a	14,9 b	
	PP (mg)	DA	28,9 a	28,1 b
		DB	28,2 a	28,5 ab
	C/P	0,48 a	0,53 b	
	TC (%)	32,3 a	34,5 b	
Variables del proceso	AD (%)	70,0 a	60,3 b	
	CEM (%)	22,6 a	20,8 b	
	F (%)	16,9 a	8,0 b	
	R (%)	21,3 a	37,6 b	

Dentro de cada fila, los promedios seguidos por distinta letra difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

La relación de C/P y el TC no variaron entre densidades de siembra para las distancias entre surcos de 35 y 52 y fueron ligeramente mayores a alta densidad de siembra para la distancia de 70 cm entre surcos (Dist x D; $p < 0,05$; Tabla 22).

Tabla 22. Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra sobre la relación peso de cáscara/peso de pepa (C/P) y el contenido total de cáscara (TC, %) de los frutos de la variedad CW 99 OL promediados sobre dos ciclos de crecimiento. EEA - INTA H. Ascasubi.

Distancia entre surcos	Densidad de siembra	Stand plantas (pl/m²)	C/P	TC (%)
35 m	Baja	16,2 a	0,51 ab	33,61 ab
	Alta	38,1 d	0,50 a	33,09 a
52 cm	Baja	15,8 a	0,50 a	33,28 a
	Alta	34,9 c	0,49 a	32,94 a
70 cm	Baja	11,7 b	0,50 a	33,24 a
	Alta	33,5 c	0,52 b	34,28 b

Dentro de cada columna, promedios seguidos por distinta letra difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

4.1 *Ensayo de variedades*

Existen evidencias previas de pruebas de descascarado de frutos de cártamo (Baümler, 2002), pero dichas pruebas fueron realizadas sobre muestras que contenían frutos de distintas variedades. Los resultados aquí presentados constituyen la primera referencia de pruebas de descascarado en distintas variedades de cártamo y de estudios que analizan cómo inciden los parámetros morfológicos del fruto, así como de la estructura anatómica y composición química del pericarpio sobre la determinación de la AD y la calidad de la harina de cártamo. Esta información resulta de suma importancia para el sector oleaginoso de nuestro país, como así también para los fitomejoradores interesados en la difusión de este cultivo debido a su mayor resistencia a la sequía y a la excelente calidad de su aceite.

Los parámetros del proceso de descascarado que se han analizado en este trabajo de tesis tales como AD, CEM, F y R presentaron escasa variabilidad genética, siendo el CC la principal fuente de variación de dichos parámetros (Tabla 2). Las diferencias en la AD entre CC estuvo asociada a diferencias en la cantidad de CEM y de F producidos (Figuras 6B y 7A), pero no con el contenido de humedad de los frutos al momento de ser descascarados (Tabla 8).

Al momento de cosecha, la humedad de los frutos de todas las variedades oscilaba entre un 10-13%, pero las muestras ingresaron al laboratorio con un contenido hídrico significativamente menor (aproximadamente 6%). En cártamo, al igual de lo que ocurre en girasol, el pericarpio es la parte del fruto que más contribuye a la dinámica de humedad del mismo (Rondanini *et al.*, 2009; Lindström *et al.*, 2013). La ubicación

periférica de las células parenquimáticas (células teñidas de color celeste en la Figura 12A-G), donde se localiza el agua presente en el pericarpio, favorecería la rápida pérdida de humedad del mismo luego de su cosecha. Las células esclerificadas carecen de citoplasma y la lignina que impregna sus paredes celulares ha reemplazado el agua de las mismas (Evert, 2006). En una mezcla de variedades de cártamo alto linoleico, Bäumlér (2002) estableció una relación curvilínea exponencial entre la AD y la producción de finos con el contenido de humedad de los frutos al momento de ser descascarados (Figura 15). Esta autora determinó que al reducirse el contenido hídrico de los frutos de cártamo se incrementaría la AD (Figura 15A) y, al mismo tiempo, la producción de material fino (Figura 15B). Esta última fracción comprende principalmente partículas de pepa menores a dos mm que son aspiradas junto con las cáscaras, lo que genera pérdidas de material lipídico (Nel, 2001). Bäumlér (2002), determinó una AD del 25% y una producción de finos del 7% al descascarar muestras con un 5% de humedad (Figura 15). Un aumento de 3 puntos en la humedad de los frutos se tradujo en una AD del 10% y una producción de F del 2% (Figura 15). En este trabajo, el contenido de humedad de los frutos de cártamo fue similar entre CC (aproximadamente 6%; Tabla 8). Sin embargo, la producción de F se redujo a la mitad en el CC 09/10 (7% a 10,6%) con respecto al primer CC (17% a 23%), mientras que la AD fue entre un 15 % a 49 % superior en el primer CC (Figuras 6A y 7A).

A su vez, como mencionamos anteriormente para el modelo de Bäumlér (2002; Figura 15), una humedad del fruto del 5-6% se correspondería con un valor de AD aproximadamente del 20-25% (Figura 15), es decir, menor a lo hallado en esta tesis. Estos resultados indicarían claramente que existen otras características del fruto, además de su contenido de humedad que inciden sobre el establecimiento de la relación AD y la producción de F.

