



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN AGRONOMÍA

Alternativas de cultivos tendientes a mejorar la sustentabilidad de los
sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana

Carolina Luciana Gaggioli

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2019

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 11 de Octubre del 2011 y el 22 de Abril del 2019, bajo la dirección de Dr. Alberto R. Quiroga¹ y la Dra. Nilda M. Amiotti².

1. EEA. INTA Anguil – Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía.
2. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía.

Ing. Agr. Carolina Gaggioli



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

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

AGRADECIMIENTOS

En estas primeras líneas quiero agradecer a las personas e instituciones que posibilitaron el logro de este objetivo:

A la Dra. Elke Noellemeyer, que me animó a comenzar este doctorado y me guió con tanta dedicación hasta su culminación.

Al Dr. Alberto Quiroga, por su compromiso, sus ideas y su compañía durante el desarrollo de esta tesis.

A la Dra. Nilda Amiotti, por sus aportes y apoyo a pesar de la distancia.

A los jurados; Dr. J. Galantini, Dra. C. Álvarez y Dr. Hugo Krüger, por su esmero en la revisión de esta tesis.

A los Sres. Eduardo Calabaza y Roberto Gómez, por su fundamental colaboración en las actividades de campo.

Al Departamento de Agronomía de la UNS.

A la EEA INTA Anguil, a todo su personal y en especial al Grupo de Suelos, con quienes compartí tantos días de trabajo.

A CONICET por las becas otorgadas.

A la Facultad de Agronomía, UNLPam.

Y a mi familia y amigos por su apoyo incondicional...

Carolina

RESUMEN

En regiones donde el recurso agua es escaso es necesario aumentar la *productividad económica del agua*, definida como el valor recibido por unidad de agua usada. Esto podría lograrse ya sea por un incremento en la *productividad física del agua* que lleve a generar más kg de grano/mm como por la producción de cultivos de valor más elevado. El objetivo general de esta tesis fue evaluar cultivos con precio diferencial por calidad de grano en cuanto a productividad física y económica del agua, y variables fisiológicas vinculadas, en dos suelos contrastantes en manejo de economía del agua. De modo de obtener las opciones más adecuadas para integrar a la rotaciones y mejorar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas y mixtos de la región semiárida. Para cumplirlo se realizaron ensayos a campo durante tres campañas con diferentes especies y cultivares, tanto tradicionales como alternativos, con buenas perspectivas de productividad. Dichos ensayos se llevaron a cabo simultáneamente en dos suelos contrastantes, representativos de la región, que se encontraban bajo las mismas condiciones meteorológicas. Uno fue un Paleustol petrocálcico de textura franca y el otro un Ustipsamment típico de textura arenosa franca, con capa freática que fluctúa alrededor de los 3 m de profundidad. Además, se evaluó el efecto de la fertilización.

Los cultivos elegidos fueron girasoles diferenciados por composición de ácidos grasos del aceite, trigos de grupo 1 y 3 de calidad industrial, cebada cervecera, colza y cártamo. Los mismos se compararon entre sí en términos productivos y económicos. Para lo cual se realizaron determinaciones de rendimiento, usos consuntivos, eficiencia de uso del agua, características fisiológicas e índices económicos.

En términos generales, en el Ustipsamment hubo mayores dificultades de implantación de los cultivos, si bien una vez establecidos brindó las mejores condiciones de humedad ante el déficit hídrico, en parte por la influencia de napa, respecto al Paleustol. Allí la fertilización fue una práctica fundamental para mejorar la sustentabilidad.

Los resultados para cada cultivo fueron altamente dependientes del tipo de suelo y las precipitaciones durante la campaña. En el caso del girasol, se comprobó mayor estabilidad de rendimiento de todos los genotipos en el Ustipsamment, así como ventajas productivas y económicas de los convencionales. En el Paleustol fue un cultivo riesgoso, aunque allí los genotipos diferenciados por calidad tienen más posibilidades de contar con ventajas económicas. De manera similar, los trigos presentaron más estabilidad en el suelo

profundo, si bien en las campañas húmedas el Paleustol produjo más rinde manteniendo alta calidad y con ventaja comparativas de los cultivares grupo 1. La cebada y la colza, en cambio, mantuvieron mejor productividad en el Paleustol bajo las distintas condiciones climáticas. El cártamo fue el cultivo que manifestó menos diferencias entre suelos, constituyendo una alternativa interesante si se logran superar ciertas dificultades de implantación y comercialización.

La información surgida de esta tesis puede ser utilizada para diversificar las rotaciones incorporando cultivos con mejor eficiencia en el uso de recursos, adecuados a los dos tipos de suelos más frecuentes de la región.

ABSTRACT

In areas where water resources are scarce the economic water productivity has to be improved, that means to increase the value received per unit of water used in production. This could be achieved either by an increase in physical water productivity which would lead to more kg of grains per mm of rainfall, or by producing crops with higher unit value. The general objective of this thesis was to evaluate crops with special value for grain quality as to physical and economic water productivity, as well as physiological variables that influence them, in two contrasting soils in water economy management. With the purpose of obtaining the most appropriate options to integrate rotations and improve the sustainability of the agricultural and mixed systems in the semiarid region. In order to achieve this goal field experiments were carried out during three years with different species and cultivars, both traditional and alternative, with promising conditions of productivity. These experiments were carried out simultaneously in two contrasting soils that are representative of the region, and which were in the same meteorological conditions. One was a loam-texture petrocalcic Paleustoll and the other a loamy sand typic Ustipsamment with a groundwater level around 3 m depth. Besides, in both soils the effect of fertilization was evaluated.

The selected crops included sunflower cultivars with different fatty acid composition, group 1 and 3 industrial quality wheat crops, malting barley, canola and safflower. These crops were compared among each other in terms of productivity and economic returns, based on data of yield, water consumption, water use efficiency, physiological characteristics and economic indices.

Generally, more problems with crop implantation were observed in the Ustipsamment, although, once these were established this soils provided better moisture conditions in droughts than the Paleustoll, partly due to the shallow water table. Furthermore, in this soil fertilization was a fundamental practice needed to improve the sustainability. The results for each crop were highly dependent of soil type and the rainfall during the season. For sunflower the Ustipsamment provided better yield stability for all genotypes, as well as productive and economic advantages. In the Paleustoll there was a higher risk associated to sunflower crops, although in this soil the differential-quality genotypes had more chance to achieve an economic benefit. Similarly, the wheat crops had higher

stability in the Ustipsamment, although in the moister seasons yields were higher in the Paleustoll with higher quality and comparative advantages for the group 1 cultivars. Barley and canola, however, maintained higher productivity in this soil under different climatic conditions, while safflower showed least differences among soil types and thus presented an interesting alternative if certain difficulties for implantation and commercialization can be overcome.

The information that emerged from this thesis can be applied to diversify rotations, incorporating crops with higher resource-use efficiency, adapted to both types of soils that are most frequently encountered in the region.

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

Dr. Alberto R. Quiroga

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ABREVIATURAS.....	XI
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Objetivo general.....	9
1.2 Objetivos específicos	9
1.3 Hipótesis	9
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	11
2.1 Caracterización climática.....	13
2.2 Caracterización de los suelos	15
2.2.1 <i>Análisis granulométrico</i>	18
2.2.2 <i>Densidad aparente</i>	18
2.2.3 <i>Constantes hídricas</i>	19
2.2.4 <i>Fósforo disponible, materia orgánica, pH</i>	19
2.3 Caracterización del sistema productivo	20
CAPÍTULO III: GIRASOL.....	21
3.1 Introducción	23
3.2 Materiales y métodos	26
3.2.1 <i>Determinaciones</i>	28
3.2.2 <i>Análisis estadísticos</i>	34
3.3 Resultados.....	35
3.3.1 <i>Desarrollo fenológico del cultivo</i>	35
3.3.2 <i>Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo</i>	35
3.3.3 <i>Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo</i>	39
3.3.4 <i>Resultados Paleustol</i>	45
3.3.5 <i>Resultados Ustipsamment</i>	53
3.3.6 <i>Composición de ácidos grasos</i>	64
3.4 Discusión	65
3.4.1 <i>Efecto del suelo y ambiente en la productividad y calidad del cultivo</i>	65
3.4.2 <i>Comparación de índices productivos y ambientales entre los distintos tipos de híbridos de girasol. Influencia de las condiciones climáticas y tipo de suelo.</i>	75
3.4.3 <i>Comparación de índices económicos entre suelos y tipos de híbrido</i>	80

3.5 Conclusiones	83
CAPÍTULO IV: CEREALES INVERNALES	85
4.1 Introducción	87
4.2 Materiales y Métodos.....	90
4.2.1 Determinaciones.....	92
4.2.2 Análisis estadísticos	99
4.3 Resultados	100
4.3.1 Desarrollo fenológico del cultivo.....	100
4.3.2 Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo	101
4.3.3 Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo	104
4.3.4 Resultados Paleustol	110
4.3.5 Resultados Ustipsamment	123
4.4 Discusión	138
4.4.1 Análisis económico de los cultivos.....	138
4.4.2 Efecto del suelo y ambiente sobre la productividad y calidad de los cultivos	140
4.4.3 Diferencias entre trigo y cebada y entre sus cultivares en la productividad y calidad.....	145
4.4.4 Influencia de las condiciones climáticas y tipo de suelo en las diferencias de índices productivos, económicos y ambientales entre trigo y cebada y sus cultivares.	151
4.5 Conclusiones.....	158
CAPÍTULO V: OLEAGINOSAS INVERNALES	161
5.1 Introducción	163
5.2 Materiales y Métodos.....	165
5.2.1 Determinaciones.....	167
5.2.2 Análisis estadísticos	173
5.3 Resultados	175
5.3.1 Desarrollo fenológico de los cultivos	175
5.3.2 Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo	176
5.3.3 Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo	180
5.3.4 CÁRTAMO: Resultados Paleustol	186
5.3.5 CÁRTAMO: Resultados Ustipsamment.....	188
5.3.6 COLZA: Resultados Paleustol	191
5.3.7 COLZA: Resultados Ustipsamment.....	194
5.3.8 Comparación de ambas oleaginosas.....	197

5.4 Discusión	199
5.4.1 <i>Análisis económico de los cultivos</i>	199
5.4.2 <i>Efecto del suelo y ambiente sobre la productividad y calidad de los cultivos</i>	200
5.4.3 <i>Diferencias entre cártamo y colza y entre sus cultivares en la productividad y calidad</i>	204
5.5 Conclusiones	208
CAPÍTULO VI: INTEGRADOR	209
6.1 Paleustol.....	212
6.2 Ustipsamment	215
6.3 Consideraciones generales	218
CONCLUSIONES GENERALES	223
REFERENCIAS	229
ANEXO I: Girasol	247
ANEXO II: Cereales Invernales	257
ANEXO III: Oleaginosas invernales	269

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribución mensual de las precipitaciones y evapotranspiración potencial en la localidad de Anguil.	13
Figura 2.2. Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) a escala 3 meses, para la localidad de Anguil, calculado mediante el SPI Program (NDMC, 2017). Se agregó una línea de tendencia polinómica.....	14
Figura 2.3. Mapa de la provincia de La Pampa indicando el área comprendida por la planicie con tosca (PT) y planicie medanosa (PM). Adaptado de Caviglia et al. 2010.....	17
Figura 2.4. Curvas de retención hídrica para ambos suelos obtenidas a partir las ecuaciones de pedotransferencia de acuerdo a Saxton y Rawls (2006).....	19
Figura 2.5. Porcentaje de la superficie agrícola correspondiente a cada cultivo en el período 2010-2016 en a) Planicie con tosca y b) Planicie medanosa, de la provincia de La Pampa (elaboración propia con datos de MAGyP, 2017).....	20
Figura 3.1. Precipitaciones en el ciclo de girasol en las tres campañas y precipitaciones históricas (1921-2014) en la EEA INTA Anguil. E: emergencia; R1: estado estrella R5: comienzo de floración; R9: madurez fisiológica.	36
Figura 3.2. Agua útil a emergencia del girasol (AUe) hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 2 m en el Ustipsammet; y precipitaciones acumuladas desde emergencia al estado R5 del cultivo en cada campaña (PPe-f).....	37
Figura 3.3. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo del girasol (Noviembre-Enero) en Anguil, La Pampa.	38
Figura 3.4. Evapotranspiración potencial (ETP) mensual para las 3 campañas en la EEA INTA Anguil. Ve: emergencia; R1: estado estrella; R5: comienzo de floración; R9: madurez fisiológica.	39
Figura 3.5. a) abundancia de raíces en el Paleustol en 85 cm de profundidad (promedio de 50 cm de ancho), b) grilla de números indicando la abundancia de raíces.	40
Figura 3.6. a) abundancia de raíces en el Ustipsammet en 225 cm de profundidad (promedio de 50 cm de ancho), b) grilla de números indicando la abundancia de raíces.	41
Figura 3.7. Uso consuntivo del girasol desde emergencia a R5 (UCe-f) y desde R5 a R9 (UCf-mf), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.	42
Figura 3.8. Rendimiento de grano (Rdto) en función del UC total (UC) en a) Paleustol y b) Ustipsammet.....	43
Figura 3.9. Rendimiento de grano (Rdto) en función del UC de emergencia a R5 (UCe-f) en a) Paleustol y b) Ustipsammet.....	43
Figura 3.10. Contenido de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (Cap. C), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de Ve, R5 y R9 del girasol. En a) 2011/12; c) 2012/13 y e) 2013/14 en Paleustol, y b) 2011/12 d) 2012/13 y f) 2013/14 en Ustipsammet....	45
Figura 3.11. Materia seca a madurez fisiológica (MSmf), materia seca del residuo (MSr) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSmf (EUA_{MSmf}) de los genotipos convencionales (CV), alto oleicos (OL) y esteáricos (ES), en el Paleustol.	48
Figura 3.12. Análisis de componentes principales con variables fisiológicas relacionadas al rendimiento en el Paleustol. Rendimiento en grano (Rdto), materia grasa en grano (MG), materia seca a floración (MSf), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), área foliar específica (AFE), temperatura foliar (T° foliar) y tasa de asimilación neta (TAN).....	50
Figura 3.13. Análisis de componentes principales, variables fisiológicas relacionadas al rendimiento en el Ustipsammet. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en	

grano (MG), materia seca a floración (MSf), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), área foliar específica (AFE), temperatura foliar (T° foliar) y tasa de asimilación neta (TAN)...	57
Figura 3.14. Eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica del agua (PEA) de los genotipos convencionales (CV), alto oleicos (OL) y esteáricos (ES), en el Ustipsamment.....	59
Figura 3.15. Análisis de componentes principales, variables indicadoras en a) Paleustol y b) Ustipsamment. Rendimiento en grano (Rdto), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica del agua (PEA), porcentaje de materia grasa en grano (MG), precio final y margen bruto (MB).	63
Figura 3.16. Proporción de ácidos grasos: esteárico, oleico y linoléico en los genotipos de girasol medio esteáricos (ES), alto oleicos (OL) y convencionales (CV), en los dos suelos.....	64
Figura 3.17. Rendimiento en grano (Rdto) promedio en cada campaña de los híbridos de girasol, en los suelos Paleustol y Ustipsamment.....	66
Figura 4.1. Precipitaciones en el ciclo de trigo en las tres campañas y precipitaciones históricas (1921-2014) en la EEA INTA Anguil.....	102
Figura 4.2. Agua útil (AU) a la siembra hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 1,6 m en el Ustipsamment en cada campaña para los trigos ciclo largo (CL), trigos ciclo corto (CC) y cebada.....	102
Figura 4.3. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de los cereales invernales (junio a noviembre) en Anguil, La Pampa.....	103
Figura 4.4. Abundancia de raíces (promedio de 50 cm de ancho) en a) Paleustol en 100 cm de profundidad y b) Ustipsamment en 190 cm de profundidad.	105
Figura 4.5. Uso consuntivo promedio de los cereales desde emergencia a floración (UCe-f) y desde floración a madurez fisiológica (UCf-mf), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.	106
Figura 4.6. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2012 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados a) Z0; c) Z6 y e) Z9 en Paleustol, y b) Z0 d) Z6 y f) Z9 en Ustipsamment.	107
Figura 4.7. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2013 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados g) Z0; i) Z6 y k) Z9 en Paleustol, y h) Z0 j) Z6 y l) Z9 en Ustipsamment.	109
Figura 4.8. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2014 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados m) Z0; ñ) Z6 y p) Z9 en Paleustol, y n) Z0 o) Z6 y q) Z9 en Ustipsamment.	110
Figura 4.9. Materia seca en madurez fisiológica (MSmf), materia seca de los residuos (MSr) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSmf (EUA_{MSmf}) de cada variedad en el Paleustol. En las campañas a) 2012, b) 2013 y c) 2014.....	114
Figura 4.10. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de variables fisiológicas en el Paleustol. Las variables fueron: Rendimiento (Rdto), índice de área foliar (IAFf), materia seca en floración (MSf), área foliar específica en floración (AFEf), tasa de asimilación neta (TANv-f) e índice de cosecha (IC).	115
Figura 4.11. Peso hectolítrico (PH) y proteína de las variedades de trigo en las tres campañas en el Paleustol.	120
Figura 4.12. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de calidad de cebada en el Paleustol. Las variables fueron: Proteína (%), capacidad germinativa (C.G.), Peso hectolítrico (PH) y calibre (sobre zaranda de 2,5 mm).	120
Figura 4.13. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de variables fisiológicas en el Ustipsamment. Las variables fueron: Rendimiento (Rdto), índice de área foliar (IAFf), materia seca en floración (MSf), área foliar específica en floración (AFEf), tasa de asimilación neta (TANv-f) e índice de cosecha (IC).	128

Figura 4.14. Peso hectolítrico (PH) y proteína de las variedades de trigo en las tres campañas en el Ustipsamment.	132
Figura 4.15. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de calidad de cebada en el Ustipsamment. Las variables fueron: Proteína (%), capacidad germinativa (C.G.), peso hectolítrico (PH) y calibre (sobre zaranda de 2,5 mm)...	133
Figura 4.16. Gráficos biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de producción e índices económicos en a) Paleustol y b) Ustipsamment. Las variables fueron: Rendimiento en grano (Rdto), eficiencia de uso de agua (EUA), precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB).....	137
Figura 5.1. Precipitaciones en el ciclo de cártamo en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.....	177
Figura 5.2. Precipitaciones en el ciclo de colza en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.....	178
Figura 5.3. Agua útil (AU) a la siembra hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 2 m en el Ustipsamment en cada campaña para cártamo y colza.	178
Figura 5.4. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de cártamo (agosto a enero) en Anguil, La Pampa (en base a precipitaciones 1960-2014).	179
Figura 5.5. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de colza (marzo a noviembre) en Anguil, La Pampa (en base a precipitaciones 1960-2014).....	179
Figura 5.6. Abundancia de raíces (promedio de 50 cm de ancho) de colza y cártamo en a) Paleustol en 100 cm de profundidad y b) Ustipsamment en 200 cm de profundidad.	181
Figura 5.7. Uso consuntivo promedio de cártamo desde emergencia a floración (UCe-f) y desde floración a madurez fisiológica (UCf-mf), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.	182
Figura 5.8. Uso consuntivo promedio de los cultivares de colza desde emergencia a floración (UCe-f) y desde floración a madurez fisiológica (UCf-mf), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.	182
Figura 5.9. Lámina de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (Cap. C), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de emergencia (E), floración (F) y madurez fisiológica (MF) del cultivo de cártamo. En a) 2012/13; c) 2013/14 y e) 2014/15 en Paleustol, y b) 2012/13; e) 2013/14 y f) 2014/15 en Ustipsamment.....	184
Figura 5.10. Lámina de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de emergencia (E), floración (F) y madurez fisiológica (MF) de los cultivares precoces de colza (c. precoz) y del híbrido Sitro. En a) 2012/13; c) 2013/14 y d) 2014/15 en Paleustol, y b) 2012/13 y e) 2014/15 en Ustipsamment.....	185
Figura 5.11. Materia seca (MSmf) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS (EUAMSMf) en madurez fisiológica de colza en el Paleustol. Las barras indican EE.	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación del IPE. La tercera columna indica la frecuencia teórica de ocurrencia de cada categoría (Skansi et al., 2006).....	14
Tabla 2.2. IPE a escala de 3 meses para los años 2011 a 2014.	15
Tabla 2.3. Temperatura media mensual en abrigo a 1,5 m de altura, para cada mes del año, en el período 1973-2014, en la EEA INTA Anguil.	15
Tabla 2.4. Porcentaje de arcilla, limo, arena y clase textural para las distintas profundidades en ambos suelos.	18
Tabla 2.5. Densidad aparente (Dap) para las distintas profundidades en ambos suelos.	18
Tabla 2.6. Fósforo disponible (P), materia orgánica (MO) y pH en los primeros 20 cm de profundidad de cada suelo.....	19
Tabla 3.1. Características de los híbridos utilizados, descritas en el catálogo 2014 de la empresa Advanta.	26
Tabla 3.2. Cultivo antecesor, fecha de siembra, control de malezas y plagas realizado en cada campaña. Las dosis figuran por hectárea.....	27
Tabla 3.3. Contenido de N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) en el perfil del suelo en el estado Ve del girasol en ambos suelos las tres campañas.	29
Tabla 3.4. Cotización del girasol promedio del mes de marzo en la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca y prima otorgada por el girasol de calidad alto oleico cada año.	34
Tabla 3.5. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de girasol en el Paleustol y Ustipsamment, en las 3 campañas. Ve: emergencia; R1: estado estrella R5: comienzo de floración; R9: madurez fisiológica.....	35
Tabla 3.6. Materia seca (MSf), índice de área foliar (IAFf), área foliar específica (AFEf), tasa de asimilación neta (TANv-f) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA _{MSf}), en floración de girasol para cada campaña en el Paleustol.	46
Tabla 3.7. Contraste entre tipo de híbrido en materia seca (MSf), índice de área foliar (IAFf), área foliar específica (AFEf), tasa de asimilación neta (TANv-f) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA _{MSf}), en floración en el Paleustol.....	47
Tabla 3.8. Contenido relativo de agua de las hojas (CRAf), temperatura foliar (T° foliar) y diferencia entre temperatura del aire y foliar (T° aire - T° foliar), en floración de 3 híbridos de girasol en el Paleustol.....	47
Tabla 3.9. Contrastes entre tipos de híbrido en índice de cosecha (IC) en 2012/13 y 2013/14, en el Paleustol.	49
Tabla 3.10. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto _{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña en el Paleustol.	51
Tabla 3.11. Contraste entre tipos de híbridos en rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto _{MG}), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) en el Paleustol.	51
Tabla 3.12. Contraste entre tipos de híbridos en precio final de cada campaña en el Paleustol.	52
Tabla 3.13. Contraste entre tipos de híbridos en porcentaje de materia grasa en grano (MG), peso de mil granos (PMG) y granos por m ² (granos m ⁻²), en cada campaña en el Paleustol.....	52
Tabla 3.14. Materia seca (MSf), índice de área foliar (IAFf), área foliar específica (AFEf), tasa de crecimiento del cultivo (TCCv-f) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA _{MSf}), en floración de cada campaña en el Ustipsamment.	54
Tabla 3.15. Contraste entre tipos de híbrido en materia seca (MSf), índice de área foliar (IAFf), área foliar específica (AFEv-f), tasa de crecimiento del cultivo (TCCv-f) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA _{MSf}), a floración en el Ustipsamment.....	54

Tabla 3.16. Contenido relativo de agua de las hojas (CRA_f), temperatura foliar (T° foliar) y diferencia entre temperatura del aire y foliar (T° aire- T° foliar), en floración de 3 híbridos en el Ustipsammet.....	55
Tabla 3.17. Contraste entre tipos de híbrido en materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del residuo (MS_r), índice de cosecha (IC) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS a madurez fisiológica ($EUA_{MS_{mf}}$), en el Ustipsammet.....	55
Tabla 3.18. Materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del residuo (MS_r), índice de cosecha (IC) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EUA_{MS_{mf}}$) en los tratamientos fertilizado y testigo de las campañas 2012/13 y 2013/14 en el Ustipsammet.	56
Tabla 3.19. Contraste entre tipos de híbridos en rendimiento en grano (Rd_{to}), porcentaje de materia grasa en grano (MG) y rendimiento de materia grasa (Rd_{toMG}) en el Ustipsammet....	59
Tabla 3.20. Contraste entre tipos de híbridos en precio final de cada campaña en el Ustipsammet.....	59
Tabla 3.21. Contraste entre tipos de híbridos en margen bruto (MB) en el Ustipsammet.	60
Tabla 3.22. Rendimiento en grano (Rd_{to}), rendimiento de materia grasa (Rd_{toMG}), número de granos por m^2 (granos m^{-2}), eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica de agua (PEA), en los tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsammet.....	61
Tabla 4.1. Descripción de las variedades de trigo y cebada utilizadas durante el ensayo.....	90
Tabla 4.2. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en los cereales de invierno. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea.....	91
Tabla 4.3. Contenido de $N-NO_3^-$ ($kg\ ha^{-1}$) en el perfil del suelo en siembra-emergencia de los cereales en ambos suelos las tres campañas.....	93
Tabla 4.4. Cotización de trigo y cebada utilizada para el cálculo de la PEA y MB . Mes y fuente en la que se obtuvo.....	98
Tabla 4.5. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de trigo ciclo largo (CL), trigo ciclo corto (CC) y cebada en el Paleustol y Ustipsammet, en las 3 campañas. Z1.0: emergencia; Z3.1: primer nudo visible, Z3.9: aparición de hoja bandera; Z6.5: anthesis; Z9.9: madurez fisiológica; y cosecha.....	101
Tabla 4.6. Índice de área foliar (IAF_f), materia seca (MS_f), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de cada variedad en el Paleustol. Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades dentro de cada campaña.....	112
Tabla 4.7. Rendimiento en grano ($Rd_{to0\%}$) y eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.....	117
Tabla 4.8. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.....	122
Tabla 4.9. Área foliar específica (AFE_f), materia seca (MS_f), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de cada variedad en el Ustipsammet.....	123
Tabla 4.10. Índice de área foliar (IAF_f), tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) y contenido relativo de agua (CRA) de las distintas variedades de trigo y cebada en las tres campañas en el Ustipsammet.....	124
Tabla 4.11. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}) y eficiencia de uso de agua para producción de MS_{mf} ($EUA_{MS_{mf}}$) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsammet.....	126
Tabla 4.12. Rendimiento en grano ($Rd_{to0\%}$), eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) y granos por m^2 (granos m^{-2}) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsammet.....	130

Tabla 4.13. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment. 135

Tabla 5.1. Descripción de las variedades de cártamo y colza utilizadas durante el ensayo. 165

Tabla 5.2. Momento de fertilización, tipo de fertilizante y dosis de nutrientes para cártamo y colza. 166

Tabla 5.3. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en cártamo. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea. 166

Tabla 5.4. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en colza. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea. 167

Tabla 5.5. Contenido de $N-NO_3^-$ ($kg\ ha^{-1}$) en el perfil del suelo en siembra-emergencia de las oleaginosas invernales en ambos suelos las tres campañas. 169

Tabla 5.6. Cotización de cártamo y colza utilizada para el cálculo de la PEA y MB. Mes y fuente en la que se obtuvo. 173

Tabla 5.7. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de cártamo en el Paleustol y Ustipsamment, en las 3 campañas. E: emergencia; R: roseta (4 hojas), IE: inicio de elongación; RF: ramificación IF: inicio de floración; MF: madurez fisiológica; y cosecha. 176

Tabla 5.8. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de colza en el Paleustol y Ustipsamment, en las 3 campañas. E: emergencia; B4: inicio de roseta, D1: botón cubierto; F1: inicio de floración; G1: silicuas de 4 cm; G4: coloreado de granos y cosecha. 176

Tabla 5.9. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m^2 y peso de mil granos (PMG) de cada campaña de cártamo en el Paleustol. 187

Tabla 5.10. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m^2 y peso de mil granos (PMG) de los tratamientos fertilizado y testigo de cártamo en el Paleustol. 187

Tabla 5.11. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña de cártamo en el Paleustol. 188

Tabla 5.12. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m^2 y peso de mil granos (PMG) de cada campaña de cártamo en el Ustipsamment. 190

Tabla 5.13. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m^2 y peso de mil granos (PMG) de los tratamientos fertilizado y testigo de cártamo en el Ustipsamment. 190

Tabla 5.14. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña de cártamo en el Ustipsamment. 191

Tabla 5.15. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}) y eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) de cada cultivar de colza en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol. 193

Tabla 5.16. Precio final y margen bruto (MB) de los tratamientos fertilizado y testigo de colza en cada campaña en el Paleustol. 194

Tabla 5.17. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de ambos cultivares de colza en cada campaña en el Paleustol. 194

Tabla 5.18. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos

(EUA), granos por m ² y peso de mil granos (PMG) del tratamiento fertilizado de colza en las campañas 2012 y 2014 en el Ustipsamment).	196
Tabla 5.19. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de ambos cultivares de colza en cada campaña en el Ustipsamment.	197
Tabla 5.20. Eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cártamo y colza en cada campaña en el Paleustol y Ustipsamment.	198

Tabla 6.1. Materia seca del rastrojo (MSr) promedio de las 3 campañas y su relación C/N (campaña 2013/14), de los distintos cultivos del tratamiento fertilizado y testigo en ambos suelos.	220
Tabla 6.2. Precio bruto y rinde de indiferencia para el tratamiento fertilizado y testigo de los distintos cultivos, promedios de las 3 campañas.	220
Tabla 6.3. Necesidad, IC y extracción de N (nitrógeno) y P (fósforo), y P crítico* en suelo para cada cultivo. Fuente: Echeverría y García, 2014; www.oleaginosas.org	220
Tabla 6.4. Rendimiento en base seca (Rdto _{0%} , kg ha ⁻¹), eficiencia de uso de agua (EUA, kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) y margen bruto (MB, u\$s ha ⁻¹) de los cultivos en los tratamientos testigo y fertilizado para la campaña seca y las húmedas, en ambos suelos. Se indica la probabilidad de ocurrencia precipitaciones menores o iguales a las de la campaña seca y mayores o iguales a las de las campañas húmedas, durante el ciclo de cada cultivo.	221

ABREVIATURAS

A+L: arcilla + limo (%)

ACP: Análisis de componentes principales.

AF_f: es el área foliar promedio de una planta en R5.5-R6 (m²)

AF_v: es el área foliar promedio de una planta en estado vegetativo (m²)

AFE_f: área foliar específica en floración (cm² g⁻¹)

AU_e: contenido de agua útil en el suelo en emergencia del cultivo (mm)

AU_f: contenido de agua útil en el suelo en floración del cultivo (mm)

AU_{mf}: contenido de agua útil en el suelo en madurez fisiológica del cultivo (mm)

Cap. C: capacidad de campo (% o mm)

CC 1: trigo ciclo corto calidad industrial 1.

CC 3: trigo ciclo corto calidad industrial 3.

CL 1: trigo ciclo intermedio-largo calidad industrial 1.

CL 3: trigo ciclo intermedio-largo calidad industrial 3.

CP 1: componente principal 1

CP 2: componente principal 2

CRA_f: contenido relativo de agua medido en floración (%)

CV: híbridos de girasol convencionales

Dap: densidad aparente (g cm⁻³)

E: emergencia

ES: híbridos de girasol alto esteárico

ETP: evapotranspiración potencial (Penman)

EUA: eficiencia de uso de agua para la producción de granos (kg ha⁻¹ mm⁻¹)

EUA_{MS_f}: eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a floración (kg ha⁻¹ mm⁻¹)

EUA_{MS_{mf}}: eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a madurez fisiológica (kg ha⁻¹ mm⁻¹)

F: floración

FDA: fosfato de amonio (18-20-0)

IAF_f: índice de área foliar en floración (m² de hojas por m⁻² de suelo)

IC: índice de cosecha

- MB: margen bruto (u\$ s ha^{-1})
- MF: madurez fisiológica
- MG: materia grasa en grano (%)
- MO: materia orgánica (%)
- MS f : materia seca aérea en floración del cultivo (kg ha^{-1})
- MS mf : materia seca aérea en madurez fisiológica del cultivo (kg ha^{-1})
- MS r : materia seca de los residuos aportados al suelo (kg ha^{-1})
- MS v : materia seca aérea en estado vegetativo del cultivo (kg ha^{-1})
- N-NO $_3^-$: nitrógeno en nitratos (kg ha^{-1})
- NEM: número de espigas por m^2 (cereales invernales)
- NGE: número de granos por espiga (cereales invernales)
- OL: híbridos de girasol alto oleico
- P: fósforo (ppm)
- PEA: productividad económica del agua (u\$ $\text{s ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)
- PF: peso fresco (g)
- PH: peso hectolítrico (kg hl^{-1})
- PM: planicie medanosa
- PMG: peso de mil granos (g)
- PMP: punto de marchitez permanente (% o mm)
- PPe f : precipitaciones ocurridas entre emergencia y floración del cultivo (mm)
- PPe mf : precipitaciones ocurridas entre emergencia y madurez fisiológica del cultivo (mm)
- PS: peso seco (g)
- PS f : peso seco promedio de una planta en R5.5-R6 (g)
- PS v : peso seco de una planta en estado vegetativo (g)
- PT: planicie con tosca
- PTG: peso turgente (g)
- Q: cociente fototermal ($\text{Mj } ^\circ\text{C}^{-1} \text{m}^{-2}$)
- R: radiación global diaria (Mj m^{-2})
- Rdto 0% : rendimiento en grano a 0% de humedad (kg ha^{-1})
- Rdto: rendimiento en grano a humedad comercial (kg ha^{-1})

XIII

Rdt_{MG}: rendimiento de materia grasa (kg ha⁻¹)

RSP: Región Semiárida Pampeana

TAN_{v-f}: tasa de asimilación neta media entre estado vegetativo y floración (g m⁻² día⁻¹)

TCC_{v-f}: tasa de crecimiento del cultivo media entre estado vegetativo y floración (g m⁻² día⁻¹)

Tb: temperatura base de crecimiento (°C)

Tm: temperatura media diaria (°C)

UC: uso consuntivo entre emergencia y madurez fisiológica (mm)

UC_{e-f}: uso consuntivo entre emergencia y floración (mm)

UC_{f-mf}: uso consuntivo entre floración y madurez fisiológica (mm)

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

La demanda mundial de alimentos y energía se incrementa rápidamente y continuará haciéndolo con el crecimiento de la población y del ingreso promedio. Debido a que el suministro de granos es el producto entre el área de cultivo y el rendimiento, para satisfacer esta incesante demanda se requiere incrementar uno o ambos factores (Lobell *et al.*, 2009). Según estimaciones de la FAO se espera un incremento de la producción agrícola para el período 1998-2030 de 49 % en áreas de secano y 81 % bajo riego (Ali y Talukder, 2008).

Con la disminución per cápita de la superficie de tierra, la presión en el uso de la misma se ha intensificado, lo que representa un importante problema para la gestión del suelo y de los recursos hídricos. Las amenazas a la sustentabilidad de los ecosistemas y la resiliencia a la intensificación de la producción dependen del ambiente, siendo las regiones semiáridas particularmente vulnerables (Pala *et al.*, 2007).

La Región Semiárida Pampeana (RSP) no ha sido ajena a la expansión agrícola en los últimos años que se caracterizaron por el aumento de la superficie de cultivos de cosecha, principalmente de soja. No obstante, dicha región está sometida a la irregularidad de los fenómenos climáticos, especialmente la variabilidad anual y mensual de las precipitaciones, alternando con frecuencia periodos de excesos y déficit hídricos. Esto impone fuertes limitaciones a la productividad de los cultivos, dado que solamente una pequeña proporción de las precipitaciones puede ser utilizada por los mismos (Fernández *et al.*, 2008; Pala *et al.*, 2007; Rockström, 2003). En estas condiciones, generalmente la eficiencia de uso del agua (EUA) y los rendimientos de los cultivos son considerablemente menores en comparación a los de regiones sin limitaciones hídricas. Sadras y Calviño (2001) comprobaron que el déficit hídrico estacional fue el responsable del 90 % de la variación en rendimiento de soja, y 76 % en maíz, además la EUA disminuyó con el incremento del déficit hídrico para ambos cultivos.

La desventaja comparativa de las producciones de granos y oleaginosas en regiones semiáridas surge de que los costos de implantación de los cultivos sean similares a los de otras regiones, pero a menores retornos, y por ende menores rentabilidades. Tales desventajas de los productores de commodities en las regiones semiáridas puede llevar a la degradación del suelo (Bossio *et al.*, 2010), lo cual a su vez repercute negativamente sobre la EUA de los cultivos. De acuerdo a Rockström y Falkenmark (2000), las restricciones biofísicas que causan bajos rendimientos en estas regiones pueden ser superadas con un manejo adecuado. En este sentido, y basado en la relación directa entre EUA y rendimiento de los cultivos, Ritchie y Basso (2008) resaltan la importancia del

manejo para obtener aumentos de EUA y por ende mayores rendimientos. Todas aquellas prácticas de manejo que contribuyan a incrementar la disponibilidad de agua y a mejorar la eficiencia en su uso, permitirán alcanzar sistemas de producción más estables y rentables.

La correcta elección de cultivos y la rotación de los mismos es importante en los sistemas de producción sustentables ya que facilita el manejo de malezas, enfermedades y fertilidad del suelo (Angus y Herwaarden, 2001; Tanaka *et al.*, 2005). Además permite estratificar el uso del agua y nutrientes del suelo a través de las diferentes profundidades efectivas de raíces de los integrantes de la rotación (Anderson *et al.* 2003; Copeland *et al.*, 1993; Moroke *et al.*, 2005). Asimismo la diversificación es una forma de disminuir el riesgo económico (Quiroga *et al.*, 2001; Tanaka *et al.*, 2002). Por ello, son muchos los investigadores que buscan nuevas alternativas de cultivos y rotaciones que sean más eficientes en el uso de agua, ya sea en regiones de secano (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2003; Dordas y Sioulas, 2008; Kar *et al.*, 2003; Lenssen *et al.*, 2007; Wright *et al.*, 1995) como en zonas irrigadas (Bishop *et al.*, 2010; Fan *et al.*, 2014; Kar *et al.*, 2007; Stanton *et al.*, 2001).

Otro enfoque sobre la productividad de los cultivos y su EUA, es considerar el valor económico de la producción en vez de solamente comparar los rendimientos. Nielsen *et al.* (2005), confrontaron diferentes sistemas de producción de las llanuras centrales de EEUU, concluyendo que la intensificación de la producción resulta beneficiosa cuando se tiene en cuenta el valor de los productos. Aplicando esta metodología, Noellemeyer *et al.* (2013) encontraron que en los sistemas de producción agrícola de la RSP, las oleaginosas tienen EUA considerablemente inferiores a las gramíneas, pero cuando se tiene en cuenta su valor de mercado, la EUA por unidad de superficie incrementa considerablemente hasta casi igualar la de maíz, en el caso de girasol.

Varios autores señalan la necesidad de aumentar la *productividad económica del agua* (PEA), definida como el valor recibido por unidad de agua usada ($\text{u}\$s \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), especialmente en áreas donde el recurso agua es escaso (Aldaya *et al.*, 2009; Ali y Talukder, 2008; Molden *et al.*, 2010). Este objetivo puede lograrse ya sea por un incremento en la *productividad física del agua* que lleve a producir más kg de grano mm^{-1} como por la producción de cultivos de más elevado valor.

Estos antecedentes inducen a considerar otra estrategia alternativa para incrementar la productividad y EUA de los sistemas agrícolas de la región semiárida, que consiste en cultivar especies que tengan mayor calidad y valor comercial.

Cultivos alternativos y variedades de cultivos tradicionales de calidad diferencial

El éxito de la producción de cultivos en la región semiárida está supeditado a hacer un uso eficiente de las precipitaciones, que son frecuentemente limitadas y erráticas en su distribución espacial y temporal. Son conocidos los beneficios de realizar adecuadas prácticas de manejo de residuos, barbecho y malezas en la región (Fernández *et al.*, 2008 y 2009; Quiroga *et al.*, 2005) no obstante, la correcta elección de cultivo tiene un papel no menos importante en la eficiencia de uso de las precipitaciones (Noellemeyer *et al.*, 2013).