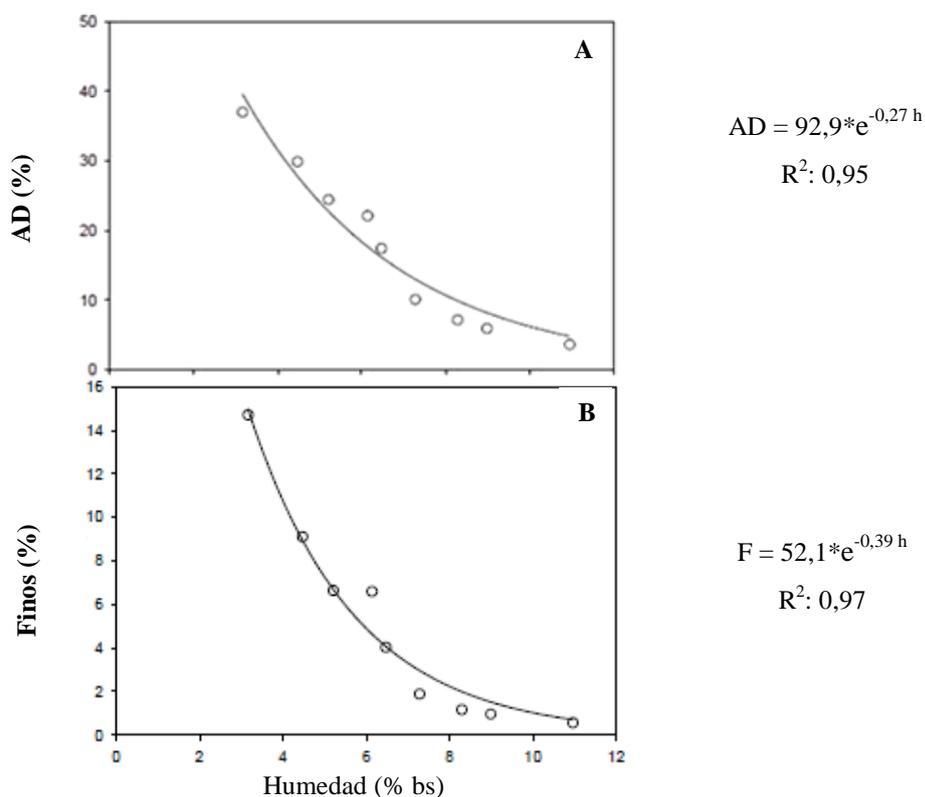


Figura 15. Relación entre la aptitud al descascarado (AD, %) y la producción de material fino (F, %) con la humedad en base seca (%bs) de frutos de cártamo (Adaptado de Baumler, 2002).

De Figueiredo *et al.* (2013) trabajando con 4 de las variedades aquí analizadas, determinaron la combinación óptima entre el contenido de humedad del grano y la velocidad de impacto que maximice la cantidad de cáscara obtenida con un porcentaje de finos no mayor al 2%. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas podrían obtenerse con una velocidad periférica de 40,5 m/s y un contenido de humedad del fruto en el rango de 8,4-8,9% en base seca. Empleando los modelos propuestos por de Figueiredo (2013), pero teniendo en cuenta que en esta tesis se trabajó con una velocidad periférica de 34,6 m/s y una humedad del 6%, los valores estimados de AD oscilarían entre un 33 a 47%, es decir menores a los calculados experimentalmente (Figura 6A).

Las condiciones bajo las cuales se produce el desarrollo del cultivo también podrían incidir sobre la AD de los frutos de cártamo. Lindström *et al.* (2010) observaron que una mayor disponibilidad de agua durante el desarrollo del cultivo de cártamo redujo la AD de sus frutos. En la variedad CW 99 OL, la AD de los frutos de plantas desarrolladas con un riego presiembra y la napa freática a 1,2 m de profundidad fue menor (68%) con respecto a la de frutos de un cultivo desarrollado bajo condiciones de secano (74%); a pesar de que el contenido humedad de los frutos al momento de ser descascarados fue similar (Lindström *et al.*, 2010). De manera semejante, el estrés hídrico durante la maduración del fruto aumentó la AD a la vez que disminuyó el porcentaje de aceite de los frutos y el rendimiento en girasol (Denis, 1994). En general, los frutos de girasol provenientes de localidades de climas secos maduran más rápidamente y tienden a presentar una mayor AD que los provenientes de localidades más húmedas (Nel, 2001). En esta tesis, las precipitaciones registradas en el segundo CC durante el desarrollo reproductivo del cultivo (noviembre a enero) superaron en más de un 100% a las registradas en el primer CC (Figura 5). Además, durante el mes de enero, que es cuando se produce la maduración del fruto, se registraron 55 mm durante el segundo CC y solo 5 durante el primer CC (Figura 5). Esto podría estar relacionado con las diferencias observadas entre CC en la AD de los frutos.

El descascarado de los frutos de cártamo generó disminuciones en el contenido de fibra de la harina obtenida de los mismos (Figura 8). Dentro de los componentes de la pared celular redujo tanto la hemicelulosa como la celulosa, alcanzando dichas reducciones un máximo del 36% y 62%, respectivamente (Tablas 4 y 5). Sin embargo no se observaron diferencias significativas en el contenido de lignina entre la harina de frutos descascarados y enteros (Tabla 5). Si bien, la cantidad de lignina puede ser el factor clave que limite la degradación de la pared celular, dado que es un componente

indigestible (Martínez, 2010), la organización de la matriz de la pared en la cual se encuentra la lignina (enlaces lignina-polisacáridos), puede regular el grado de su influencia sobre la degradación de los polisacáridos de la pared (Orduña *et al.*, 2002). En este sentido, Fernandez (2013) observó un aumento en la digestibilidad de la materia seca de la harina de cártamo de variedades alto oleico luego del descascarado de los frutos (D: 46,4% vs. E: 42,7%), a pesar de no registrarse disminuciones en el contenido de LDA de la harina.

El descascarado parcial de los frutos mejoró sustancialmente el contenido proteico de la harina, incrementando un 95% y 24% la PB en el primer y segundo CC, respectivamente (Figura 9A y B). Esto indica, que si bien el 31% de fibra que presentaría la harina de frutos parcialmente descascarados supera al valor informado para girasol que es del 18%, el contenido proteico promedio de la harina de cártamo que fue del $45\% \pm 9,4$ le permitiría competir con la harina de girasol que presenta un 33 a 35% de proteína (Aguirrezábal *et al.*, 1996). La harina obtenida a partir de frutos de cártamo descascarados es considerada un suplemento proteico de alta calidad, similar a la harina de canola pero con más proteína y energía. Además, si bien la información es limitada, se indica que dicha harina es alta en proteína by pass ruminal, lo que la convierte en una buena alternativa para la suplementación proteica de vacas lecheras (Alobeid *et al.*, 2010).

Por otro lado, es importante destacar que el porcentaje TC de todos los genotipos evaluados en esta tesis (Figura 10D) fueron más bajos que los informados por diversos autores (Kohler *et al.*, 1966; Applewhite *et al.*, 1966; Işığigürel *et al.*, 1995). La utilización de variedades con bajos TC, independientemente de su AD, generaría harinas de mayor valor nutricional (menor contenido de fibra) con la consiguiente mejora en su valorización económica.