La EUA varía con el tipo de cultivo y la parte de este que se cosecha, siendo más alta para los forrajes que para cultivos de grano. Además la EUA es relativamente más alta para la producción de almidón (cereales) que para aceite (oleaginosas). Sin embargo esto no se debería a ineficiencias fisiológicas, si no al costo fotosintético de producir proteína, aceite o almidón (Andrade, 1995; Nielsen *et al.*, 2005). Igualmente, las variedades con tendencia a acumular mayor proporción de materia grasa o proteína tendrán granos más “costosos”, lo cual suele ser valorado por el mercado a través de bonificaciones en el precio. Por esta razón es que se sugiere utilizar la PEA ($\text{u}\$s \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) para comparar la eficiencia con que los diferentes tipos de cultivos hacen uso del agua.

Por otra parte, el desarrollo de la agroindustria y la evolución en las recomendaciones nutricionales en la alimentación humana está originando mercados diferenciados de productos por calidad. Por ejemplo, a partir de diferentes genotipos de girasol se producen aceites para diversos usos (consumo, industria, biodiesel), igualmente, los trigos se categorizan según sus características panaderas (Dubois y Gaido, 2006). Dado que la agricultura debe responder a las necesidades del mercado consumidor, se podría apuntar a maximizar la rentabilidad de la empresa agropecuaria mediante la utilización de genotipos superiores desde el punto de vista cualitativo, aumentando el valor agregado de la producción.

La desventaja en la producción de commodities en las regiones semiáridas con respecto a las más húmedas, se agrava debido a que el mejoramiento genético ha producido avances en el potencial de rendimiento de los cultivos, muchas veces a expensas de características morfológicas y fenológicas que aportan a la resistencia a la sequía (Angadi y Entz, 2002; Zhang *et al.*, 2010). Por ejemplo, Aziz *et al.* (2017) comprobaron que los cultivares modernos de trigo en Australia tienen menor largo y biomasa de raíces que los antiguos. Songsri *et al.* (2009) encontraron en una comparación de diferentes híbridos recientes, que la resistencia a la sequía en maní está fuertemente determinada por el

tamaño del sistema radical, el contenido de clorofila y el área foliar específica. Para el caso de maíz en la región semiárida pampeana, Gaggioli *et al.* (2010) hallaron importantes diferencias en el volumen de suelo explorado por las raíces. Los híbridos de ciclo corto mostraron rendimientos más bajos que los de ciclo intermedio-largo, y fueron menos eficientes en la captación de recursos, debido al menor desarrollo radical. Asimismo, Zhang *et al.* (2010) encontraron que la EUA y el rendimiento de distintos cultivares de trigo están fuertemente relacionados con el contenido de clorofila de la hoja, la tasa fotosintética, el potencial agua foliar, la conductancia estomática, la temperatura del canopeo y el contenido relativo de agua.

Blum (2009) en su revisión enfatiza que dado que la producción de biomasa depende directamente de la transpiración, cuando se realiza mejoramiento genético para aumentar el rendimiento en condiciones de sequía, se deben buscar rasgos que le permitan al cultivo lograr un mayor y más efectivo uso del agua disponible, como sistemas radicales más profundos, mayor conductancia estomática, ajuste osmótico, adecuación del ciclo de crecimiento a la distribución de lluvias, etc. tratando de maximizar el uso de agua para transpiración y evitar las pérdidas por evaporación.

En la RSP es poca la información disponible sobre la producción de cultivos no tradicionales, así como tampoco se conoce con certeza la aptitud de la región para originar granos de calidad diferencial que puedan contar con una bonificación en su comercialización.

Por lo antedicho, es necesario investigar la EUA de nuevos genotipos con ciertos atributos de calidad, así como también, indagar en cultivos alternativos que han demostrado buen comportamiento en regiones similares y podrían adaptarse a las condiciones agroecológicas de la RSP. Además es importante medir las variables fisiológicas que puedan dar cuenta de las limitaciones que presentaron a lo largo de su ciclo fenológico y que actúen como indicadores del impacto ambiental que implica su cultivo.

Influencia del tipo de suelo en la EUA y PEA de los cultivos

La diferencia relativa en EUA entre tipos de cultivos no siempre es la misma a través de distintas localidades. Por ejemplo, la diferente distribución de las precipitaciones pudo influir en el comportamiento de trigo y arveja en las Grandes Llanuras de EEUU (Nielsen *et al.*, 2005). La arveja, al tener un sistema radical relativamente superficial pudo convertir eficientemente las lluvias estacionales en biomasa pero no fue eficiente para

usar el agua almacenada en el suelo. Lo inverso ocurrió con trigo que tuvo ventaja en las localidades donde hubo abundante humedad en el suelo a la siembra.

Las características de los suelos, especialmente composición granulométrica y la profundidad efectiva, también afectan la producción relativa de los cultivos a través de la tensión a la cual retienen el agua disponible y su influencia en el desarrollo radical.

En relación al espesor del perfil, Sadras y Calviño (2001) en el sudeste de la región pampeana, encontraron que la tasa de reducción del rendimiento con la disminución de la profundidad del suelo fue mayor para maíz, menor para trigo y soja e intermedia para girasol. Dichos resultados fueron relacionados a; i) período de crecimiento del cultivo, (debido a la mayor demanda evaporativa los cultivos de verano serían más susceptibles a la disminución de la profundidad del suelo), ii) época de período crítico del cultivo y iii) plasticidad vegetativa y reproductiva del mismo. Estos autores señalan que en suelos someros, donde el potencial de crecimiento en profundidad del sistema radical no es relevante, las características de las raíces relacionadas a la eficiencia para captar los recursos del suelo y la velocidad de producción de “raíces de lluvia” en respuesta a las precipitaciones son los rasgos más importantes. Mientras que en suelos profundos, donde la sequía se asocia a escasez de lluvias y/o alta evaporación, el girasol se comportaría mejor que la soja por su capacidad de absorber agua de capas más profundas.

La influencia de la textura del suelo en la EUA de diversos cultivos fue estudiada en condiciones controladas por Katerji y Mastroilli (2009). Quienes encontraron que la EUA de girasol y maíz, entre otros cultivos, fue significativamente reducida en un suelo arcilloso respecto a otro más liviano, al reducirse la extracción de agua en momentos críticos de su ciclo.

La materia orgánica del suelo y su relación con la textura también puede condicionar el rendimiento de los cultivos, la respuesta a la fertilización y la EUA. Ensayos realizados en la RSP demostraron que la EUA para producción de grano en cebada fue mayor en suelos con mejor relación materia orgánica/ limo+arcilla, lo que podría deberse a la mayor disponibilidad de nitrógeno en esos suelos (Quiroga *et al.*, 2006). Además, evaluaciones en trigo y cártamo en la RSP mostraron que el rendimiento estuvo positivamente relacionado con la capacidad de retención de agua y el contenido de materia orgánica de la capa superior del suelo (Díaz-Zorita *et al.*, 1999; Quiroga *et al.*, 2001).

Por otra parte, el tipo de cultivo y la genética inciden en forma importante sobre su capacidad de aprovechar el agua de las napas. Nosetto *et al.* (2009), describieron las banda de profundidad de napa de aporte óptimo (aquella en la que se alcanza el máximo

rendimiento esperable en condiciones de abastecimiento hídrico ideal), correspondiendo a profundidades de 0.7 a 1.7 m, 1,2 a 2,2 m y 1,4 a 2,4 m para trigo, soja y maíz, respectivamente. Del mismo modo, en el Este de India se compararon tres oleaginosas; cártamo, lino y mostaza, comprobándose que el cártamo presentaba la mayor EUA, rendimiento y rentabilidad, atribuyéndolo especialmente a la profundización de sus raíces y su capacidad de extraer más agua del subsuelo que los otros cultivos (Kar *et al.*, 2007). También existen diferencias en la profundidad de exploración radical entre genotipos de la misma especie, como se demostró para girasol, maíz y trigo (Angadi y Entz, 2002; Gaggioli *et al.*, 2010; Villar, 2001).

Los tipos de suelo prevalecientes en regiones semiáridas se caracterizan por su baja capacidad de retención de agua, ya sea por su textura gruesa o por estar limitados en profundidad por el manto calcáreo. Los antecedentes indican que dichos suelos brindan distinta disponibilidad de agua y nutrientes para los cultivos, lo cual repercute de manera diferencial en la productividad de los mismos. Por tal motivo, en esta tesis la comparación de los cultivos en cuanto a EUA, características fisiológicas que la determinan, calidad de los granos y PEA se realizó en dos ensayos bajo el mismo manejo y condiciones ambientales pero en dos suelos con características contrastantes en cuanto a la economía del agua, que a sus vez son los tipos de suelos más frecuentes en la RSP.

Los ensayos se repitieron en tres campañas lo que permitió explorar la variabilidad anual de las precipitaciones y obtener resultados para registros pluviométricos superiores e inferiores al valor más probable.

1.1 Objetivo general

El objetivo general de esta tesis es evaluar cultivos con precio diferencial por calidad de grano en cuanto a productividad física y económica del agua, así como las variables fisiológicas vinculadas a las mismas, en dos suelos contrastantes en manejo de economía del agua. De modo de obtener las opciones más adecuadas para integrar a la rotaciones y mejorar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas y mixtos de la región semiárida.

La originalidad de la propuesta radica en el estudio de la eficiencia de uso de agua de distintos cultivos, en unidades comparables para granos de diferente composición ($\text{u\$s ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), y en escenarios que difieren en economía del agua, dados por tipo de suelo, campaña y fertilización.

1.2 Objetivos específicos

1. Evaluar cultivos alternativos y tradicionales con variedades de calidad diferencial. Compararlos en cuanto a su rendimiento, uso de agua, calidad de grano y las variables fisiológicas asociadas en dos suelos contrastantes aunque bajo las mismas condiciones ambientales.
2. Analizar como el tipo de suelo y las precipitaciones de la campaña influyen en las características ecofisiológicas de los cultivos y su efecto en la EUA, rendimiento y calidad de grano.
3. Evaluar y comparar en términos económicos los cultivos y determinar cuáles ofrecen mejores resultados asociado al suelo y las condiciones climáticas de la campaña.
4. Proponer la rotación de cultivos más adecuada para mejorar la sustentabilidad en cada suelo, tomando en cuenta las variables productivas, económicas y ambientales.

1.3 Hipótesis

- I. Los suelos de la región semiárida presentarán distintas limitantes y en diferentes momentos para los cultivos. En el Paleustol el crecimiento se restringirá principalmente en post-floración, al agotarse la humedad del suelo. En el Ustipsamment en cambio, con baja retención de agua y N disponible por unidad de profundidad, los cultivos tendrán bajas tasas de crecimiento en pre-floración.

- II. Las diferencias relativas en EUA entre cultivos y variedades dependerán del tipo de suelo. En el Paleustol habrá menos diferencias entre variedades de trigo y girasol de distinta calidad, y será más favorable para cereales invernales, por transcurrir su período crítico con mejor balance precipitaciones/ETP. Mientras que en el Ustipsamment tendrán ventajas las oleaginosas y variedades de ciclo largo al hacer una mayor exploración del perfil de suelo.
- III. En el Paleustol, los cultivares de trigo de grupo 1 de calidad industrial y los girasoles de composición diferencial de aceite, pueden superar la PEA de los tradicionales.
- IV. En el Ustipsamment, la cebada cervecera y las oleaginosas invierno-primaverales pueden superar la PEA de trigo debido a su mayor precio.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

2.1 Caracterización climática

El estudio se llevó a cabo en el campo anexo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil, La Pampa (latitud: 36°32'16.32"S y longitud 63°59'24.49"), que se encuentra comprendido dentro de la “Región Semiárida Pampeana”, la cual abarca un área de 14682 km², dentro de la Eco-región Pampeana (Viglizzo *et al.*, 2010).

La precipitación media anual en Anguil, para el período 1973-2014 es de 759 mm, mientras que la evapotranspiración potencial (ETP) calculada por el método de Penman-Monteith para el mismo período es de 1212 mm (Belmonte *et al.*, 2017). En la Figura 2.1 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones y de la ETP. Puede observarse que sólo en marzo y abril las precipitaciones alcanzan a cubrir la ETP, mientras que el déficit hídrico se hace más crítico en los meses de pleno verano. La región semiárida se caracteriza porque en la mayoría de los años las lluvias durante el ciclo de los cultivos no cubren sus requerimientos.

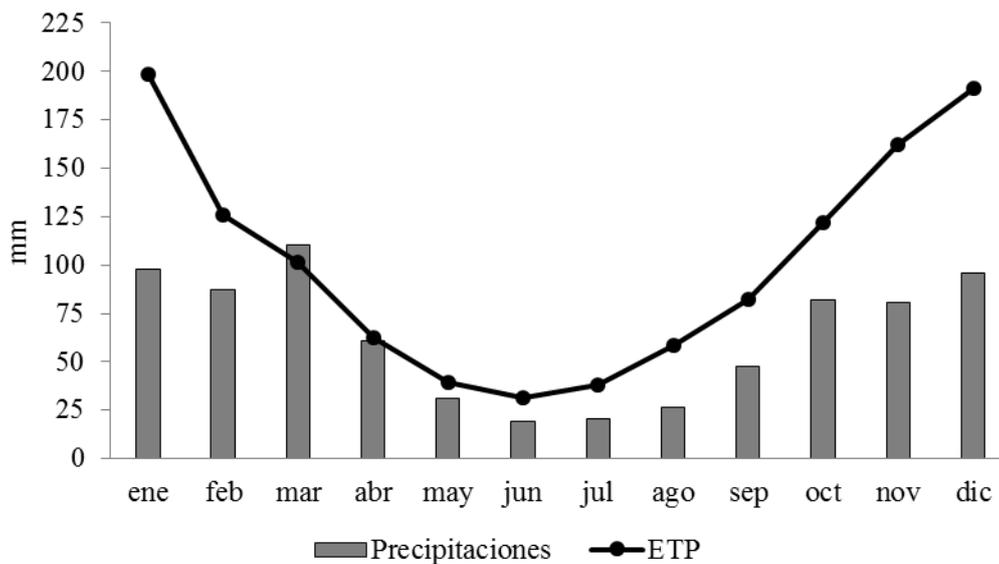


Figura 2.1. Distribución mensual de las precipitaciones y evapotranspiración potencial en la localidad de Anguil.

Con los datos mensuales de precipitaciones de la serie histórica 1960-2014, se obtuvo el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) de tres meses para la localidad de Anguil. Este índice es útil para identificar ciclos secos o húmedos, el uso de la escala de 3 meses se debe a su relación con las sequías agronómicas (Scian, 2002). En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación del IPE (Skansi *et al.*, 2006).

Al analizar el IPE a escala 3 meses, en los últimos 40 años (Figura 2.2) se puede observar la gran variabilidad inter-anual de las precipitaciones y la alta frecuencia de extremos húmedos y secos. También queda evidenciado el ciclo húmedo que se dió en la década de los 90 y que propició la extensión de la frontera agropecuaria hacia esta región. En la década del 2000 en cambio, se observa la tendencia a una declinación de las precipitaciones. En la Tabla 2.2 se muestran los valores de IPE de 3 meses para los años en los que se realizaron los ensayos correspondientes a esta tesis (2011-2014). Se observaron en general valores de IPE positivos, a excepción del año 2013 y comienzos del 2014, cuando hubo un extenso período de sequía leve a moderada.

Tabla 2.1. Clasificación del IPE. La tercera columna indica la frecuencia teórica de ocurrencia de cada categoría (Skansi *et al.*, 2006).

IPE	Categoría	Frecuencia
≤ -2.00	Extremadamente seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy seco (sequía severa)	1 en 20 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco (sequía moderada)	1 en 10 años
-0.50 a -0.99	Ligeramente seco	
0.49 a -0.49	Normal	1 en 3 años
0.50 a 0.99	Ligeramente húmedo	
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo	1 en 10 años
1.50 a 1.99	Muy húmedo	1 en 20 años
≥ 2.00	Extremadamente húmedo	1 en 50 años

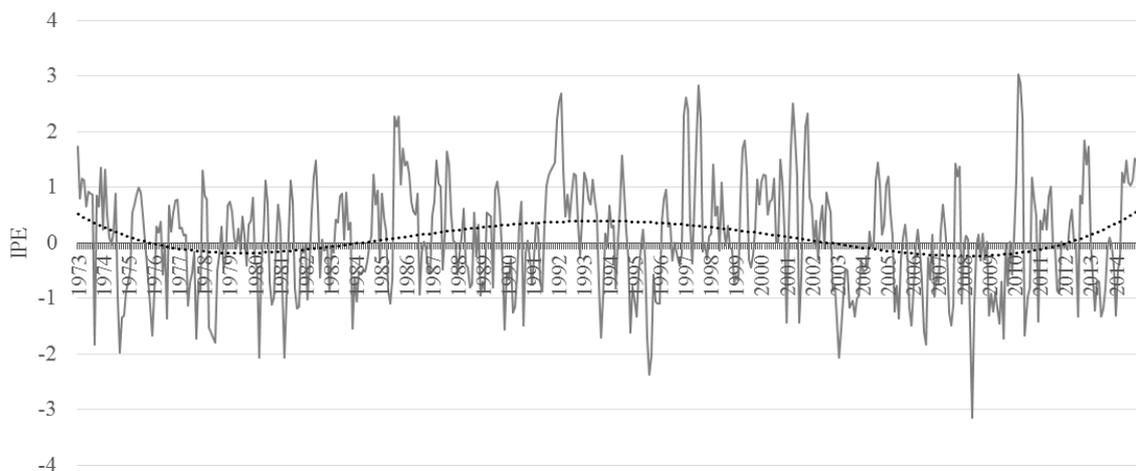


Figura 2.2. Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) a escala 3 meses, para la localidad de Anguil, calculado mediante el SPI Program (NDMC, 2017). Se agregó una línea de tendencia polinómica.

Tabla 2.2. IPE a escala de 3 meses para los años 2011 a 2014.

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2011	0.40	0.24	0.61	0.25	0.83	1.02	-0.02	-0.06	-0.85	-0.91	0.03	-0.07
2012	-0.07	-0.11	0.37	0.61	0.03	-0.03	-1.32	0.86	0.71	1.85	1.41	1.73
2013	0.05	-0.59	-1.22	-0.67	-0.69	-1.33	-1.18	-0.82	-0.07	0.10	-0.05	-0.40
2014	-1.30	-0.49	-0.25	1.27	1.09	1.49	1.08	1.04	1.13	1.52	1.46	0.52

Para el período 1973-2014, la temperatura media anual en la EEA INTA Anguil en abrigo a 1,5 m de altura fue de 15,4°C, y la temperatura media de cada mes se muestra en la Tabla 2.3. La fecha media de primera helada (en abrigo a 1,5 m) es el 26 de abril +/- 16 días y la de última helada el 9 de octubre +/- 19 días (Belmonte *et al.*, 2017).

Tabla 2.3. Temperatura media mensual en abrigo a 1,5 m de altura, para cada mes del año, en el período 1973-2014, en la EEA INTA Anguil.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temperatura (°C)	23,5	21,7	19,2	15,5	11,6	8,4	7,6	9,6	12,5	15,9	19,5	22,3

En el transcurso del ensayo, los datos meteorológicos fueron tomados en la estación meteorológica presente en el sitio experimental, EEA INTA Anguil. Se utilizaron:

- Precipitaciones diarias (mm).
- Temperatura máxima y mínima diaria en abrigo meteorológico a 1,5 m de altura (°C).
- Temperatura mínima a 0,05 m (°C).
- Radiación global diaria ($Mj\ m^{-2}\ día^{-1}$).
- Evapotranspiración potencial diaria (mm) por el método de Penman-Monteith.

2.2 Caracterización de los suelos

Los ensayos se realizaron bajo la misma metodología en dos suelos de características contrastantes presentes en el sitio de estudio, EEA INTA Anguil. Uno fue un Paleustol petrocálcico (USDA-NRCS, 2014) que posee textura franca y presenta, en el sitio experimental, un manto calcáreo entre 0,8 y 1 m de profundidad (Foto 2.1a). El otro suelo fue un Ustipsamment típico (USDA-NRCS, 2014) de textura arenosa franca, profundo, con capa freática que fluctúa alrededor de los 3 m de profundidad (Foto 2.1b). Ambos

sitios se encuentran a 5 km de distancia entre sí por lo que presentan las mismas condiciones meteorológicas.



Foto 2.1. Perfil del suelo en a) Paleustol y b) Ustipsamment.

Dichos suelos son representativos de las dos unidades geomorfológicas presentes en la región agrícola-ganadera de la provincia de La Pampa; la Planicie Medanosas Ondulada (PM) y la Planicie con Tosca (PT) (Figura 2.3).

El Ustipsamment típico tiene las características de los suelos dominantes de la PM; son profundos, con secuencias de horizontes A, AC y C y textura arenosa-franca a arenosa. Por su textura y por los contenidos de MO bajos y muy bajos, tienen poca capacidad para la retención de humedad por unidad de profundidad. No obstante, en amplias zonas de esta región la localización de la napa freática entre 1 y 3 m de profundidad favorece el desarrollo de cultivos de cosecha y pasturas perennes. Los contenidos de nitrógeno son bajos y generalmente están bien provistos de fósforo. Presentan permeabilidad rápida y escurrimiento casi nulo. Debido a su pobre estructura estos suelos son susceptibles a sufrir procesos de erosión eólica.

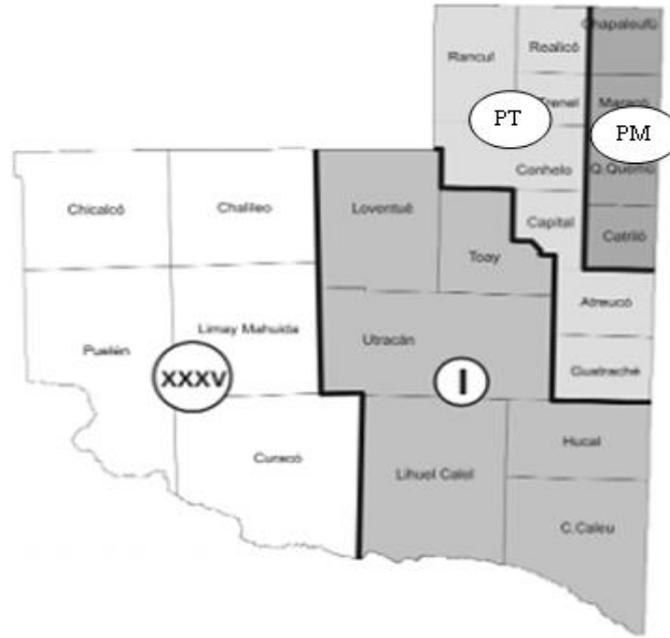


Figura 2.3. Mapa de la provincia de La Pampa indicando el área comprendida por la planicie con tosca (PT) y planicie medanosa (PM). Adaptado de Caviglia *et al.* 2010.

El Paleustol petrocálcico en cambio, es el suelo dominante en la región de la PT. Allí los perfiles están limitados en profundidad por la presencia de un manto de tosca (horizonte petrocálcico) de espesor variable. La secuencia de horizontes más común es A, AC, C, Ck2, Ckm. La capa de tosca aparece en un gran rango de profundidades, desde cerca de la superficie a más de 1,40 m. Las texturas predominantes son franco-arenosas, con contenidos de arena que no exceden el 60 %. Si bien los contenidos de MO son de bajos a medios, la capacidad de retención de agua duplica a la de los suelos de la PM, sin embargo debido a las restricciones en su profundidad por la presencia de la capa de tosca, pueden almacenar comparativamente menos agua útil cuando la profundidad efectiva de las raíces de los cultivos excede 1,4 m. Estos suelos pueden presentar compactaciones superficiales y subsuperficiales con valores de resistencia a la penetración que condicionan el crecimiento de las raíces y la infiltración de agua, por lo cual, si hay pendiente, son especialmente susceptibles a la erosión hídrica. Los contenidos de fósforo asimilable son de medios a bajos (Caviglia *et al.* 2010, Fernández y Casagrande, 1998). Las características físico-químicas de los suelos en los que se realizaron los ensayos fueron determinadas por única vez en 2011 y se detallan a continuación.

2.2.1 Análisis granulométrico

Se extrajeron 4 muestras de suelo con barreno tubular a intervalos de 20 cm hasta 100 cm de profundidad o hasta el manto calcáreo en el Paleustol. Se obtuvo una muestra compuesta de cada suelo para las profundidades: 0-20; 20-60; 60-100. Con las mismas se realizó el análisis granulométrico de los suelos por el método de Bouyoucos (Kroetsch y Wang, 2008), cuyos resultados figuran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Porcentaje de arcilla, limo, arena y clase textural para las distintas profundidades en ambos suelos.

Suelo	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural
Paleustol	0-20	8	40	52	franco arenoso/franco
	20-60	6	40	54	franco arenoso
	60-100	6	39	55	franco arenoso
Ustipsamment	0-20	2	14	84	arenoso franco/arenoso
	20-60	2	11	87	arenoso
	60-100	2	11	87	arenoso

2.2.2 Densidad aparente

En la campaña 2011/12 se realizaron tres calicatas en cada suelo en las que se determinó la densidad aparente mediante la técnica de cilindros de acero inoxidable con volumen conocido (Blake y Hartge, 1986). El promedio de las mismas para cada suelo y profundidad se presentan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Densidad aparente (Dap) para las distintas profundidades en ambos suelos.

Profundidad (cm)	Paleustol	Ustipsamment
0-20	1,21	1,22
20-40	1,23	1,19
40-60	1,19	1,16
60-80	1,11	1,23
80-100	1,11	1,2
100-120		1,24
120-140		1,23
140-160		1,28
160-180		1,24
180-200		1,27

2.2.3 Constantes hídricas

Los contenidos hídricos correspondientes a punto de marchitez permanente (PMP) y a Capacidad de Campo (Cap. C) se calcularon para cada suelo y profundidad a partir de los datos de textura, densidad y contenido de materia orgánica con el modelo SPAW (Saxton y Rawls, 2006). Con el mismo modelo se obtuvieron las curvas de retención hídrica para ambos suelos (Figura 2.4).

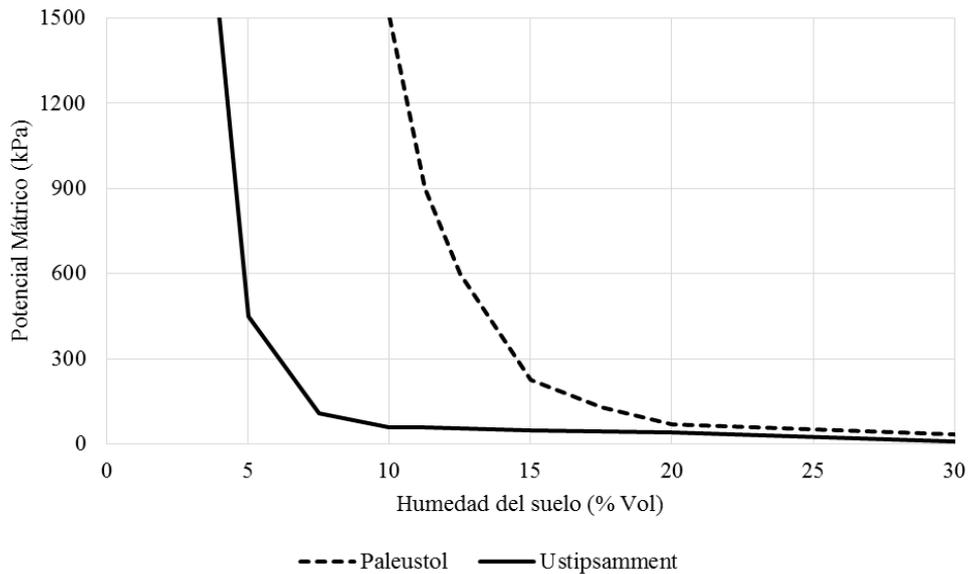


Figura 2.4. Curvas de retención hídrica para ambos suelos obtenidas a partir las ecuaciones de pedotransferencia de acuerdo a Saxton y Rawls (2006).

2.2.4 Fósforo disponible, materia orgánica, pH

Para los primeros 20 cm de cada suelo se determinó fósforo (P) disponible por el método Bray y Kurtz (Kuo, 1996), materia orgánica (MO) por el método descrito por Walkley y Black (1934), y pH en pasta saturada de suelo (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Fósforo disponible (P), materia orgánica (MO) y pH en los primeros 20 cm de profundidad de cada suelo.

Suelo	P (ppm)	MO (%)	pH
Paleustol	17	2,28	6,16
Ustipsamment	18	0,93	6,14

2.3 Caracterización del sistema productivo

En un relevamiento de las explotaciones agropecuarias del este de la provincia de La Pampa realizado por Bellini Saibene *et al.* (2004), se registró que el 70 % de las mismas posee menos de 500 has, siendo las más frecuentes de 100 a 200 has. En términos generales se realizan, principalmente, cultivos forrajeros implantados, perennes y anuales, complementándolos con una rotación de cultivos de cosecha como trigo, girasol, maíz, soja y sorgo (Caviglia *et al.* 2010). Tanto en la PT como la PM predominan los sistemas mixtos (49%), seguidos por los sistemas ganaderos (42%), mientras sólo entre el 6 y 9% de las explotaciones realizan exclusivamente agricultura. Por otra parte, el sistema tambo es significativo en los departamentos Atreucó y Guatraché de la PT.

En los sistemas agrícolas del centro y sudeste de la PT se realiza principalmente trigo, seguido de cultivos de cosecha gruesa. En el departamento Rancul, donde los suelos son más profundos, predominan los cultivos de verano. En la PM, por su parte, los sistemas agrícolas puros tienen un mayor perfil productivo de cosecha gruesa (Caviglia *et al.* 2010). En este sentido, la PM norte constituye la zona de mayor potencial productivo de la provincia, mientras la PM sur es la zona girasolera característica de la provincia (Bellini Saibene *et al.* 2004). Esta tendencia se ilustra en la Figura 2.5, donde para el período 2010-2016, se observa la mayor proporción de superficie sembrada con trigo en la PT respecto a la PM, destacándose en esta última la siembra de soja y girasol.

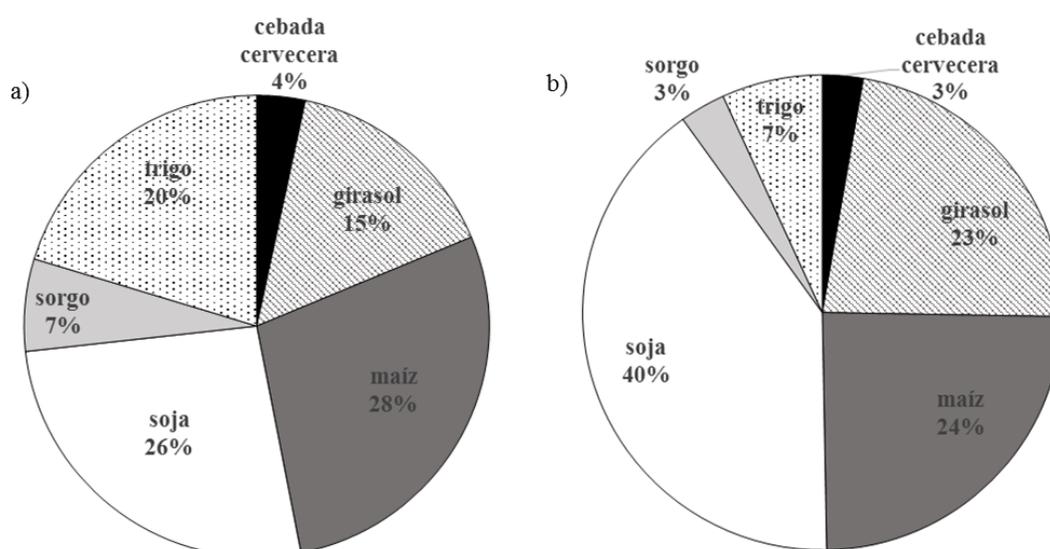


Figura 2.5. Porcentaje de la superficie agrícola correspondiente a cada cultivo en el período 2010-2016 en a) Planicie con tosca y b) Planicie medanosa, de la provincia de La Pampa (elaboración propia con datos de MAGyP, 2017).

CAPÍTULO III

GIRASOL

3.1 Introducción

En la región semiárida pampeana se desarrollan los sistemas mixtos de producción agrícola-ganaderos, con alternancia de pasturas perennes y cultivos anuales destinados a la producción de forraje y grano (cereales y oleaginosas). La eficiencia con la que los cultivos convierten el agua disponible en grano es un factor fundamental para aumentar la producción en estos ambientes marginales, donde el agua es el principal recurso limitante del rendimiento de los cultivos (Noellemeyer *et al.*, 2013; Quiroga *et al.*, 2015). La incorporación de oleaginosas en las rotaciones puede favorecer la sustentabilidad de los sistemas de producción, tanto por beneficios agronómicos (manejo de enfermedades, malezas y nutrientes) como económicos (Anderson *et al.*, 2003; Johnston *et al.*, 2002). Si bien en estas especies la productividad física del agua es menor que en los cereales, debido en parte al alto contenido energético del grano (Andrade, 1995; Nielsen *et al.*, 2005), la productividad económica del agua puede ser superior al presentar generalmente un mejor precio de mercado (Nielsen *et al.*, 2005; Noellemeyer *et al.*, 2013).

Se ha comprobado que a pesar de su baja EUA, el cultivo de girasol puede generar rendimientos satisfactorios con bajas precipitaciones en relación a otros cultivos. Esta especie ha mostrado adaptación a las condiciones de la región semiárida central, incluso aunque la evapotranspiración potencial excede a las precipitaciones en toda la estación de crecimiento de los cultivos de verano (Sadras y Hall, 1989). Varios investigadores destacan la elevada eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa del girasol, especialmente si se compara con otras especies C3 como soja (Andrade, 1995; Connor y Sadras, 1992; Kiniry *et al.*, 1992). Otra cualidad atribuida a este cultivo es el extensivo y rápido crecimiento de su sistema radical, que le permite extraer agua del suelo a profundidades mayores a los 2 m (Dardanelli *et al.*, 1997; Moroke *et al.*, 2005; Stone *et al.*, 2002). Dicha característica le daría más ventajas en suelos profundos, donde la sequía se asocia a escasez de lluvia y/o alta evaporación (Sadras y Calviño, 2001). Estos autores también comprobaron que la EUA de maíz y soja disminuyó con la menor disponibilidad de agua pero se mantuvo constante en girasol (alrededor de $7,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), además el rendimiento de maíz se vio más afectado que el de girasol en suelos poco profundos. Igualmente, Kiniry *et al.* (1992) se refieren a la adaptabilidad del cultivo y su buen rendimiento también en suelos someros. Anderson *et al.* (2003) obtuvieron buenos resultados en el Norte de las grandes planicies de USA, con EUA promedio de $5,4 \text{ kg ha}^{-1}$

¹ mm⁻¹ superando a otros cultivos oleaginosos como soja, canola y cártamo. No obstante esta mejor adaptabilidad del cultivo a condiciones edáficas limitantes, algunos estudios indican que el cultivo es influenciado significativamente por la composición granulométrica de los suelos. Katerji y Mastrorilli (2009) hallaron menor EUA del girasol y otras especies en un suelo arcilloso respecto a uno franco, en condiciones controladas. Además, se ha observado que la variabilidad en los rendimientos es mayor en suelos con menor capacidad de retención de agua, donde la distribución de las precipitaciones tiene mayor incidencia sobre la disponibilidad de agua (Quiroga *et al.* 2008).

Dado que posee un mercado especial por calidad, el girasol también es un cultivo interesante para mejorar la PEA de la región. A partir de distintos genotipos se producen aceites con diferente composición de ácidos grasos, que los hacen aptos para diversos usos y poseen distinto valor comercial (Anastasi *et al.*, 2010; Pereyra-Irujo y Aguirrezábal, 2007). El girasol convencional produce aceite rico en ácidos grasos poliinsaturados, esenciales para el ser humano, por lo que es especial para consumo directo. Recibe bonificación en el precio cuando el contenido de MG del grano supera el 42 %. El aceite de girasol alto oleico, en cambio, posee alrededor de 80 % de dicho ácido lo que lo hace más resistente a la oxidación, adecuado para la industria y producción de biodiesel. Los granos de girasol alto oleico, además de bonificar por materia grasa, reciben una prima de 30-40 u\$s tn⁻¹ sobre el precio pizarra del girasol. Ello implica que ante similar productividad física del agua los que reciben mayor bonificación tendrán comparativamente mayor productividad económica del agua. Asimismo, en los últimos años se han desarrollado girasoles con mayor concentración de ácido graso esteárico en su MG (Salas *et al.*, 2014). Dichos aceites son muy estables y menos fluidos, indicados para la fabricación industrial de comestibles, brindando una alternativa más saludable al aceite de palma o los aceites sometidos al proceso de hidrogenación (Anushree *et al.*, 2017; Melgarejo, 2007). Este tipo de girasol también recibe mayor precio que el tradicional aunque, debido a su reciente aparición comercial, no se conoce su comportamiento en la RSP.

Existen pocos antecedentes de investigación de los efectos del tipo de suelo sobre el rendimiento y calidad de este cultivo en ambientes semiáridos. Así como tampoco se ha indagado en la producción de girasol con distinta calidad de aceite y su impacto en la productividad física y económica del agua. Por ello en esta parte del estudio sobre alternativas de cultivos, se evaluó a campo el comportamiento de genotipos de girasol

tradicional, alto oleico y medio esteárico en dos suelos contrastantes en textura y profundidad, bajo las mismas condiciones climáticas y de manejo agronómico, con y sin aporte de nutrientes. Los resultados que se obtengan serán de gran valor tanto para mejorar la EUA del girasol cuando es posible elegir el suelo más conveniente para realizarlo, como para conocer si los materiales con distinta calidad de aceite difieren en rendimiento en ambos suelos u otorgan alguna ventaja agronómica o económica en el sitio de menor producción.

3.2 Materiales y métodos

Durante las campañas 2011/12, 2012/13 y 2013/14, se realizaron ensayos con girasol en secano en los dos suelos descritos en el capítulo II. En cada suelo se evaluaron 6 híbridos de girasol, cada uno constituyó un tratamiento y se dispusieron en un diseño completamente aleatorizado, con 4 repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos separados a 0,52 m con 25 m de largo. Cada año el ensayo se ubicó en un sector diferente del lote y las parcelas fueron sorteadas nuevamente. Además, cada unidad experimental fue dividida en subparcelas para ubicar 2 tratamientos de fertilización: fertilizado (41 kg ha⁻¹ de N y 10 kg ha⁻¹ de P) y testigo (sin agregado de nutrientes). De este modo quedó conformado un diseño completamente aleatorizado en parcelas divididas por la fertilización.

Los genotipos de girasol utilizados fueron de la empresa Advanta, la que lleva a cabo el programa de mejoramiento más avanzado de altos esteáricos (Anushree *et al.*, 2017), y se diferenciaron por su calidad de aceite: dos medio esteáricos, dos alto oleico y dos tradicionales (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Características de los híbridos utilizados, descritas en el catálogo 2014 de la empresa Advanta.

Abreviatura	Híbrido	Tipo aceite	Ciclo
ES 1	MS06	medio esteárico	Intermedio-precoc
ES 2	MS04	medio esteárico	Intermedio-precoc
OL 1	ADV5203	alto oleico	Intermedio
OL 2	OLISUN 4	alto oleico	Intermedio-largo
CV 1	CF 202	convencional	intermedio-precoc
CV 2	CF 31	convencional	intermedio-largo

El ensayo se estableció en siembra directa y el manejo se realizó de acuerdo a las recomendaciones para la región. En la Tabla 3.2, se presenta la fecha de siembra y las aplicaciones de agroquímicos de cada campaña, que fueron las mismas para todos los híbridos.

Tabla 3.2. Cultivo antecesor, fecha de siembra, control de malezas y plagas realizado en cada campaña. Las dosis figuran por hectárea.