El contenido de materia grasa de las variedades osciló entre 32% y 49% excepto para la variedad L-8 y CW 99 OL en el primer CC (Figura 11). Estos valores fueron superiores a los encontrados en genotipos de cártamo de diferentes regiones geográficas de Irán (Sabzalian *et al.*, 2008) y de Turquía (Işığigürel *et al.*, 1995). Para granos oleaginosos, el contenido de aceite es una variable de gran relevancia por su impacto directo sobre la comercialización. En nuestro país, las bases estatutarias para la comercialización del cártamo establecen bonificaciones del 2% por cada punto de aumento en el contenido de materia grasa por encima del 33%. Como se mencionó anteriormente, el contenido de MG de los frutos de la mayoría de las variedades superó ampliamente el 33% que establece la norma (Figura 11).

El contenido de cáscara residual luego del descascarado de los frutos osciló entre un 17 y 22%. Con el fin de facilitar el contacto del solvente con el material, se requiere que el lecho de extracción de aceite presente una porosidad adecuada. En girasol se recomiendan que los valores de cáscara residual oscilen entre un 10% y 12% (Tranchino 1984). El descascarado no permitió que los porcentajes de cáscara residual en la harina de extracción de cártamo llegaran a ser los mencionados como adecuados para girasol. Por otro lado, en este trabajo no se evaluó la pérdida de material lipídico que significa la elevada producción de material fino que se produjo durante el proceso de descascarado en ambos CC (Figura 7A).

El TC ha sido mencionado como indicador de diferencias entre genotipos en la AD de los frutos de girasol (Denis *et al.*, 1996; Nel, 2001; Ricobbene *et al.*, 2007). En dicho cultivo, el signo y la magnitud de la correlación entre ambos parámetros dependerían del rango de variación en el TC de los frutos de los genotipos que se están evaluando. Así por ejemplo, Ricobbene *et al.* (2007) determinaron un coeficiente de correlación entre la AD y el TC de 0,74** para rangos de variación en el TC de 20% a

35%, mientras Dedio (1982) halló una correlación negativa ($r = -0,42^{**}$) cuando el TC oscilaba entre un 21,6 y 28,2%. La AD de los frutos de las variedades de cártamo analizadas en esta tesis no se correlacionó con el TC de los mismos (Tabla 15), probablemente porque las variaciones en el TC entre variedades y CC no superó el 4,4% (32 a 35%; Figura 10D).

Las diferencias en el contenido TC o en la relación C/P entre CC observada en algunas variedades no estuvieron asociadas a diferencias, en el mismo sentido, en la AD de sus frutos. Así por ejemplo, el contenido TC y la relación C/P fueron mayores en CW 99 OL, AG Phoenix y Agresearch L7-3 y menores en Knowles 93079 en el segundo CC (Figura 10D y E). Sin embargo la AD de todas las variedades fue mayor en el primer CC (Figura 6A).

Algunos autores sugieren que el peso o volumen de los frutos de girasol influye en la facilidad con que la cáscara se separa de la pepa. Es decir, los frutos grandes descascararían más fácil que los pequeños (Roath *et al.*, 1985; Dedio y Dorrell, 1989; Merrien *et al.*, 1992). Lindström (2012) encontró que esta correlación se mantenía solo en frutos de girasol cuyos pericarpios presentaban una estructura anatómica similar ($r = 0,80^{**}$). Al aplicar a las mismas plantas un sombreado de preantesis y otro de post antesis se originaron dos tipos de frutos: unos de menor volumen, cuyo pericarpio presentaba paredes celulares gruesas y esclerificadas, y otros de mayor volumen cuyo pericarpio presentaba paredes celulares delgadas y poco esclerificadas. En este caso, la AD de los frutos de menor volumen fue superior a los de mayor volumen. En esta tesis, el volumen de los frutos de cártamo, que osciló entre 36,5 μL y 50,7 μL , no se correlacionó con la AD de los mismos ($r = \text{ns}$; Tabla 15). El volumen del fruto solo difirió entre CC en CW 99 OL y AG Phoenix (CC x Variedad; $p > 0,05$) siendo mayor en CW 99 OL (50,52 μL) y menor en AG Phoenix (38,63 μL) en el primer CC (Figura

10F). Sin embargo, la AD de los frutos de todas las variedades fue superior en el primer CC respecto al segundo (Figura 6A).

Si bien, algunas de las diferencias observadas entre variedades y CC en las variables anatómicas del pericarpio de cártamo fueron significativas (Tablas 10), ninguna de ellas se correlacionó con la AD de los frutos a excepción del porcentaje de esclerificación total del mismo (ES; Tabla 15). En girasol (Morrison III *et al.*, 1981; Dedio, 1982; Denis *et al.*, 1994) y cártamo (Urie y Zimmer, 1970), la selección a favor de una mayor concentración de aceite, principal enfoque de los programas de mejoramiento, generó frutos más pequeños con cáscaras delgadas y adheridas a la semilla. Leprince-Bernard (1990) observaron que al aumentar el espesor, la esclerificación y disminuir el volumen del parénquima interno del pericarpio de frutos de girasol aumentaba la AD. En esta misma especie, Lindström *et al.* (2006b) encontraron que al disminuir el peso del pericarpio, como consecuencia de un menor grosor de las paredes celulares, disminuía la rigidez del mismo y, consecuentemente, la AD de los frutos. En contraste con lo hallado por estos autores, la AD de los frutos de cártamo aumentaría al reducirse la esclerificación y la proporción de los componentes de la pared celular del pericarpio (Tabla 15).