Cultivo antecesor	Herbicidas barbecho	Herbicidas pre-siembra	Fecha siembra	Herbicidas pre-emergentes	Herbicidas post-emergencia	Insecticidas
<i>2011/12</i>						
Sorgo	29/08: 3000 cc glifosato (48%)	2500 cc glifosato (48%) + 600 cc Propaquizafop (10%) + aceite vegetal	20-oct	1000 cc acetoclor (90%)+ 1000 cc flurocloridona (25%)	700 cc quizalofop (12%) + aceite vegetal Limpieza manual	-----
<i>2012/13</i>						
Maíz	14/09: 500 cc 24D (100%) + 3300 cc glifosato (48%)	3000 cc glifosato (48%) + 600 cc Propaquizafop (10%) + aceite vegetal	30-oct	200 cc Sulfentrazone (50%) + 500 cc Flurocloridona (25%) + 1000 cc s-metolacloro (96%)	650 cc/ha haloxifop (12,5%) + aceite vegetal Limpieza manual	23/11: 100 cc cipermetrina (25%) + 800 cc clorpirifos (48%) por Chinche roja (<i>Athaumastus haematicus</i>) 15/01: 100 cc cipermetrina (25%) + 800 cc clorpirifos (48%) + humectante por gata peluda norteamericana (<i>Spilosoma virginica</i>)
<i>2013/14</i>						
Maíz	18/09 400 cc 24D (100%) + 2500 cc glifosato (48%)	3500 cc glifosato (48%) + 750 cc Propaquizafop (10%) + aceite vegetal	28-oct	200 cc Sulfentrazone (50%) + 500 cc Flurocloridona (25%) + 1000 cc s-metolacloro (96%)	700 cc haloxifop (12,5%) + aceite vegetal Limpieza manual	29/10: 30 cc lambdacialotrina microencapsulada (25%) por orugas cortadoras (<i>Agrotis sp.</i>)

La siembra se realizó el mismo día para todos los híbridos y en ambos suelos, utilizando una sembradora experimental de granos gruesos Baumer, neumática, a 0,52 m de distancia entre surcos. En el estado V2 del cultivo (Schneiter y Miller, 1981), se realizó un raleo manual para lograr la densidad de 45 mil plantas ha⁻¹, recomendada para el área de estudio por Ghironi *et al.* (2012). En las subparcelas fertilizadas al momento de

siembra se aplicó al voleo 50 kg ha⁻¹ de FDA (18-20-0). Posteriormente, alrededor del estado V12 se esparció al voleo 70 kg ha⁻¹ de urea granulada (46-0-0).

3.2.1 Determinaciones

- Cociente fototermal (Q)

El Q (Mj °C⁻¹ m⁻²) se calculó para el período crítico para la fijación del número de granos en girasol (entre 30 días antes y 20 después de floración) en las tres campañas, mediante la fórmula descrita por Cantagallo *et al.* (1997):

$$Q = R / (T_m - T_b)$$

Donde R (Mj m⁻²) es la radiación global diaria promedio del periodo crítico, T_m (°C) es la temperatura media diaria promedio del período, y T_b es la temperatura base de crecimiento del girasol que fue 4°C (Villalobos y Ritchie, 1992).

- Probabilidad de excedencia de precipitaciones

La probabilidad de excedencia de precipitaciones se calculó a través de la distribución gamma (Scian, 1995) con el programa Matlab R2014a 8.3.0.532, utilizando los datos de precipitaciones mensuales históricas (1960-2014) de noviembre a enero en la EEA INTA Anguil.

- Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó en cada parcela por el método gravimétrico. Para ello se extrajo la muestra con barreno a intervalos de 20 cm hasta la profundidad de la tosca (80-100 cm) en el Paleustol y hasta 200 cm en el Ustipsamment. En cada campaña se realizó un muestreo por bloque en Ve del cultivo, y uno por unidad experimental en R5 y R9.

Mediante freatrímetros ubicados en el sitio experimental del Ustipsamment, se registró en periodos irregulares la profundidad de la napa.

- Contenido de N-NO₃⁻

Con las muestras de suelo obtenidas en el estado Ve del cultivo, se realizó el análisis de nitratos mediante Nitrachek, utilizando 4 muestras de las profundidades 0-20 cm; 20-60 cm; 60-100 cm. El promedio del contenido de N-NO₃⁻ del perfil en cada campaña se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Contenido de N-NO_3^- (kg ha^{-1}) en el perfil del suelo en el estado Ve del girasol en ambos suelos las tres campañas.

Profundidad (cm)	N-NO_3^- (kg ha^{-1})					
	Paleustol			Ustipsamment		
	2011/12	2012/13	2013/14	2011/12	2012/13	2013/14
0-20	13,7	11,2	9,8	5,6	4,4	5,5
20-60	12,7	13,7	4,0	4,6	9,1	6,8
60-100	2,6	10,2	6,3	2,2	7,7	2,6
Total	28,9	35,0	20,1	12,4	21,2	14,8

- Estado fenológico

El estado fenológico de los híbridos de girasol se observó semanalmente, registrando el cambio de estado cuando lo alcanzaba más del 50% de las plantas de la parcela. Se siguió la escala de Schneiter y Miller (1981).

- Densidad de plantas

Se contaron las plantas cosechadas en $3,12 \text{ m}^2$ y se pasó a hectáreas para obtener la densidad final de cada parcela (pl. ha^{-1}).

- Biomasa aérea

En cada campaña en estados vegetativos (V10-V14) y de floración (R5.5-R6) se determinó la producción de materia seca (MS_v y MS_f respectivamente) de cada híbrido en el tratamiento fertilizado. En las dos últimas campañas, también se determinó la biomasa en el estado R9 (MS_{mf}) tanto en parcelas fertilizadas como testigo. Para obtener la materia seca en cada momento se cortaron tres plantas enteras por parcela, se separó en hojas, tallos y capítulos y secaron en estufa a 60°C hasta peso constante. El resultado se llevó a kg ha^{-1} multiplicando el peso de MS promedio obtenido por la densidad de plantas de la parcela.

- Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE)

En estados vegetativos (V10-V14) y floración (R5.5-R6) se determinó el área foliar (AF) de las mismas 3 plantas por parcelas cortadas para medir biomasa. Se midió con regla el ancho máximo de cada hoja verde de la planta y se estimó su superficie aplicando las

ecuaciones descritas por Aguirrezábal *et al.* (2001). Luego se realizó la suma del área de todas las hojas de cada planta para obtener el AF por planta. El $AFEf$ ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) se obtuvo dividiendo el AF de todas las hojas (cm^2) por su peso seco (g) (Songsri *et al.*, 2009).

Por otra parte, el índice de área foliar en floración (IAFf) se obtuvo multiplicando el AF promedio por planta por la densidad de plantas en 1 m^2 .

- Tasa de asimilación neta (TAN)

Con los datos de biomasa y área foliar en estado vegetativo y en floración se calculó la TAN_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) del período:

$$TAN_{v-f} = [(PS_f - PS_v) / (AF_f - AF_v)] * [(\ln AF_f - \ln AF_v) / (t_2 - t_1)] \quad (\text{Sesták } et al. 1971)$$

Donde PS_f (g) es el peso promedio de una planta en R5.5-R6, PS_v (g) es el peso de una planta en estado vegetativo, AF_f (m^2) es el área foliar promedio de una planta en R5.5-R6, AF_v (m^2) es el área foliar promedio de una planta en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La tasa de crecimiento del cultivo promedio entre estado vegetativo y floración TCC_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se obtuvo aplicando la fórmula:

$$TCC_{v-f} = [(MS_f - MS_v) / (t_2 - t_1)]$$

Donde MS_f (g m^{-2}) es la materia seca en floración del cultivo, MS_v (g m^{-2}) es la materia seca medida en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Contenido relativo de agua (CRA), temperatura foliar

El CRA se midió en cada campaña entre los estados R5 y R6 (CRAf) en la subparcela fertilizada de los genotipos: CV 2, OL 1, ES 2. El muestreo se realizó el mismo día en los dos suelos entre las 13.00 y 16.00 hs. Se extrajeron 5 hojas completamente expandidas y soleadas de cada parcela, se colocaron en bolsas de nylon en una conservadora para evitar que se deshidraten y se llevaron al laboratorio inmediatamente. Allí se cortaron dos trozos de la parte central de cada hoja y se pesaron los 10 trozos en balanza de precisión para obtener el peso fresco (PF). Luego se colocaron en frascos con agua destilada y fueron llevados a heladera (4°C) por 48 hs para que alcancen turgencia completa. En ese momento, se secaron las gotas externas de las hojas con papel y se pesaron nuevamente

para determinar peso turgente (PTG). Finalmente, los mismos trozos de hojas fueron secados en estufa (60°C) durante 24 hs y pesados para registrar el peso seco (PS). El CRA_f (%) se obtuvo mediante la ecuación:

$$\text{CRA}_f = [(PF - PS) / (PTG - PS)] \times 100 \text{ (Songsri et al., 2009; Zhang et al., 2010)}$$

En el momento que se muestreó el CRA se midió temperatura en tres de las hojas que luego se cortaron para CRA, con termómetro de reflectancia a una distancia de 20 cm de la superficie foliar.

- Abundancia de raíces

En ambos suelos en la campaña 2011/12 se observó la distribución de raíces en el perfil en tres híbridos: CV 1, OL 1, ES 2, en el estado R9. Se determinó la abundancia de raíces a través de la técnica semicuantitativa descrita por Cárcova *et al.* (2000). Para lo cual se realizó una calicata perpendicular a una hilera, cercana a la primera planta de la fila. Se descubrieron las raíces removiendo el suelo con un cuchillo y agua a presión utilizando una mochila de pulverización. Luego se colocó una reja en contra de esa pared y centrada en la planta. La reja tenía 50 cm de ancho y se dividía en cuadros de 5 x 5 cm, para cada uno de los cuales se estimó la abundancia de raíces mediante una escala de 0 a 5:

0: ausencia raíces

1: raíces escasas

2: raíces moderadas

3: raíces abundantes

4: raíces muy abundantes

5: máxima abundancia observada

Así, para cada perfil de raíces evaluado se obtuvo una grilla de números correspondientes a los valores de abundancia de raíces (del 0-5) de cada cuadro. La profundidad de observación en girasol fue hasta el manto calcáreo en el Paleustol, en promedio 85 cm, y 225 cm en el Ustipsamment.

- Rendimiento en grano e índice de cosecha (IC)

Cuando el cultivo se encontró en madurez de cosecha se recolectaron manualmente los capítulos de 3 m lineales de los dos surcos centrales (3,12 m²) de cada parcela y se desgranaron con trilladora estática. Luego se pesó la muestra de granos obtenida y se midió el porcentaje de humedad con humidímetro portátil (Tesda Campo) para calcular

el rendimiento en kg ha^{-1} a la humedad comercial (R_{dto}) de 11 % y a 0 % de humedad ($R_{\text{dto}0\%}$).

El índice de cosecha (IC) se calculó para las últimas dos campañas como:

$$\text{IC} = [R_{\text{dto}0\%}/MS_{mf}].$$

- Componentes del rendimiento

Se pesó una muestra de 500 granos por parcela para calcular el peso de mil granos (PMG, g). El número de granos por m^2 se calculó como:

$$\text{Granos por m}^2 = [R_{\text{dto}0\%} * 100/\text{PMG}].$$

- Cantidad de residuos

En las campañas 2012/13 y 2013/14 se calculó la materia seca de los residuos aportados al suelo (MS_r , kg ha^{-1}) restándole el rendimiento a la MS_{mf} :

$$MS_r = MS_{mf} - R_{\text{dto}0\%}$$

- Parámetros de calidad del grano (materia grasa, composición de ácidos grasos)

Con las muestras de todos los tratamientos se obtuvo el porcentaje de materia grasa en grano (MG) sobre sustancia seca. En las campañas 2011/12 y 2012/13 se determinó con NMR (resonancia magnética nuclear) en los laboratorios de la empresa Advanta semillas, mientras que las muestras de la campaña 2013/14 fueron analizadas por el método de Butt en el laboratorio de la delegación de MAGyP en Gral. Pico. En esta última campaña el personal de la empresa “Gente de La Pampa” determinó la composición de ácidos grasos por GC-FIT (cromatografía de gases con detector de ionización de llama).

- Rendimiento de materia grasa (R_{dtoMG})

Se obtuvo el R_{dtoMG} (kg ha^{-1}) de cada parcela mediante el siguiente cálculo:

$$R_{\text{dtoMG}} = (R_{\text{dto}0\%} * \text{MG}) / 100$$

- Uso consuntivo

El uso consuntivo de cada híbrido, fertilizado y testigo se obtuvo para los períodos $Ve-R5$ (UC_{e-f}), $Ve-R9$ (UC) y $R5-R9$ (UC_{f-mf}).

El UC_{e-f} se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$UC_{e-f} = AU_e + PPe-f - Auf$$

Donde AU_e (mm) es el contenido de agua útil en el suelo en V_e del girasol, PP_{e-f} (mm) son las precipitaciones ocurridas entre V_e a R_5 , AU_f (mm) es el AU en el suelo en R_5 .

El UC (mm) se obtuvo con la ecuación:

$$UC = AU_e + PP_{e-mf} - AU_{mf}$$

Donde PP_{e-mf} (mm) son las precipitaciones ocurridas desde V_e a R_9 del girasol y AU_{mf} (mm) es el agua útil en el suelo en R_9 (López y Arrúe, 1997).

El UC_{f-mf} (mm) se calculó mediante la ecuación:

$$UC_{f-mf} = UC - UC_{e-f}$$

- Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a floración (EUA_{MS_f} , $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EUA_{MS_f} = MS_f / UC_{e-f}$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a madurez fisiológica ($EUA_{MS_{mf}}$, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EUA_{MS_{mf}} = MS_{mf} / UC$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA , $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se calculó para cada tratamiento mediante la ecuación (López y Arrúe, 1997):

$$EUA = R_{dto0\%} / UC$$

- Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB)

La PEA ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se define como el valor recibido por unidad de agua usada (Molden *et al.*, 2010), se calculó como:

$$PEA = EUA \times \text{precio}$$

Donde el precio ($\text{u}\$ \text{kg}^{-1}$) es el precio de mercado del girasol con las bonificaciones o rebajas correspondientes por calidad.

El MB ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1}$) de cada uno de los tratamientos fue calculado para campo propio mediante la sustracción de los costos directos (semilla, fertilizante, plaguicidas, flete, etc.) al ingreso bruto de la producción ($R_{dto} \times \text{cotización por unidad}$).

Los precios de insumos y labores se obtuvieron de las revistas *Agromercado* y *Márgenes Agropecuarios* del mes correspondiente. La cotización de girasol utilizada fue la del promedio del mes de marzo del año de cosecha en la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca (Tabla 3.4). Para obtener la cotización final, a todos los híbridos se le aplicaron bonificaciones/rebajas del 2% por cada por ciento o fracción proporcional

superior/inferior a la base de comercialización de 42% de MG, con excepción de los medio esteáricos en la primer campaña para los que no regía esta base. Los materiales alto oleicos recibieron además una prima de 30 a 40 u\$.tn⁻¹ según campaña (Tabla 3.4) y los medio-esteáricos tuvieron los tres años una prima de 70 u\$.tn⁻¹ más el 8% del precio pizarra del girasol (empresa Advanta).

Tabla 3.4. Cotización del girasol promedio del mes de marzo en la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca y prima otorgada por el girasol de calidad alto oleico cada año.

Año	Cotización (u\$s)	Prima oleico (u\$s)
2012	279	40
2013	320	35
2014	271	30

3.2.2 Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante Análisis de la Varianza y comparación de medias por el test LSD Fisher (alfa=0,05) y contrastes, que se consideraron significativos cuando el p-valor resultó inferior a 0,05. Además se realizaron análisis de correlación entre variables ($p < 0,05$). Cuando fue necesario se efectuaron Análisis de Componentes Principales (ACP) con los datos estandarizados. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

3.3 Resultados

3.3.1 *Desarrollo fenológico del cultivo*

En la Tabla 3.5 se presentan las fechas de los principales estados fenológicos del cultivo en cada campaña. Las mismas fueron semejantes entre los distintos genotipos y muy próximas en los dos suelos, sólo se atrasó R5 y R9 en el Ustipsamment respecto al Paleustol en la 1ª y 3ª campaña. Dado que el período crítico para la definición del rendimiento en girasol se extiende desde 30 días antes de R5 a 20 días después (Cantagallo *et al.*, 1997; Trápani *et al.*, 2003), el mismo quedó comprendido aproximadamente entre el 4-dic y 22-ene en la 1ª campaña, 10-dic y 28-ene en la 2ª y entre el 8-dic y 26-ene en la 3ª.

Tabla 3.5. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de girasol en el Paleustol y Ustipsamment, en las 3 campañas. Ve: emergencia; R1: estado estrella R5: comienzo de floración; R9: madurez fisiológica.

Campaña	Paleustol				Ustipsamment			
	Ve	R1	R5	R9	Ve	R1	R5	R9
2011/12	02-nov	12-dic	01-ene	10-feb	01-nov	16-dic	04-ene	15-feb
2012/13	07-nov	19-dic	09-ene	16-feb	06-nov	19-dic	09-ene	18-feb
2013/14	05-nov	19-dic	05-ene	10-feb	05-nov	19-dic	08-ene	15-feb

3.3.2 *Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo*

La distribución de las precipitaciones durante el ciclo de girasol fue muy diferente en las tres campañas y en relación a las históricas (Figura 3.1). Dentro de esta irregularidad se destacaron las lluvias superiores a las normales en el período octubre-diciembre de 2012/13 en contraste con el mismo período del 2013/14 en el que las lluvias se redujeron a la mitad. Además, el contenido de AU a la siembra en el perfil posible de ser explorado por raíces varió considerablemente entre campañas y entre los dos tipos de suelos, siendo siempre mayor en el Ustipsamment (Figura 3.2).

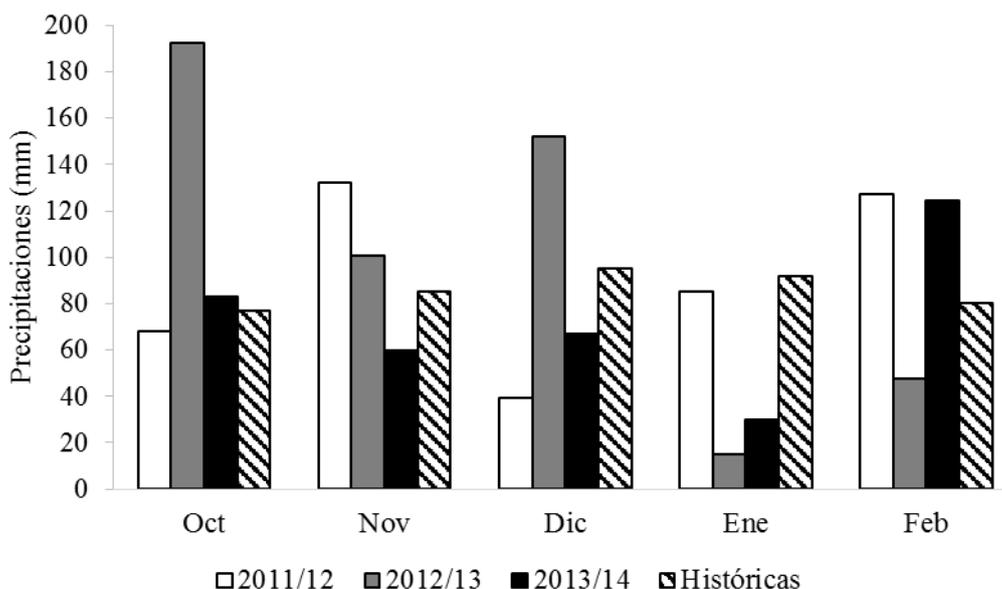


Figura 3.1. Precipitaciones en el ciclo de girasol en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.

En el 1^{er} año la suma del AU a siembra y las precipitaciones previas al comienzo de floración (R5) fueron intermedias respecto a las otras dos campañas, con lluvias por encima de las históricas en el mes de noviembre que recargaron el perfil y pudieron contrarrestar las escasas precipitaciones de diciembre. En enero cuando el cultivo se encontraba en floración y comienzo de llenado de grano las lluvias fueron normales, siendo las más altas de este mes en los tres años de estudio. El agua fue abundante en febrero, hacia el final del ciclo del cultivo.

La 2^a campaña se caracterizó por la alta disponibilidad de humedad durante el desarrollo vegetativo, diferenciación de flores y anthesis del girasol. Esto se debió al elevado contenido de agua a la siembra y las importantes precipitaciones ocurridas de octubre a diciembre. El significativo almacenaje de agua en el Ustipsammet (318 mm) fue producto de la influencia de napa que se encontró a partir de 1,6 m de profundidad en esta campaña. Las precipitaciones de enero y febrero del 2013, en cambio, estuvieron por debajo de las históricas y fueron muy inferiores a las del año anterior.

La última campaña fue la más limitante en cuanto al régimen hídrico ya que presentó la menor disponibilidad de humedad desde emergencia a R5 (Figura 3.2). En ninguno de los suelos el perfil estuvo en CC al momento de siembra y en el Ustipsammet no se detectó influencia de napa por encima de los 2 m de profundidad. Además, las precipitaciones de

noviembre a enero, cuando transcurre el período crítico del cultivo, estuvieron por debajo de las históricas que fueron superadas recién en el mes de febrero.

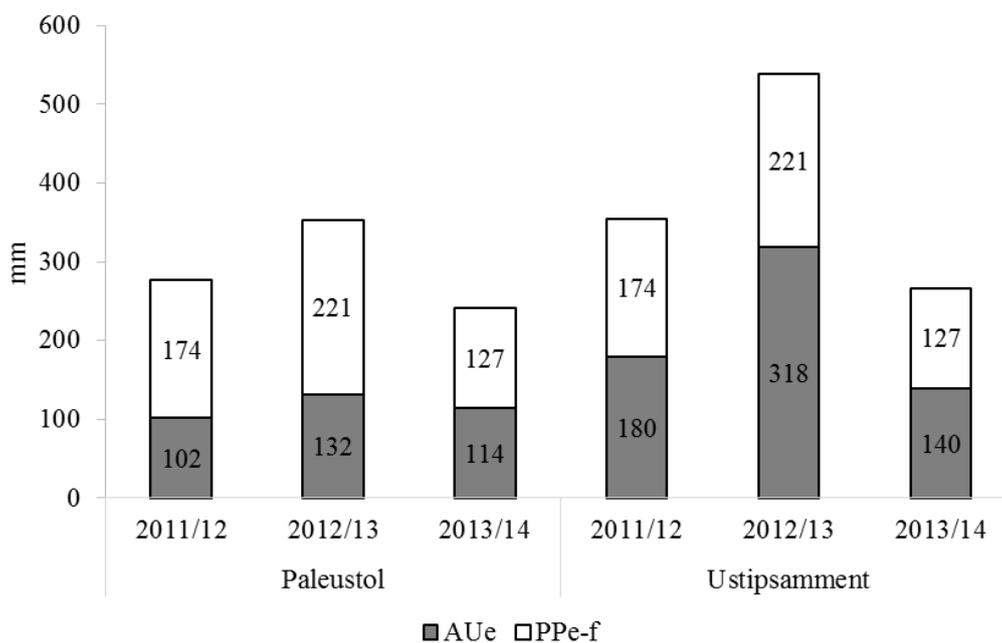


Figura 3.2. Agua útil a emergencia del girasol (AUe) hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 2 m en el Ustipsamnt; y precipitaciones acumuladas desde emergencia al estado R5 del cultivo en cada campaña (PPe-f).

En la Figura 3.3, se muestra un gráfico de excedencia de precipitaciones de noviembre a enero (1960-2014), indicándose la probabilidad de que las precipitaciones igualen o excedan a las ocurridas en cada campaña. Se observa que la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones disminuye a medida que aumentan las mismas. De esta manera, la posibilidad de que se repitan años como 2011/12 y 2012/13 es de alrededor del 50 %, mientras que la probabilidad de que las lluvias igualen o superen a las del 2013/14 sería de 90 %. Sin embargo, las precipitaciones promedio se corresponden con el 50 % de probabilidad (260 mm), por lo cual las campañas 2011/12 y 2012/13 podrían considerarse más representativas que la última campaña.

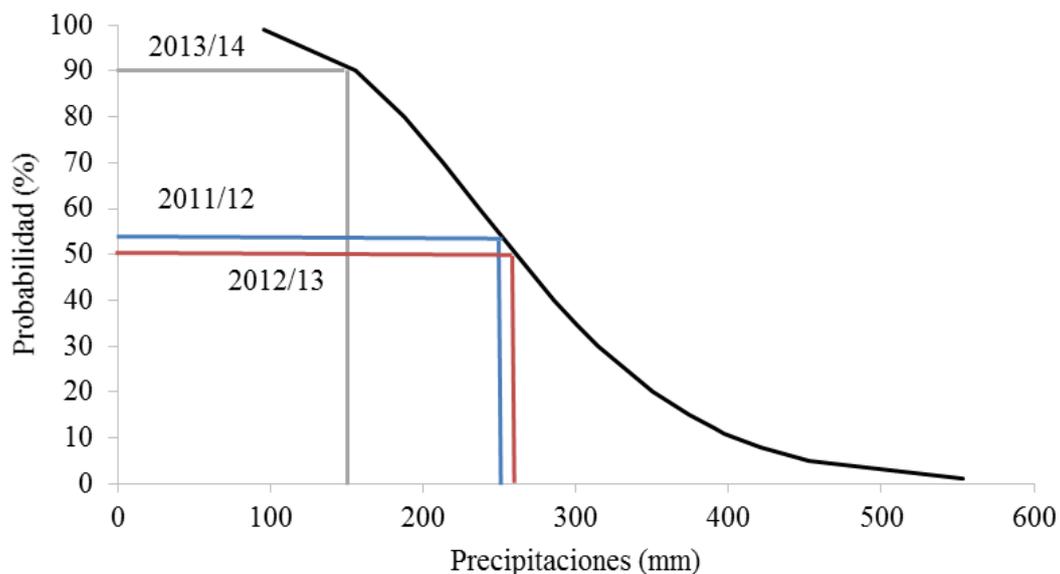


Figura 3.3. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo del girasol (Noviembre-Enero) en Anguil, La Pampa.

El girasol en la RSP presenta su período crítico en el momento del año con mayor demanda atmosférica, específicamente en la 2ª quincena de diciembre y 1ª de enero. En la Figura 3.4 se encuentra representada la ETP (Penman) para la EEA INTA Anguil. La menor ETP ocurrió en 2012/13, dado en gran parte por las menores temperaturas medias en relación a las otras campañas (Figuras 1.1 y 1.2 Anexo I). Mientras que la mayor ETP correspondió a la campaña 2011/12 en la que ocurrieron varios días con temperaturas superiores a los 35°C durante floración acompañadas por alta radiación (Figura 1.3 Anexo I). En el último año de ensayos la ETP fue importante en los meses de diciembre y enero, cuando el cultivo estuvo expuesto a temperaturas elevadas durante varios días consecutivos en momentos importantes de su desarrollo como son R1 y R5.

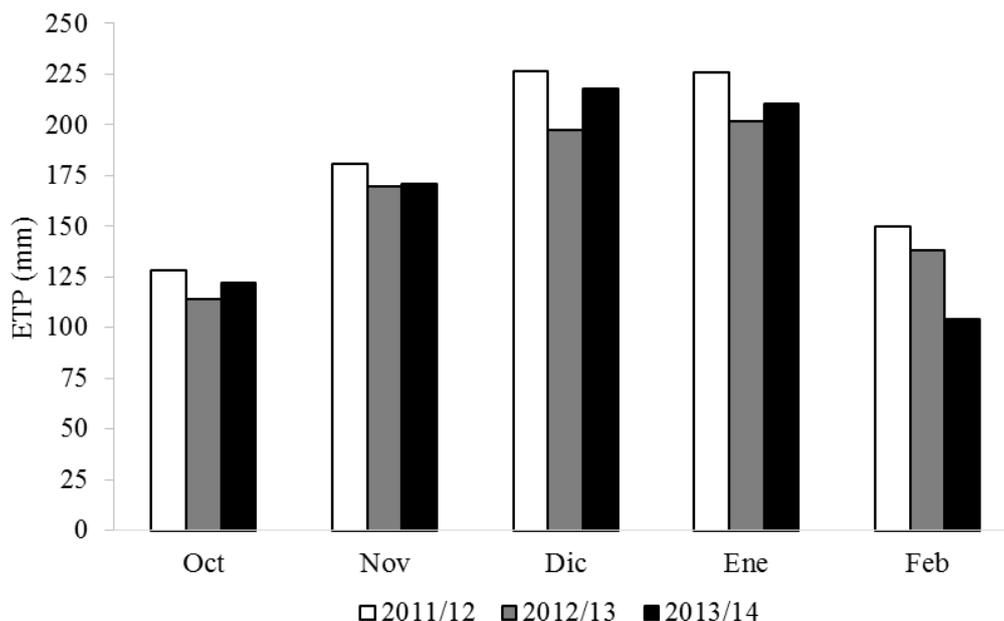


Figura 3.4. Evapotranspiración potencial (ETP) mensual para las 3 campañas en la EEA INTA Anguil.

Los efectos de radiación y temperatura sobre los cultivos se relacionan mediante el cociente fototermal (Q). En girasol se ha demostrado que el Q del período comprendido entre 30 días antes y 20 después de floración se asocia positivamente con el número de granos por m² (Cantagallo *et al.*, 1997). Por tal motivo se obtuvo el Q en dicho período, los valores fueron 1,49; 1,62 y 1,26 Mj °C⁻¹ m⁻² en las sucesivas campañas, indicando que la segunda fue la más propicia al cultivo también en cuanto a estos factores.

3.3.3 Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo

La evaluación de raíces se realizó en híbridos de las tres calidades pero no se distinguieron diferencias en distribución y profundidad radical entre ellos. La mayor densidad radical se observó en las capas más superficiales (0-20 cm), y fue disminuyendo con la profundidad.

En el Paleustol, se observó que las raíces de girasol exploraron el suelo con relativa abundancia (>2) hasta la tosca (Figura 3.5). En el Ustipsamment, donde no hubo limitaciones en profundidad al desarrollo del sistema radical, las plantas alcanzaron la misma abundancia de raíces (>2) a 1,8 m y se observó su presencia más allá de esta profundidad (Figura 3.6).

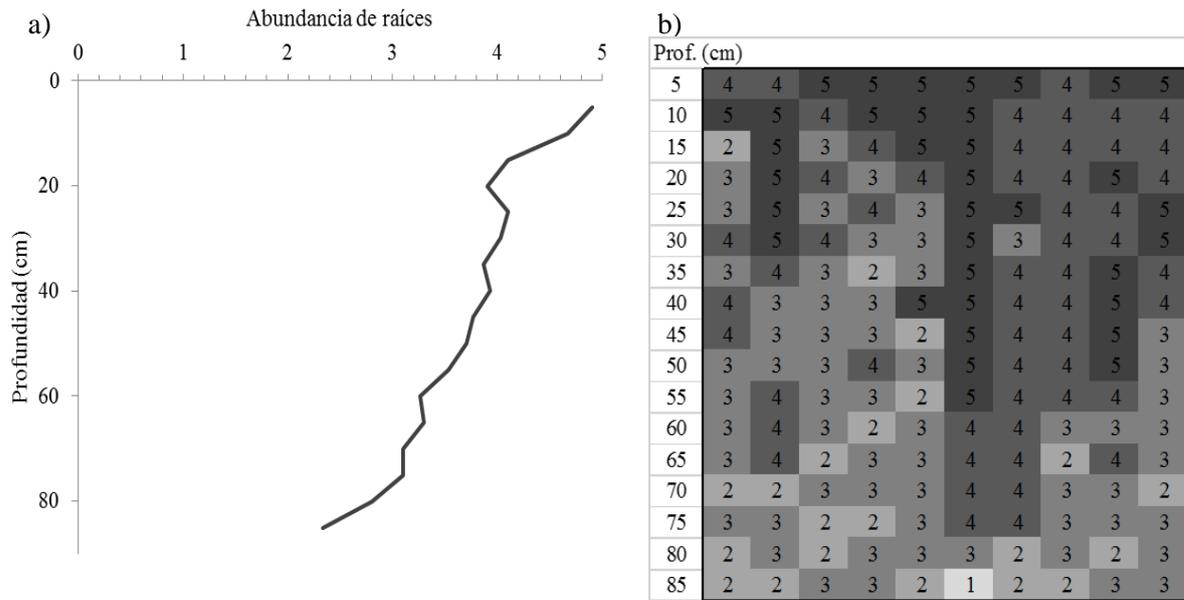


Figura 3.5. a) abundancia de raíces en el Paleustol en 85 cm de profundidad (promedio de 50 cm de ancho), b) grilla de números indicando la abundancia de raíces.

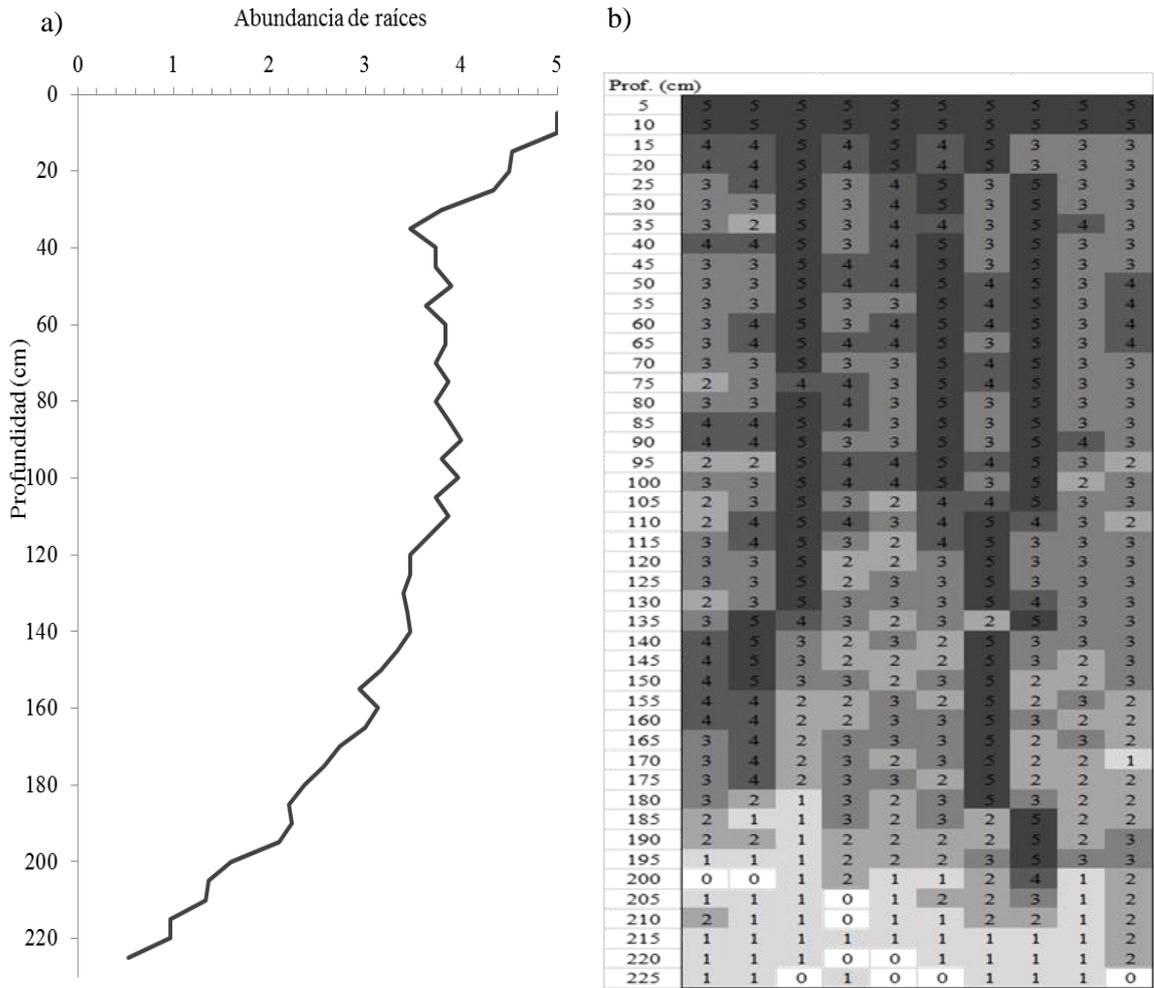


Figura 3.6. a) abundancia de raíces en el Ustipsamment en 225 cm de profundidad (promedio de 50 cm de ancho), b) grilla de números indicando la abundancia de raíces.

En todos los años y en los dos suelos el cultivo consumió la mayor proporción de agua en el período Ve-R5 (Figura 3.7). Asimismo el agua utilizada en este período fue más similar entre años que el UC total. En el Paleustol en la campaña 2011/12 se registró el mayor UC total (460 mm), no obstante el agua utilizada hasta floración fue menor que en el año siguiente, en el que el 81 % del UC (315 mm) fue consumido en dicho período. La última campaña tuvo el menor UC, con 260 mm, de los cuales sólo el 11 % fue utilizado en llenado de grano.

Los mayores UC en el Ustipsamment tuvieron lugar en la 2ª campaña, llegando a 500 mm, con influencia de napa al alcance de las raíces en todo el ciclo (Figura 3.10) que permitió sostener el consumo de agua en la fase de llenado a pesar de las bajas precipitaciones. Aunque en la campaña 2011/12 el UC total fue menor, el agua utilizada hasta floración estuvo unos mm por encima del UC de la campaña siguiente. Al igual que

en el Paleustol, en la campaña 2013/14 se presentó el menor UC total (350 mm) y la mayor proporción del mismo correspondió a la primer fase de desarrollo del cultivo.

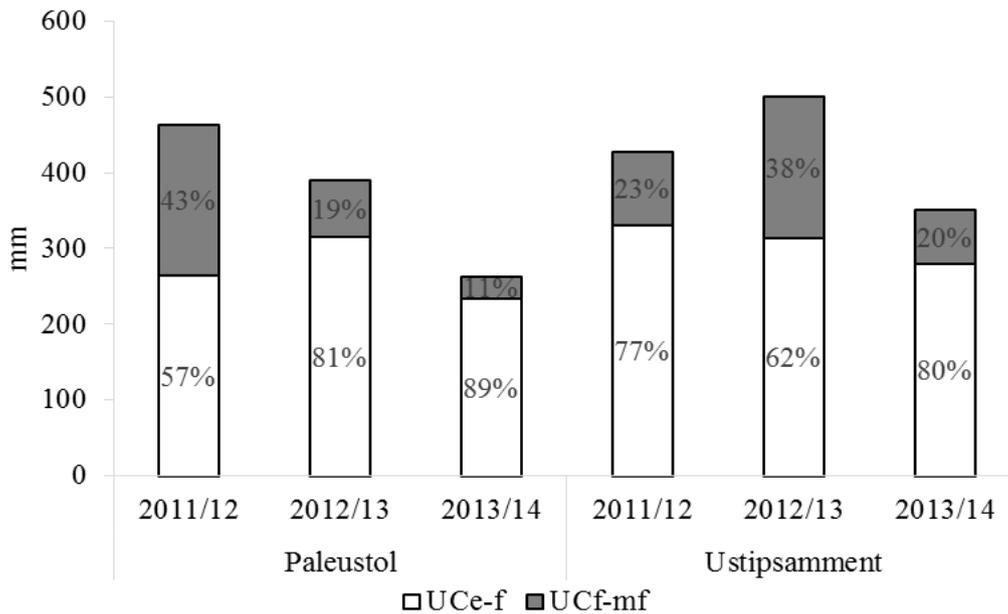


Figura 3.7. Uso consuntivo del girasol desde emergencia a R5 (UCe-f) y desde R5 a R9 (UCf-mf), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.