En las variedades primitivas de cártamo, el pericarpio se encontraba completamente esclerificado, lo que le confería mayor dureza (Ebert y Knowles, 1968). El mejoramiento genético a favor del contenido y la calidad del aceite resultó en una disminución de la esclerificación desde la periferia hacia el interior del mismo (Ebert y Knowles, 1968; Urie y Zimmer, 1970). Es decir, la disposición de los tejidos parenquimáticos y esclerenquimáticos del pericarpio de variedades de cártamo productoras de aceite (Flemmer *et al.*, 2011) sería inversa a la de los híbridos actuales de girasol (Lindström *et al.*, 2000b). Los resultados obtenidos del análisis de la harina

de frutos parcialmente descascarados indican que el descascarado habría eliminado principalmente los estratos celulares sin esclerificar del parénquima externo del pericarpio (Tablas 3 a 5 y Figura 8), dejando adheridos a la pepa los estratos internos fuertemente lignificados (Figura 12). Así por ejemplo la variedad AG Phoenix presentó la mejor AD (Figura 6A) y un menor contenido de fibra en la harina (Figura 8), lo que estuvo asociado a un menor contenido de lignina en el pericarpio del fruto entero (Tabla 14). Por el contrario, L-8 la variedad de menor AD presentó el mayor contenido de fibra en la harina y de lignina en el pericarpio del fruto entero (Figuras 6A y 8; Tabla 14).

Las células de los tejidos vegetales poseen paredes celulares primarias formadas por aproximadamente 25% de celulosa, 25% de hemicelulosa, 35% de pectinas y entre 1 y 8% de proteínas estructurales. Esta pared primaria también contiene entre un 75 y 80% de agua, localizada principalmente en la matriz de hemicelulosas y pectinas. Cuando cesa la expansión celular, algunas células depositan paredes secundarias, que suelen estar impregnadas de lignina (Evert, 2006). A medida que la lignina se sintetiza desplaza el agua presente en la matriz de la pared y forma una red hidrofóbica que se enlaza fuertemente a la celulosa y evita la ulterior expansión de la misma. La lignina es un polímero fenólico con un patrón complejo de uniones entre sus unidades que refuerza mecánicamente a las paredes celulares, confiriéndole rigidez y resistencia a su estructura (Evert, 2006). En el pericarpio de cártamo, el tejido parenquimático externo está formado por paredes celulares primarias delgadas. En ellas, las microfibrillas de celulosa embebidas en la matriz altamente hidratada, le confieren a la estructura fuerza y flexibilidad al mismo tiempo. Durante el secado del fruto, el agua que se encuentra principalmente en este parénquima externo del pericarpio (Lindström *et al.*, 2013), se redujo desde un 34,2% (madurez fisiológica) hasta un 5% al momento del procesamiento de los frutos, lo que contribuyó a aumentar considerablemente la

fragilidad de este tejido. Por otro lado, las células del tejido esclerenquimático interno de disposición compacta y de paredes gruesas (Figura 12) presentan módulos de elasticidad y tensiones de ruptura significativamente mayores que la del tejido parenquimático (Niklas, 1993; Hernández y Bellés 1997). Esto habría generado fuerzas de corte en la zona de unión de estos tejidos del pericarpio, produciendo el desprendimiento de gran parte del parénquima externo. La reducción de los contenidos de celulosa y hemicelulosa en la harina y la no modificación en el contenido de lignina (Tablas 4 y 5), confirmaría esta hipótesis.

La reducción en el grosor y esclerificación de las paredes celulares y del espacio interno existente entre el pericarpio y la semilla, observada en los híbridos de girasol productores de aceite, incidió negativamente sobre la AD al disminuir la rigidez del tejido esclerenquimático, ubicado debajo de la hipodermis (Lindström 2012; Denis *et al.*, 1994; Aguirrezábal y Pereyra 1998). En cártamo la disposición de los tejidos parenquimáticos y esclerenquimáticos del pericarpio (Flemmer *et al.*, 2011) es inversa a la de los híbridos de girasol (Lindström *et al.*, 2000b) y como ya se mencionó anteriormente la proporción de tejido esclerenquimático que se separa durante el descascarado no sería significativa. Si bien una mejora en la AD de los frutos de cártamo reduce el contenido total de FDN de la harina, no disminuye el contenido de lignina que es la porción indigestible de la fibra y, por lo tanto, un importante indicador de la calidad de la misma. Parecería ser entonces que una herramienta para mejorar los parámetros de calidad de esta harina sería el mejoramiento a favor de un mayor contenido graso, ya que la selección a favor de este carácter estaría asociada a una reducción en la esclerificación del pericarpio.

4.2 *Ensayo de distancia entre surcos y densidad de siembra*

La radiación lumínica que incide sobre el cultivo a lo largo de su ciclo depende tanto de factores climáticos, que escapan a nuestro control, como de la estructura del propio cultivo.

A través de diferentes prácticas de manejo puede modificarse la superficie foliar y su arquitectura. Es así, que variaciones en la cantidad de plantas por unidad de superficie modifican la cantidad de energía lumínica que el cultivo intercepta durante su desarrollo y, específicamente, la que intercepta durante etapas fenológicas claves para la formación de los componentes del rendimiento (Aguirrezabal *et al.*, 1996).

Aumentos en la densidad de plantas de girasol redujeron el VF y su AD (Nel, 2001). En cártamo, Zarei *et al.* (2011) observaron que aumentos en la densidad de plantas (de 10 a 40 pl/m²) produjo variaciones significativas en el peso de los frutos, registrándose los mayores valores para el peso individual del fruto en la densidad de 10 pl/m².

Por el contrario, los resultados aquí informados indican que, si bien se pudieron observar algunas variaciones en el rendimiento del cultivo de la variedad CW 99 OL (como consecuencia de las 4 densidades de plantas establecidas en el cultivo; Tabla 17) la plasticidad fenotípica de esta especie permitió compensar el rendimiento a través del número de ramificaciones, capítulos y frutos por planta, manteniendo estable el peso de los frutos (Tabla 19) y, consecuentemente, su rendimiento industrial (Tabla 20).

Los resultados de este ensayo también muestran que en el CC 09/10 hubo un mayor PC y TC de los frutos, mientras que la AD se redujo. El PC de los frutos secos está representado, fundamentalmente, por los carbohidratos estructurales presentes en sus paredes secundarias (Kephart y Buxton, 1993). Por lo tanto es probable que el mayor PC se deba a un aumento en el espesor de las paredes celulares secundarias del

tejido esclerenquimático, ya que en el ensayo de variedades, que incluía a CW 99 OL, el ET del pericarpio no varió entre CC ni entre variedades (Tabla 10) y el contenido de C y LDA del pericarpio fue superior en el CC 09/10 (Tabla 13). Como se mencionara anteriormente, la disposición del tejido esclerenquimático en el pericarpio de los frutos de cártamo es interna y el descascarado de los frutos elimina la porción periférica del pericarpio compuesta por tejido parenquimático, es decir su parte más liviana. Esto explicaría la disminución en la cantidad de CEM, lo que junto a un mayor TC se tradujo en una menor AD en el segundo CC (Tabla 21).

CONCLUSIONES DE LA TESIS

A continuación se presentan las principales conclusiones que emergen de los resultados obtenidos en esta tesis en relación a los objetivos e hipótesis planteadas:

Objetivo 1

Evaluar la AD de los frutos de diferentes variedades de cártamo cultivadas en Argentina.

Hipótesis asociada al objetivo 1

Existe variabilidad genética en la AD de los frutos de las variedades de cártamo productoras de aceite.

En base a los resultados obtenidos en esta tesis se acepta la hipótesis asociada al objetivo 1 y se extraen las siguientes conclusiones:

Los resultados de este trabajo confirman que existe escasa variabilidad genética en la AD entre las variedades productoras de aceite utilizadas en nuestro país.

Los valores de AD aquí presentados fueron superiores a los obtenidos por Bäumlér (2002), como así también lo fue la producción de material fino. Si bien la humedad de los frutos con la que se trabajó en esta tesis difirió de la utilizada por dicha autora, no se encontró una clara relación entre este parámetro y la AD.

Objetivo 2

Analizar la calidad de la harina de cártamo obtenida de frutos descascarados y sin descascarar.

Hipótesis asociada al objetivo 2

El descascarado de los frutos, previo a la extracción de aceite, mejora la calidad de la harina resultante.

En base a los resultados obtenidos en esta tesis se acepta la hipótesis asociada al objetivo 2 y se extraen las siguientes conclusiones:

El descascarado de los frutos generó incrementos importantes en el contenido de proteína y disminuciones en el contenido de fibra (hemicelulosa y celulosa) de la harina de todas las variedades de cártamo. Sin embargo, no hubo variaciones en el contenido de lignina de la harina que es la porción de la pared celular prácticamente indigestible para los rumiantes y, por lo tanto, la que deprecia en mayor medida el valor final de este subproducto. La disposición interna y en íntimo contacto con la semilla del tejido esclerenquimático del pericarpio de cártamo haría que dicho tejido no se desprenda durante el descascarado de los frutos.

Si bien es clara la mejora de la calidad de la harina de cártamo luego del descascarado parcial de los frutos, el incremento en su valor nutricional debido a la insuficiente reducción en el contenido de fibra no le permitiría competir con la harina de girasol como suplemento animal. Por el contrario, el contenido de proteína de la harina de cártamo supera ampliamente al de la harina de girasol. Por lo tanto, sería necesario evaluar si el beneficio del descascarado de los frutos de cártamo compensa los costos de este proceso industrial, o si la mejora en la calidad de sus frutos (mayor contenido de materia grasa y de proteína y menor contenido de fibra en la harina) debería lograrse seleccionando a favor de estos parámetros en frutos enteros y no del aumento de la AD de sus frutos.

Objetivo 3

Evaluar las características morfológicas de los frutos y la estructura anatómica y la composición química del pericarpio.

Hipótesis asociada al objetivo 3

Las diferencias de la AD entre las distintas variedades de cártamo están relacionadas con variaciones en la morfología del fruto y/o estructura anatómica y composición del pericarpio.

En base a los resultados obtenidos en esta tesis se acepta la hipótesis asociada al objetivo 3 y se extraen las siguientes conclusiones:

Si bien se observaron algunas diferencias entre variedades o CC en los parámetros físicos del fruto analizados, los mismos no se correlacionaron con la variabilidad observada en la AD de los frutos. La AD se correlacionó negativamente con los porcentajes de ES ($r=-0,48^{**}$), de FDN ($r=-0,73^{**}$), C ($r=-0,58^{**}$) y LDA ($r=-0,82^{**}$) del pericarpio. Es decir, que los frutos con pericarpios más esclerificados presentarían una menor AD, resultado que nos conduce a plantear una nueva hipótesis:

El mejoramiento genético a favor del contenido de aceite que resulta en una disminución de la esclerificación del pericarpio desde la periferia hacia el interior del mismo, estaría asociada a un incremento en la AD de los frutos y sería el medio más adecuado para mejorar la calidad de la harina de cártamo.

Objetivo 4

Analizar el efecto de distintas distancias entre surcos y densidades de siembra sobre la AD de los frutos de la variedad CW 99 OL.

Hipótesis asociada al objetivo 4

Cambios en el peso del fruto inducidos por variaciones en la densidad de plantas en el cultivo modifican la AD de los mismos.

Los resultados obtenidos en esta tesis no permitieron verificar la hipótesis asociada al objetivo 4 y se extraen las siguientes conclusiones:

Si bien se pudieron observar algunas variaciones en el rendimiento del cultivo (Kg.ha^{-1}), debido a variaciones en la densidad de siembra, la plasticidad fenotípica de esta especie fue capaz de compensar el rendimiento a través del número de ramificaciones, capítulos y frutos por planta, manteniendo estable el peso de los frutos y, consecuentemente, su AD.

ASPECTOS NO RESUELTOS Y PERSPECTIVAS

La humedad de los frutos con la que se trabajó en esta tesis fue menor a la recomendada por de Figueiredo *et al.* (2013) para maximizar la AD y al mismo tiempo minimizar la producción de F. Dado que en el transcurso de la experiencia se observó una rápida pérdida de humedad de los frutos durante su almacenamiento, sería primordial la determinación de la humedad al momento de su cosecha evitando, mediante un manejo adecuado, el excesivo secado de los mismos en etapas subsiguientes y las consecuencias negativas que esto genera durante su procesamiento (aumento de producción de material fino y pérdida en el rendimiento de aceite).

Flemmer *et al.* (2014) describieron en el cultivo de cártamo diferentes estadios fenológicos según la escala BBCH (Hack *et al.*, 1992) teniendo en cuenta la morfología de plantas individuales de CW 99 OL y CW 88 OL. Estos autores observaron que los frutos alcanzaban su madurez fisiológica (máximo peso seco) en el estadio que definieron como 87. En este estadio alrededor del 70% de la superficie del capítulo principal se encontraba seca. En el estadio 89 los frutos contenían entre un 10-13% de humedad y se podía proceder a su cosecha. En la medida en que esta relación entre la madurez de cosecha y la apariencia externa sea aplicable a otras variedades de cártamo, proporcionaría una estimación muy útil de la madurez fisiológica del fruto sin muestreo destructivo.