Se realizó un análisis de correlación mediante el coeficiente de Spearman entre UC total y rendimiento de grano con los datos de las parcelas fertilizadas, hallándose una asociación positiva altamente significativa ($p < 0,001$) tanto en el Paleustol ($\rho = 0,40$) como en el Ustipsammet ($\rho = 0,57$) (Figura 3.8). El grado de asociación entre estas variables fue menor al esperado dado el estrecho rango de UC y rendimientos abarcados en este ensayo, además de que al tratarse de un ensayo en condiciones de campo pudieron existir otros factores de estrés afectando el rendimiento.

Asimismo, la correlación entre rendimiento y UCe-f también fue positiva y significativa en ambos suelos. Resultó más alta en el Paleustol con un $\rho = 0,84$ ($p < 0,0001$), mientras en el Ustipsammet se obtuvo un $\rho = 0,37$ ($p = 0,0015$) (Figura 3.9). Esta menor correlación en el suelo profundo puede deberse en primer lugar a los similares UCe-f de las 3 campañas y en segundo lugar al posible aporte de agua de la capa freática (por debajo de la sección control), que no se contabilizó en el UC.

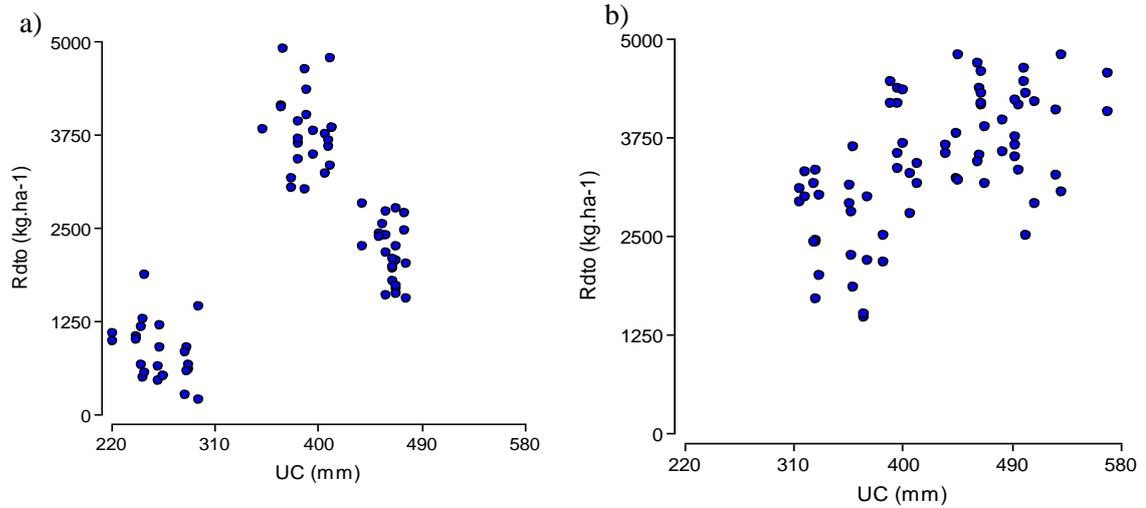


Figura 3.8. Rendimiento de grano (Rdto) en función del UC total (UC) en a) Paleustol y b) Ustipsamnt.

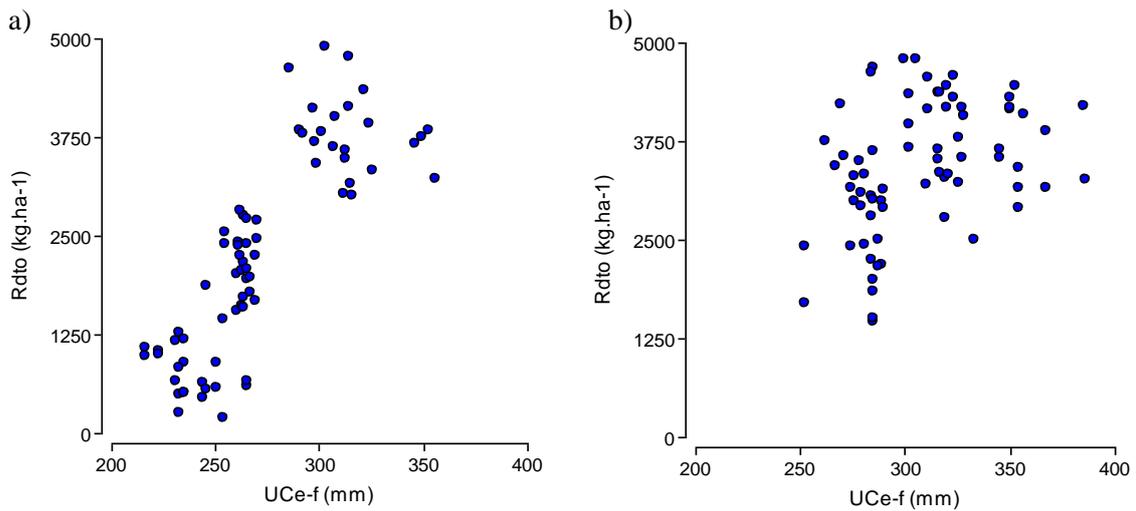


Figura 3.9. Rendimiento de grano (Rdto) en función del UC de emergencia a R5 ($UCe-f$) en a) Paleustol y b) Ustipsamnt.

El contenido de humedad en el suelo medido en los diferentes momentos del cultivo en cada campaña se representó en la Figura 3.10 para el promedio de los genotipos. En la 1ª campaña el agua en Ve del girasol en el Paleustol estuvo 10 mm por debajo de capacidad de campo en todo el perfil hasta la tosca, mientras que en el Ustipsamnt las diferencias fueron de 5-8 mm en los 120 cm superiores pero a mayor profundidad se registró mayor contenido hídrico que el correspondiente a capacidad de campo debido a la influencia de la napa. A comienzos de floración ambos suelos presentaban contenidos de humedad muy cercanos a PMP, dado por el elevado consumo del cultivo junto al cese de las lluvias en

diciembre y la alta demanda atmosférica. De todos modos, en el Ustipsamment se observó que el contenido de agua útil fue importante en profundidad (>180 cm), al alcance de las raíces, dado por la influencia de la capa freática. Entre R5 y R9 las lluvias recargaron la parte superior del perfil de ambos suelos (Figura 3.10, a y b).

Durante la campaña 2012/13, el Ustipsamment contó con el aporte de humedad de la napa a partir de 140 cm durante todo el ciclo del cultivo. En el periodo Ve-R9 la contribución de la napa en la sección control fue de 130 mm, representando un 26 % del UC. Igualmente las lluvias en el barbecho fueron abundantes, lo que permitió que el contenido de AU fuera cercano a capacidad de campo en todo el perfil de este suelo, y sólo algo más seco en los primeros 40 cm del Paleustol (Figura 3.10, c y d). El consumo del girasol disminuyó el agua a floración a pesar de las precipitaciones, sin embargo esta campaña fue la que presentó mayor humedad disponible en ambos suelos en dicho momento, con alrededor de 50 mm de AU en el suelo somero. Las lluvias de enero y febrero del 2013 fueron de 60 mm, las más bajas de las 3 campañas (Figura 3.1), por lo que los valores de humedad en profundidad a cosecha cayeron respecto a floración. La recarga del perfil en los primeros cm se debió a lluvias de comienzos de marzo después de que el girasol había alcanzado R9.

A diferencia de los años anteriores, en la campaña 2013/14 no se registró influencia de napa dentro de los 2 m de profundidad del Ustipsamment en ningún momento (Figura 3.10, f). Mediciones en el freatrómetro presente en el sitio experimental mostraron que la capa freática tampoco se encontró dentro de los 3 m en esta temporada. Al tiempo de siembra la humedad del suelo fue adecuada, estuvo unos mm por debajo de capacidad de campo en el Paleustol (Figura 3.10, e) mientras que las diferencias fueron menores en el Ustipsamment. Luego de un período de máxima demanda hídrica (Figura 3.4) el perfil de los dos sitios se encontraba en PMP cuando se inició la floración del girasol, recuperando la humedad durante el mes de febrero, en la última etapa del llenado de frutos.

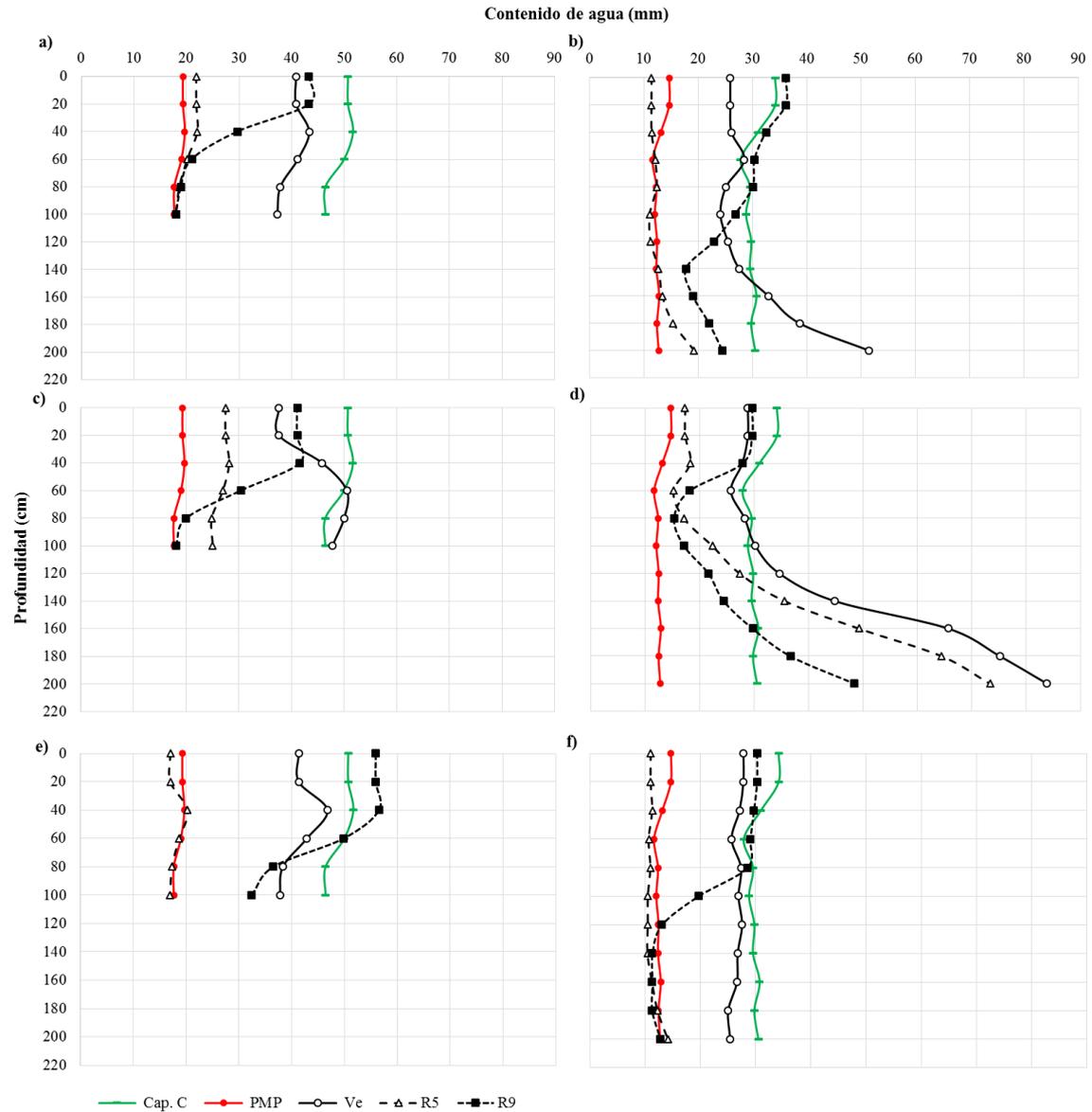


Figura 3.10. Contenido de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (Cap. C), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de Ve, R5 y R9 del girasol. En a) 2011/12; c) 2012/13 y e) 2013/14 en Paleustol, y b) 2011/12 d) 2012/13 y f) 2013/14 en Ustipsammet.

3.3.4 Resultados Paleustol

Indicadores en floración

En estados vegetativos y floración se determinó producción de materia seca, área foliar y UC en las parcelas fertilizadas y se obtuvieron índices relacionados al crecimiento del cultivo y la eficiencia de uso de agua. Sólo la $TCCv-f$ mostró interacción

híbrido*campaña, resultando significativo el efecto campaña en la mayoría de las variables (Tabla 3.6).

En 2012/13 la MS_f e IAF_f prácticamente duplicó la de las otras campañas, mientras no hubo diferencias entre la 1ª y 3ª en estas variables. El AFE_f fue similar en los tres años en que se realizaron los ensayos, promediando los $116 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Por otra parte la TAN_{v-f} , resultó más alta en 2013/14 cuando se logró la menor acumulación de MS_f . Es decir que la relación fotosíntesis/respiración por unidad de área foliar fue mayor ese año que en los otros dos, los cuales presentaron una TAN_{v-f} de $16 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Sin embargo, al evaluar la TCC_{v-f} se observó que en la campaña más favorable (2012/13) se duplicó la TCC registrada en las demás campañas, lo cual puede deberse a que el cultivo presentó más área fotosintetizante (Tabla 1.1 Anexo I). Con respecto al uso de agua, la 2ª campaña tuvo el más elevado $UCe-f$, 50 mm más que en la 1ª y 76 mm más que la última campaña (Figura 3.7). Lo mismo ocurrió con la EUA_{MS_f} , ya que en la campaña 2012/13 el girasol produjo 35,8 kg de MS_f por mm de agua utilizado, distinguiéndose de la 1ª y 3ª por más de 12 kg.

Tabla 3.6. Materia seca (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_f), tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de girasol para cada campaña en el Paleustol.

Campaña	MS_f (kg ha^{-1})	IAF_f	AFE_f ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	TAN_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	EUA_{MS_f} ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
2011/12	6077 b	1,1 b	114 a	16,4 b	23,1 b
2012/13	11238 a	2,5 a	118 a	16,3 b	35,8 a
2013/14	5501 b	1,2 b	115 a	19,1 a	23,2 b
<i>DMS</i>	<i>756</i>	<i>0,2</i>	<i>10,9</i>	<i>1,5</i>	<i>2,8</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

En lo que respecta a los híbridos, se halló que su efecto fue significativo en todas las variables excepto la TAN_{v-f} (Tabla 1.2 Anexo I). El CV 2 exhibió valores sustancialmente más altos de MS_f y EUA_{MS_f} , diferenciándose significativamente del resto de los genotipos salvo de OL 2, aunque produjo 1000 kg ha^{-1} más de MS_f que este. El CV 2 también se destacó en IAF_f , alcanzando el valor de 2,0 frente a un promedio de 1,5 de los otros híbridos. Existieron brechas importantes en estas características entre los dos materiales convencionales, pero no en los otros grupos de calidad. El AFE_f varió entre 102 y $127 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, correspondiendo los valores más bajos a CV 1 y ES 1.

Por otra parte, la TCC_{v-f} fue distinta entre híbridos sólo en la campaña 2012/13, cuando los pares de genotipos de las 3 calidades se diferenciaron estadísticamente, siendo los

valores más altos de CV 2, OL 2 y ES 1. Además, el CV 2 registró el mayor valor, con $31,4 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (datos no presentados).

Cuando se realizaron los contrastes entre genotipos según composición de MG, se encontró que la mayor producción de MS_f , IAF_f y EUA_{MS_f} correspondió a los CV, que se diferenciaron de los esteáricos por 1000 kg ha^{-1} de MS_f (Tabla 3.7). En tanto, los materiales oleicos presentaron valores intermedios, sin diferir de CV y ES. En AFE_f los CV mostraron los valores más bajos, que indicaría mejor capacidad fotosintética (Songsri *et al.*, 2009), no obstante, los 3 tipos de girasol tuvieron análoga TAN_{v-f} que superó los $17 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En cuanto a la TCC_{v-f} , se observó que en 2012/13 los CV tuvieron en general mayores TCC que OL y ES, mientras no hubo diferencias en las demás campañas (Tabla 1.1 Anexo I).

Tabla 3.7. Contraste entre tipo de híbrido en materia seca (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_f), tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración en el Paleustol.

Tipo de híbrido	MS_f (kg ha^{-1})	IAF_f	AFE_f ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	TAN ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	EUA_{MS_f} ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
CV	8159 a	1,7 a	109 b	17,4 a	29,3 a
OL	7509 ab	1,6 ab	121 a	17,1 a	27,0 ab
ES	7149 b	1,5 b	117 ab	17,4 a	25,6 b

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Tampoco se halló interacción híbrido*campaña ni diferencias entre los genotipos a los cuales se les tomó CRA_f y temperatura foliar en floración en los 3 años (Tabla 3.8). Las hojas de los mismos presentaron en promedio 67 % de CRA_f y estuvieron entre 3,6 y 4 °C por debajo de la temperatura atmosférica.

Tabla 3.8. Contenido relativo de agua de las hojas (CRA_f), temperatura foliar (T° foliar) y diferencia entre temperatura del aire y foliar (T° aire - T° foliar), en floración de 3 híbridos de girasol en el Paleustol.

Híbrido	CRA (%)	T° foliar ($^\circ\text{C}$)	T° aire - T° foliar ($^\circ\text{C}$)
CV 2	65 a	29,8 a	4,0 a
OL 1	67 a	30,0 a	3,8 a
ES 2	68 a	30,2 a	3,6 a
DMS	0,04	1,8	1,8

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Indicadores en madurez fisiológica

La producción de MS_{mf} y $EU_{AMS_{mf}}$ no presentaron interacción entre factores de ningún orden. Acorde a lo observado en floración, la MS_{mf} en la campaña 2012/13 con $11.038 \text{ kg ha}^{-1}$ llegó casi a triplicar la del 2013/14 y la $EU_{AMS_{mf}}$ fue alrededor de $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ mayor (Tabla 1.3 Anexo I). Igualmente, las condiciones propicias para el desarrollo del cultivo en 2012/13 favorecieron la MS_r y el IC del girasol, que fueron prácticamente el doble que en la campaña siguiente (Tabla 1.4 Anexo I).

Respecto a los genotipos, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en MS_{mf} y MS_r , aunque pudo advertirse la más elevada producción de los CV respecto a ES y OL, como había sido detectado en floración (Figura 3.11). El efecto híbrido afectó la $EU_{AMS_{mf}}$ ($p = 0,0472$), que varió de $19,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ del OL 1 a los $25,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ del CV 2 (datos no presentados). No obstante, los contrastes entre tipos de híbridos no explicaron esta variabilidad (Figura 3.11).

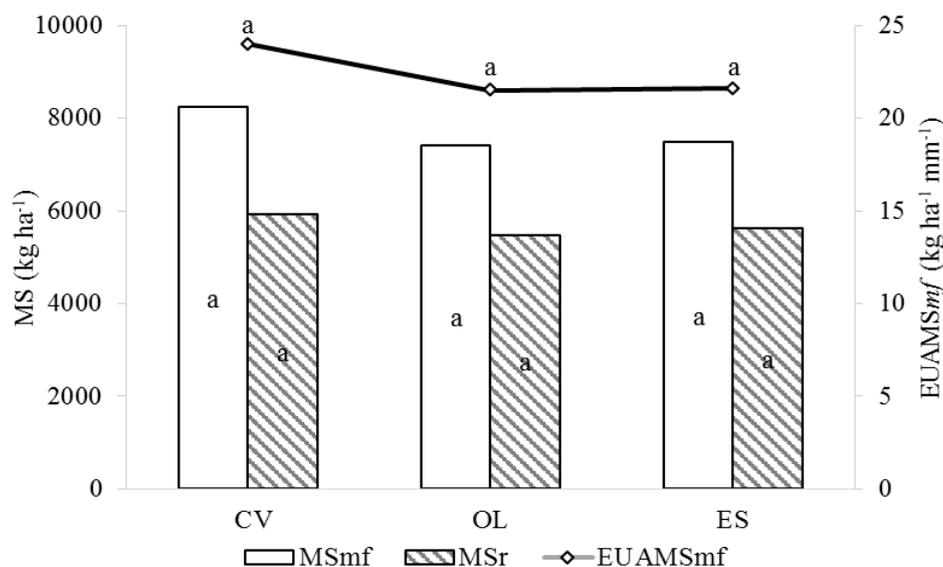


Figura 3.11. Materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del residuo (MS_r) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EU_{AMS_{mf}}$) de los genotipos convencionales (CV), alto oleicos (OL) y esteáricos (ES), en el Paleustol.