Por otro lado habría que evaluar la pérdida de material lipídico que significa la elevada producción de material fino que se generó durante el proceso de descascarado en ambos CC.

El descascarado de los frutos de cártamo incrementó el contenido proteico de la harina pero no redujo su contenido de LDA. Esto último se debe a que el descascarado no eliminaría los estratos celulares esclerificados adheridos a la semilla. La selección a favor de variedades con un mayor contenido de aceite, lo que está asociado a una reducción en la esclerificación del pericarpio, contribuiría a reducir la fracción indigestible de la harina, aspectos que deberían ser estudiados.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirrezábal, L.A.N y V.R. Pereyra. 1998. Girasol. "Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico". *Ed. Unidad Integrada Balcarce* 140-185.
- Aguirrezábal, L.A.N., Orioli, G.A, Hernández, L.F., Miravé, J.P., Pereyra, V.R. y Cardinali, F.J. (ex aequo) 1996. Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Balcarce E.E.A.- Facultad de Ciencias Agrarias - UNMdP, Serie de Divulgación 127 p.
- Alobeid, H, I. Stoica y C. Dragomir. 2010. Protein ruminal degradability and intestinal digestible protein value from safflower meal. *Scientific Papers: Series D, Animal Science*. LIII: 105-108.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. Washington D.C. (17th edition).
- AOCS. 2001. Official methods and recommended practices of American oil chemist Soc. (6th edition).
- Applewhite, T.H. 1966. The composition of safflower seed. *J. of the American Oil Chemist Soc.* 43: 406-408.
- Baldini, M. y G.P. Vannozzi. 1996. Crop management practice and environmental effects on hullability in sunflower hybrids. *Helia* 19: 47-62.
- Bäumler, E.R. 2002. Estudio de la aptitud al descascarado de semillas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). Tesis de grado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 116 págs.
- Beauguillaume, A. y F. Cadeac. 1992a. Husks structure of sunflower achenes. Genetic variability. 13th Int. Sunflower Conf. Procs. Pisa. Italy 1000-1004.
- Beauguillaume, A. y F. Cadeac. 1992b. Elements of explication of variability of hulling ability in sunflower. Proc. 13th Int. Sunflower Conf. Procs. Pisa. Italy, 993-999.
- Bergman, J.W. 1997. Safflower genetic improvement for yield and value-added traits for the United States Northern Great Plains. Proc. of the 4th Int. Safflower Conference, June 2-7, Bari, Italy 229-231.
- Claassen, C.E., W.G. Ekdahl y G.M. Severson. 1950. The estimation of oil percentage in safflower seed and the association of oil percentage with hull and nitrogen percentages, seed size, and degree of spiniess of the plant. *Agron. J.* 42: 78-482.

- Coşge, B., B. Gürbüz y M. Kiralan. 2007. Oil Content and Fatty Acid Composition of Some Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Varieties Sown in Spring and Winter. Int. J. of Nat. and Eng. Sci. 1: 11-15.
- Dajue, L. y H.H. Mündel. 1996. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Vol. 7. Ed. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy 83 págs.
- de Figueiredo, A.K., L.M. Rodríguez, L.I. Lindström, I.C. Riccobene y S.M. Nolasco. 2013. Performance analysis of a dehulling system for safflower grains. J. of Industrial Crops and Products 43: 311-317.
- de Figueiredo A. K., L.M. Rodríguez, M. Fernández, I.C. Riccobene, S.M. Nolasco. 2014. Pérdida de aceite por migración hacia la cascara durante el descascarado de granos oleaginosos. VI Congreso Argentino de Girasol, Buenos Aires, 27 de mayo. <http://www.asagir.org.ar/Images/6toCongreso/Murales/2014M06.pdf> (2016).
- Dedio, W. 1982. Variability in hull content, kernel oil content and whole seed oil content of sunflower hybrids and parental lines. Can. J. Plant Sci. 62: 51-54.
- Dedio, W. y D.G. Dorrell. 1989. Factors affecting the hullability and physical characteristic of sunflower achenes. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 21: 143-146.
- Denis, L. 1994. Étude génétique de l'aptitude au decorticage des akènes de tournesol (*Helianthus annuus* L.). Tesis doctoral. École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. France 117 págs.
- Denis, L. y F. Vear. 1996. Variation of hullability and other seed characteristic among sunflower lines and hybrids. Euphytica 87: 177-187.
- Denis, L., V. Coelho y F. Vear. 1994. Pericarp structure and hullability in sunflower inbred lines and hybrids. Agronomie 14: 453-461.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ebert, W.W. y P.F. Knowles. 1968. Developmental and anatomical characteristics of thin-hull mutants of *Carthamus tinctorius* (Compositae). Am. J. of Botany 55: 421-430.
- Ekin, Z. 2005. Resurgence of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Utilization: A Global View. J. of Agronomy 4: 83-87.

- Emongor, V. 2010. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the Underutilized and Neglected Crop: A Review. *Asian J. of Plant Sci.* 6: 299-306.
- Escande, A. 2009. Oleaginosas. Documento Base del Progr. Nac. Inst. Nac. Tecnología Agropecuaria. (INTA), 25 págs.
http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-documento_base_del_programa_nacional_oleaginosas.pdf (2016).
- Evert, R.F. 2006. Esau's plant anatomy. *Ed.* Por John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. New Jersey 601 págs.
- FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
<http://faostat3.fao.org/> (2016).
- Farran, M.T., G.W. Barbour, N.N. Usayran, S.K. Yau, R. Salem y C. Jabbour. 2009. Performance of male broiler chicks fed practical diets containing graded levels of de-hulled extruded safflower meal during the starter period. *Proceedings, 2nd Mediterranean Summit of WPSA* 507-509.
- Farran, M.T., G.W. Barbour, N.N. Usayran y C. Kayouli. 2010. Metabolizable energy and amino acid digestibility of decorticated extruded safflower meal. *Poultry Sci.* 89: 1962-1966.
- Fernandez P. A. 2013. Incidencia del descascarado sobre la calidad del aceite y de la harina de frutos de cártamo alto oleico. Informe Científico de Beca, Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), 43 págs.
- Flemmer, A.C, M.C. Franchini y L.I. Lindström. 2011. Desarrollo del pericarpio del cultivar de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) CW 88 OL. Actas de la XXXIII Jornada Argentinas de Botánica. Posadas, Misiones, 7 al 10 de octubre de 2011, págs. 95-96.
- Flemmer, A.C., M.C. Franchini, y L.I. Lindström. 2014. Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 166: 331-339.
- Franco, D. 2011. Aceites no tradicionales. *Rev. Alimentos Arg (SAGyP)* 52: 37-39.
- Giaetto, O., E.M. Fernández, W.E. Asnal, G.A. Cerioni y L. Cholaky. 1999. Comportamiento de Cultivares de Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la Región de Río Cuarto, Córdoba (Argentina). *Invest. Agrar. Prod. Prot. Veg.* 14: 203-215.
- Guiragossian, V.Y., S.W. Van Scoyoc y J.D. Axtell. 1977. Chemical and biological methods for grain and forage sorghum. Dept. of Agronomy, Agric. Exp. Sta., Purdue Univ., West Lafayette, IN. 145.

- Hack, H., H. Bleiholder, L. Buhr, U. Meier, U. Schnock-Fricke, E. Weber y A. Witzemberger. (1992) 'The extended BBCH-scale', In: Meier U. (ed.) Growth stages of mono- and dicotyledonous plants, BBCH Monograph (2001), Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Germany, 6-13.
- <http://pub.jki.bund.de/index.php/BBCH/issue/view/161> (2016).
- Hernández, L.F. y P.M. Bellés. 2007. A 3-D finite element analysis of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hullability. J. Food Eng. 78: 861-869.
- Işığigürel, A., F. Karaosmanoğlu, y H.A. Aksoy. 1995. Characteristics of safflower seed oils of turkish origin. J. of Am. Oil Chem. Soc. 72: 1223-1225.
- Jensen, W.A. 1962. Botanical histochemistry: Principles and practice. Ed. W.H. Freeman y Co. San Francisco 205.
- Kephart, K.D. y D.R. Buxton. 1993. Forage Quality Responses of C3 and C4 Perennial Grasses to Shade. Crop Sci. 33: 831-837.
- Kohler, G.O., D.D. Kuzmicky, R. Palter, J. Guggolz y V.V. Herring. 1966. Safflower meal. J. of the Amer. Oil Chemist. Soc. 43: 413-415.
- Lang, M. 2011. El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la región semiárida pampeana: ensayo comparativo de rendimiento. Rev. de la Fac. de Agro., UNLPam. 22: 32-36.
- Leprince-Bernard, M.N. 1990. Aptitude au décorticage de la graine de tournesol. Etudes structurale, physico-chimique et comportementale, en fonction des variétés, des lieux de culture, de l'état de l'eau et de traitements préalables. Doctoral Thesis, Institut National de la Recherche Agronomique, Nantes, France 136 págs.
- Lindström, L.I., M. E. García, L.F. Hernández y S. Nolasco. 2000a. Aptitud al descascarado de híbridos de girasol crecidos con distintos niveles de nitrógeno. Actas de la XXIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Río Cuarto 29-1 de Diciembre 510-511.
- Lindström, L.I., C.N. Pellegrini y L.F. Hernández. 2000b. Anatomía y desarrollo del pericarpo de distintos genotipos de girasol (*Helianthus annuus* L.). 15th Int. Sunflower Conf. Procs. Toulouse, France D13-D18.
- Lindström, L.I., M.E. García, C.N. Pellegrini y L.F. Hernández. 2006a. Aptitud al descascarado de frutos de girasol desarrollados bajo condiciones de estrés lumínico. XXVI Reunión de la Asociación Argentina de Fisiología Vegetal 4-6. Octubre pág. 162.

- Lindström L.I., C.N. Pellegrini, M.B. Torrea y L.F. Hernández. 2006b. Composición química y estructural del pericarpio de frutos girasol desarrollados bajo condiciones de estrés lumínico. XXVI Reunión de la Asociación Argentina de Fisiología Vegetal 4-6. Octubre pág. 161.
- Lindström L.I., M.C. Franchini, A. Flemmer, L. Gallego, J. Rivas y P. A. Fernandez 2010. Informe primer año de actividades del proyecto: Factores determinantes del rendimiento y la calidad industrial del cártamo (*Carthamus tinctorius L.*), 97 págs.
- Lindström, L.I. 2012. Histogénesis del fruto de girasol (*Helianthus annuus L.*): su aplicación al análisis del efecto de la radiación incidente sobre el peso y la aptitud al descascarado de los frutos y sus variables subyacentes. Tesis doctoral del departamento de agronomía, Universidad Nacional del Sur, 213 págs.
- Lindström, L.I., M.C. Franchini, A.C. Flemmer, P.A. Fernandez y M.A. David. 2013. 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 técnico 41 págs.
- Lyon, D., P. Burgener, R. Harveson, G. Hein y G. Hergert. 2007. Growing Safflower in Nebraska. Ed. Univ. of Nebraska-Lincoln Ext. Inst. de Agric. and Nat. Res. <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1406&context=extensionhist> (2016).
- MAGyP. 2012. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Buenos Aires, Argentina. <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php> (2012).
- Martinez, M. 2010. Efecto del genotipo sobre la productividad y composición química de la biomasa forrajera y grano de avena (*Avena sativa L.*). Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina 154 págs.
- MECON. 2002. Sector oleaginoso. Soja-Girasol. Ministerio de Economía, Dir. Nac. de Progr. Económica Regional 16 págs. <http://www.mecon.gov.ar/inforegio/oleaginosos.pdf> (2016).
- Merrien, A.J., J. Domínguez, G.P. Vannozzi, M. Baldini, M. Champolivier y P. Carré. 1992. Factors affecting the dehulling ability in sunflower. 13th Int. Sunflower Conf. Procs. Pisa. Italy 260-267.
- Mirassón, H., I.R. Palomo, R.E. Brededan y M.N. Fioretti. 2001. Safflower Production in Argentina: Future Prospects. Vth International Safflower Conference, Williston, N.D., U.S.A., July 23-27, 173-178.
- Mirassón H.R., I.R. Palomo, R.E. Brededan y M.N. Fioretti. 2011. Rendimiento y estabilidad de variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) en la Región Pampeana Semiárida. Phytón 80: 147-151.

- Mohamadzadeh M., S.A. Siadat, M.S. Norof y R. Naseri. 2011. The Effects of Planting Date and Row Spacing on Yield, Yield Components and Associated Traits in Winter Safflower under Rain Fed Conditions. *Am-Euras. J. Agric. & Environ. Sci.* 10: 200-206.
- Morrison III, W.H, D.E. Akin y J.A. Robertson. 1981. Open pollinated and hybrid sunflower seed structure that may affect processing for oil. *JAOCs* 52: 969-972.
- Mündel H.H. y Bergman J.W. 2009. *Handbook of plant breeding: oil crops*. Springer, New York 14: 423-448.
- Mündel, H.H., R.E Blackshaw, J.R. Byers., H.C. Huang, D.L. Johnson, R. Keon, J. Kubik, R. McKenzie, B. Otto, B. Roth y K. Stanford. 2004. Safflower production on the Canadian Prairies. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Center, Alberta 37 págs.
- Nel, A.A. 2001. Determinants of sunflower seed quality for processing. PhD. Thesis. Faculty of Natural and Agricultural Sci. 115 págs.
- Nel. A.A., H.L. Loubser, P.S. Hammes. 2000. The effect of environment and cultivar on sunflower seed. I. yield, hullability and physical seed characteristics. *S. Afr. J. Plant Soil* 17: 133-137.
- Niklas, K.J. 1993. Influence of Tissue Density-specific Mechanical Properties on the Scaling of Plant Height. *Ann. Bot.* 72: 173-179.
- Nolasco, S.M., I.C. Riccobene y M.J. Di Leo. 2005. Aptitud al descascarado de híbridos de girasol tradicionales sembrados en Argentina. III Congreso de la Asociación Argentina de Girasol, Buenos Aires, Argentina 2 págs.
- Orduña R.R., R.G. Lozano, F. Gutiérrez. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL* 2: 180-189.
- Ortega-García J., N. Gámez-Meza, J.A. Noriega-Rodríguez, O. Dennis-Quiñonez, H.S. García-Galindo, J.O. Angulo-Guerrero y L.A. Medina-Juárez. 2005. Refining of high oleic safflower oil: Effect on the sterols and tocopherols content. *Eur Food Res. Technol.* 223: 775–779.
- Pandey, A.K. y M.R. Dhakal. 2001. Phytomelanin in Compositae. *Current Sci.* 80: 933-940.
- Pickard M.A., T.J. Jones y R.T. Tyler. 1998. Subproductos del procesamiento de oleaginosas. Propiedades y utilización. *Aceites y Grasas* 31: 233-250.

- Riccobene, I.C., M.B. Fernández., S.M. Nolasco. 2001. Efecto de la humedad de las semillas en la aptitud al descascarado de frutos de girasol. Información Internacional Tecnológica. Revista Internacional CIT 12: 3-8.
- Riccobene, I.C., M.J. Di Leo, V. Brown y S. Nolasco. 2007. Avances hacia un modelo predictivo de la aptitud al descascarado de híbridos de girasol. XI Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos-CYTAL 11.
- Rivas, J. y R. Matarazzo. 2009. Producción de cártamo. Consideraciones generales. INTA. Boletín de Divulgación N° 20. 19 págs.
- Roath, W.W, T.L. Snyder y J.F. Miller. 1985. Variability in decortication of sunflower achenes and correlations with associated achene characters. 11th Int. Sunflower Conf. Procs. Mar del Plata. Argentina, 1611-1625.
- Rondanini, D., A.I. Mantese, R. Savin y A.J. Hall. 2009. Water content dynamics of achene, pericarp and embryo in sunflower: Associations with achene potential size and dry-down. Eur. J. Agr. 30: 53-62.
- Ruzin, S.E. 1999. Plant Microtechnique and Microscopy. Oxford Univ. Press. 322 págs.
- Sabzalia, M.R., G. Saeidi y A. Mirlohi. 2008. Oil content and fatty acid composition in seeds of three safflower species. J. of Am. Oil Chem. Soc. 85: 717-721.
- SIIA. 2014. Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Argentina. <http://www.sija.gov.ar/> (2016).
- Singh, V. y N. Nimbkar 2005. Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement. Vol 4. Oil seed Crops. New York, USA págs. 167-194.
- Smith, J.R. 1996. Safflower. AOCS Press, Champaign, Illinois. 606 págs.
- Smith, J.R. 2002. El cártamo. Historia, desarrollo, características, procesamiento y usos. Aceites y Grasas 47: 174-182.
- Smith, J.R. 2005. Safflower Oil. Bailey's industrial oil and fat products. Ed. Fereidoon Shahidi 6: 491-536.
- Soil Survey Staff. USDA. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System for Classifying Soils. Soil Survey Staff, Agriculture, Homework 436 págs.
- Tranchino, L., F. Melle, G. Sodini. 1984. Almost complete dehulling of high oil sunflower seed. JAOCS. 61: 1261-1265.
- Urie, A.L. y D.E. Zimmer. 1970. A Reduced-hull seed character of safflower. Crop Sci. 10: 371-372.

- Van Soest P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Vilatersana, R. 2008. Estudios morfoanatómicos de los aquenios en el complejo *Carduncellus-Carthus* (Asteraceae:Cardueae): su utilidad para la clasificación filogenética. *Collectanea Botánica* 27: 37-74
- Wachsmann, N., T. Potter, R. Byrne, S. Knights. 2010. Raising the bar with better Safflower agronomy. Agronomic information and safflower case studies. *Ed.* GRDC, Australia 39 págs.
- Wan, P.J., G.W. Baker, S.P. Clark y S.W. Matlockl. 1978. Factors influencing the decortication of high oil content sunflower. *Procs. 8th Int. Sunflower Conf.* Minneapolis Minnesota. U.S.A. 533-543.
- Zarei G., H. Shamsi y F. Fazeli. 2011. Effect of Planting Density on Yield and Yield Components of Safflower Cultivars in Spring Planting. *World Academy of Sci., Engineering and Tech.* 60: 135-137.