Letras distintas indican diferencias significativas ($LSD p < 0,05$).

El IC se analizó para cada año, dado que hubo interacción híbrido*campaña. Los valores no fueron estadísticamente distintos entre calidades en ninguna de las campañas, aunque fue notorio el mayor IC de los CV (Tabla 3.9). En 2012/13 el índice más alto correspondió al CV 1 con 0,34 que fue diferente sólo a 0,27 del ES 1. En la campaña 2013/14 la

variabilidad del IC entre parcelas fue alta dado el estrés hídrico, en este caso OL 1 presentó un IC muy bajo (0,10) que fue significativamente menor al de OL 2 y redujo el IC promedio de los materiales alto oleicos (Tabla 1.5 Anexo I).

Tabla 3.9. Contrastes entre tipos de híbrido en índice de cosecha (IC) en 2012/13 y 2013/14, en el Paleustol.

Tipo de híbrido	IC	
	2012/13	2013/14
CV	0,33 a	0,20 a
OL	0,31 a	0,15 a
ES	0,29 a	0,18 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

La fertilización no modificó la producción de MS_{mf} ni $EUA_{MS_{mf}}$ del girasol en este suelo. La MS_r y el IC presentaron efecto de la fertilización sólo en la campaña húmeda. En dicho ciclo se midió menor MS_r con el agregado de nutrientes, acompañado por una mejora del IC ya que el 32 % de la MS correspondió a los granos en las parcelas fertilizadas y el 29 % en las testigos. En cambio, en la campaña siguiente la variabilidad dentro de los tratamientos fue mayor y las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1.4 Anexo I).

Para sintetizar la relación del rendimiento final del girasol con las principales variables fisiológicas determinadas a floración y madurez, así como evaluar el comportamiento de las distintas clases de híbridos en el Paleustol, se realizó un ACP (Figura 3.12). La CP 1 explicó el 70,8 % de la variabilidad de los datos estandarizados y estuvo determinada principalmente por las variables R_{dto} , MS_f , IAF_f y temperatura foliar en floración. Se encontró que los tres tipos de híbridos de girasol se separaron en esta CP, especialmente el CV mientras que los OL y ES se ubicaron más cercanos entre sí. El rendimiento estuvo correlacionado principalmente con la MS_f , el IAF_f y en menor medida con el IC. También la MG en grano se correlacionó positivamente con el IAF_f , MS_f y rendimiento. En cambio la relación del rendimiento con AFE_f y temperatura foliar resultó negativa, y no se relacionó con la TAN_{v-f} . Existió una fuerte correlación negativa entre IAF_f y temperatura foliar y entre AFE_f e IC. Se observó que los girasoles CV estuvieron más asociados a altos rendimientos, producción de MS_f e IAF_f que los OL y ES. Estos últimos presentaron más dificultad en la regulación de la temperatura foliar, y los OL se caracterizaron por una elevada AFE_f .

La CP 2 explicó el 29,2 % de la variabilidad total de los datos y estuvo determinada fundamentalmente por la TAN_{v-f} , que se contrapuso al AFE, y en menor proporción por la MG. La separación de los híbridos en este componente fue más marcada entre OL y ES, ya que los primeros presentaron niveles superiores de MG en grano, cercana a la de CV, y menores TAN que los ES.

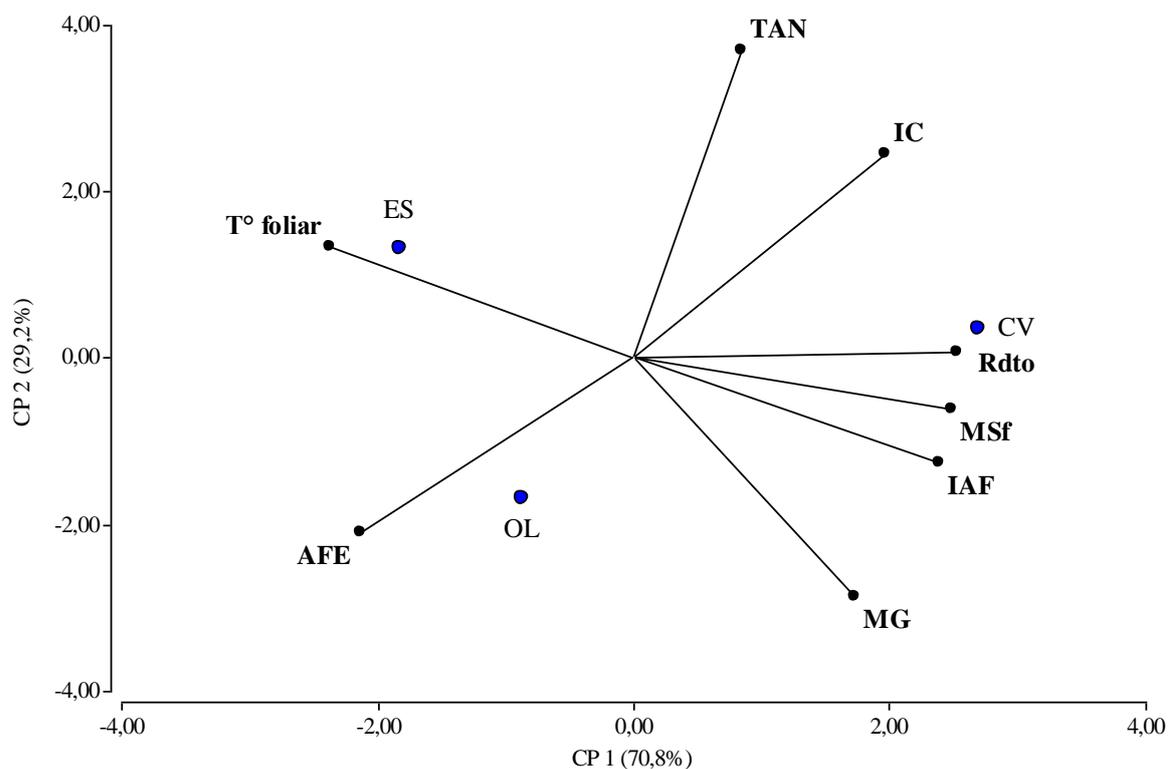


Figura 3.12. Análisis de componentes principales con variables fisiológicas relacionadas al rendimiento en el Paleustol. Rendimiento en grano (Rdto), materia grasa en grano (MG), materia seca a floración (MSf), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), área foliar específica (AFE), temperatura foliar (T° foliar) y tasa de asimilación neta (TAN).

Producción de granos e índices económicos

Las variables Rdto, $Rdto_{MG}$, EUA, PEA y MB no presentaron interacción híbrido*campaña en el Paleustol. Las diferencias entre años fueron altamente significativas, reflejando las diferentes condiciones climáticas (Foto 1.1 Anexo I). Se destacaron los elevados valores de las variables físicas y económicas medidas en la segunda campaña, por el contrario, en el tercer año la combinación de escasez de agua y altas temperaturas condicionó severamente al cultivo (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña en el Paleustol.

Campaña	Rdto (kg ha ⁻¹)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)	MB (u\$ ha ⁻¹)
2011/12	2150 b	883 b	4,2 b	1,44 b	316 b
2012/13	3697 a	1497 a	8,5 a	3,24 a	771 a
2013/14	824 c	331 c	2,8 c	0,91 c	-89 c
<i>DMS</i>	<i>178</i>	<i>80</i>	<i>0,51</i>	<i>0,19</i>	<i>54</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

En lo que respecta a los genotipos, se encontraron diferencias significativas en Rdto, Rdto_{MG} y EUA (Tabla 1.6 Anexo I). En este caso, los materiales de igual calidad de aceite no discreparon entre sí, por el contrario, se hallaron contrastes significativos entre calidades (Tabla 3.11). Los materiales CV presentaron mayor rendimiento y EUA que los OL y ES, mientras estos no se diferenciaron entre sí. Los CV produjeron 400 kg más de granos que los OL y 540 kg más que los ES, con EUA más altas en aproximadamente 1 punto. El Rdto_{MG} de los híbridos OL fue menor al de los tradicionales en 250 kg ha⁻¹ aunque superior que el de los ES, debido en parte a que los granos de calidad esteárico tuvieron en general menor contenido de MG. No obstante, al estudiar las variables económicas PEA y MB no se encontraron diferencias significativas entre los distintos materiales. Se obtuvieron en promedio 1,86 u\$ ha⁻¹ mm⁻¹ con los genotipos utilizados y márgenes de 333 u\$ ha⁻¹, es decir, que las bonificaciones en el precio de los girasoles OL y ES compensaron su menor productividad. Los precios finales, con bonificaciones por % MG y calidad, utilizados para calcular la PEA y MB figuran en la Tabla 3.12. En los tres años los ES presentaron el precio más alto, seguidos de los OL cuyo valor fue significativamente mayor al de los CV. La magnitud de la diferencia de precios fue distinta cada campaña principalmente por cambios de la cotización pizarra y porcentaje de MG.

Tabla 3.11. Contraste entre tipos de híbridos en rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) en el Paleustol.

Tipo de híbrido	Rdto (kg ha ⁻¹)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)	MB (u\$ ha ⁻¹)
CV	2534 a	1059 a	5,9 a	1,93 a	333 a
OL	2146 b	900 b	5,0 b	1,80 a	310 a
ES	1991 b	753 c	4,7 b	1,86 a	355 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Tabla 3.12. Contraste entre tipos de híbridos en precio final de cada campaña en el Paleustol.

Tipo de híbrido	Precio final (u\$s)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV	314,7 c	342,8 c	288,6 c
OL	354,1 b	380,9 b	313,7 b
ES	371,6 a	426,7 a	371,1 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Por otra parte, las variables MG, PMG y número de granos por m^2 sí tuvieron interacción híbrido*campaña ($p < 0,05$), por lo que se presentan los resultados de cada campaña por separado en la Tabla 3.13. Todos los años puede observarse el menor % MG de los materiales ES con respecto a OL y CV, en especial en los dos primeros, en los que las condiciones climáticas fueron más favorables. Pero además se observaron diferencias significativas entre genotipos de la misma calidad de aceite, particularmente en los CV (Tabla 1.7 Anexo I). El PMG también fue menor en los ES en promedio, encontrándose las diferencias más altas en la 2ª campaña, mientras entre OL y CV no hubo contrastes significativos. En esta variable nuevamente se encontraron diferencias entre materiales del mismo tipo de aceite (Tabla 1.7 Anexo I). Todos los años el CV 2, OL 1 y ES 2 generaron granos más grandes que el CV1, OL 2 y ES 1 respectivamente. En cuanto al número de granos m^2 en las 3 campañas se distinguieron los híbridos CV, aunque en la segunda los esteáricos lograron el mayor número. Los genotipos alto oleicos siempre generaron menos frutos que los convencionales, mientras no se diferenciaron estadísticamente de los esteáricos en el 1^{er} y último año. Las variaciones en número de granos entre híbridos del mismo tipo fueron menos detectadas que en el PMG (Tabla 1.7 Anexo I).

Tabla 3.13. Contraste entre tipos de híbridos en porcentaje de materia grasa en grano (MG), peso de mil granos (PMG) y granos por m^2 (granos m^2), en cada campaña en el Paleustol.

Tipo de híbrido	2011/12			2012/13			2013/14		
	MG (%)	PMG (g)	granos m^2	MG (%)	PMG (g)	granos m^2	MG (%)	PMG (g)	granos m^2
CV	48,4 a	43,8 a	5084 a	45,5 a	52,8 a	7005 a	45,0 a	35,0 a	2798 a
OL	48,3 a	45,0 a	4405 b	46,0 a	52,5 a	6159 b	44,3 ab	34,9 a	1888 b
ES	39,2 b	43,3 a	3925 b	43,3 b	43,6 b	7240 a	43,5 b	28,1 b	2324 ab

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

El efecto de la fertilización sobre el girasol en el Paleustol no presentó interacción con campaña y/o híbrido ni fue significativo en la mayoría de las variables de producción (Tabla 1.8 Anexo I). El resultado más notorio fue la disminución del MB en más de 100 u\$s ha⁻¹ con el aporte de fertilizantes, debido al costo de los mismos y la baja respuesta del cultivo. En el caso de la MG se encontró interacción fertilización*campaña, observándose diferencias significativas en las campañas 2012/13 y 2013/14 cuando las parcelas testigo superaron a las fertilizadas en 2 y 1,1 puntos respectivamente (datos no presentados).

3.3.5 Resultados Ustipsamment

Indicadores en floración

Las propiedades del cultivo medidas a floración en el Ustipsamment presentaron diferencias estadísticamente significativas entre campañas (Tabla 3.14). Al igual que en el Paleustol, la mayor producción de MS_f se obtuvo el 2° año del ensayo con 8170 kg ha⁻¹, mientras no hubo diferencias estadísticas entre la 1ª y última campaña. El área foliar también fue más amplia en la campaña 2012/13 cuando el IAF_f alcanzó valores óptimos para la intercepción de la radiación (2,6), por otra parte, en 2011/12 el IAF_f fue menor que en 2013/14. Igualmente, los mayores valores de AFE_f se observaron en la 2ª campaña, diferenciándose significativamente de las otras dos. La más alta TCC_{v-f} entre el estado vegetativo y floración, también se registró en 2012/13 con 18,8 g m⁻² día⁻¹, seguido por 16,7 g m⁻² día⁻¹ en 2013/14, correspondiendo la menor tasa a la 1ª campaña, con 13,9 g m⁻² día⁻¹. En la Figura 3.7 se observa que el UC_{e-f} no varió considerablemente entre campañas en este suelo. Existieron 50 mm de diferencia entre las campañas 2011/12 y 2013/14, a favor de la 1ª, con valores intermedios en el 2° año. Del mismo modo, la EUA_{MS_f} no se diferenció tanto entre campañas como en el Paleustol, pero tal como el resto de las variables productivas, resultó mayor en la campaña 2012/13 con 26,2 kg ha⁻¹ mm⁻¹. La TAN_{v-f} presentó interacción híbrido*campaña por lo que los resultados se muestran para cada híbrido en la Tabla 1.9 del Anexo I. En la campaña 2013/14 se registró la mayor TAN_{v-f} con más de 19 g m⁻² día⁻¹, en contraste, la campaña más productiva (2012/13) tuvo el menor valor.

Tabla 3.14. Materia seca (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_f), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de cada campaña en el Ustipsamment.

Campaña	MS_f (kg ha ⁻¹)	IAF_f	AFE_f (cm ² g ⁻¹)	TCC_{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA_{MS_f} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2011/12	7355 b	1,7 c	135 b	13,9 c	22,2 b
2012/13	8170 a	2,6 a	152 a	18,8 a	26,2 a
2013/14	6799 b	2,0 b	124 b	16,7 b	24,3 ab
<i>DMS</i>	783	0,3	12,3	1,8	1,1

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Durante los tres años en el Ustipsamment no se hallaron diferencias entre los 6 híbridos en las variables: MS_f , AFE_f , TCC_{v-f} y EUA_{MS_f} , aunque en todos los casos los mayores valores correspondieron al CV 2 (Tabla 1.10 Anexo I). La superioridad de este híbrido fue significativa en IAF_f , con un promedio de 2,5 en las tres campañas mientras los otros genotipos estuvieron por debajo de 2,1. No se encontraron contrastes significativos entre tipos de híbrido para ninguna de las variables, a pesar que se observa una leve ventaja de los CV dada por el CV 2 (Tabla 3.15). La TAN_{v-f} de las distintas calidades de girasol también fue similar en los 3 años (Tabla 1.9 Anexo I), apareciendo algunas diferencias entre genotipos en la 1ª y 3ª campaña entre las que puede resaltarse la baja TAN del CV 2 (datos no presentados).

Tabla 3.15. Contraste entre tipos de híbrido en materia seca (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_{v-f}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), a floración en el Ustipsamment.

Tipo de híbrido	MS_f (kg ha ⁻¹)	IAF_f	AFE_f (cm ² g ⁻¹)	TCC_{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA_{MS_f} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
CV	7724 a	2,2 a	139 a	17,1 a	25,6 a
OL	7133 a	2,0 a	135 a	15,6 a	23,3 a
ES	7468 a	2,1 a	136 a	16,6 a	23,7 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Las variaciones en CRA y temperatura foliar entre híbridos fueron muy reducidas, como en el Paleustol, si bien se observó que el genotipo esteárico presentó el CRA más bajo en el promedio de las tres campañas (Tabla 3.16).

Tabla 3.16. Contenido relativo de agua de las hojas (CRA_f), temperatura foliar (T° foliar) y diferencia entre temperatura del aire y foliar (T°aire-T°foliar), en floración de 3 híbridos en el Ustipsamment.

Híbrido	CRA _f (%)	T° hojas	T°aire - T°foliar
CV 2	70 ab	25,6 a	8,3 a
OL 1	71 a	25,9 a	7,9 a
ES 2	69 b	26,1 a	7,7 a
DMS	0,02	1,86	1,86

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Indicadores en madurez fisiológica

Las variables medidas a cosecha del cultivo presentaron interacción campaña*fertilización pero no hubo interacción del efecto híbrido. El girasol en este suelo produjo en promedio 9000 kg MS_{mf}, dejando un rastrojo de 6050 kg ha⁻¹. Se observó que no existieron diferencias según calidad de aceite en MS_{mf}, MS_r y EUA_{MS_{mf}}, aunque sí se evidenció un IC superior en los genotipos CV respecto a los OL y ES (Tabla 3.17). Dentro de los grupos de calidad, los híbridos ES 1 y OL 2 se destacaron en MS_{mf} y EUA_{MS_{mf}} de ES 2 y OL 1 respectivamente, mientras no hubo diferencias estadísticas entre los convencionales (datos no presentados).

Tabla 3.17. Contraste entre tipos de híbrido en materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del residuo (MS_r), índice de cosecha (IC) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS a madurez fisiológica (EUA_{MS_{mf}}), en el Ustipsamment.

Tipo de híbrido	MS _{mf} (kg ha ⁻¹)	MS _r (kg ha ⁻¹)	IC	EUA _{MS_{mf}} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
CV	9009 a	5763 a	0,37 a	21,9 a
OL	9232 a	6424 a	0,31 b	22,4 a
ES	8599 a	5991 a	0,31 b	20,4 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

En relación a las campañas, resultó clara la mayor producción de MS en el año 2012/13 respecto al siguiente, mientras que el IC y EUA_{MS_{mf}} fueron similares. Además, el efecto de la fertilización sobre estas variables dependió del año bajo estudio. En la campaña 2012/13 la fertilización mejoró únicamente el IC respecto al testigo, pero no la producción de MS. Lo contrario ocurrió en 2013/14, cuando las parcelas fertilizadas produjeron

significativamente más MS_{mf} y presentaron mayor $EUA_{MS_{mf}}$ que las que no tenían agregado de nutrientes, pero sin aumentar el IC (Tabla 3.18).

Tabla 3.18. Materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del residuo (MS_r), índice de cosecha (IC) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EUA_{MS_{mf}}$) en los tratamientos fertilizado y testigo de las campañas 2012/13 y 2013/14 en el Ustipsamment.

Tratamiento	MS_{mf} (kg ha ⁻¹)		MS_r (kg ha ⁻¹)		IC		$EUA_{MS_{mf}}$ (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
Fertilizado	10200 a	8645 a	6707 a	5935 a	0,35 a	0,32 a	20,4 a	24,9 a
Testigo	10541 a	6400 b	7349 a	4247 b	0,31 b	0,34 a	22,3 a	18,6 b
<i>DMS</i>	965		938		0,03		2,3	

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Se realizó un ACP con las principales variables fisiológicas evaluadas que resultó muy similar al obtenido en el Paleustol (Figura 3.13). La CP 1 explicó el 70,1 % de la variabilidad de los datos estandarizados, siendo el rendimiento una de las principales variables determinantes. Los híbridos convencionales se separaron de los esteáricos y oleicos, aunque estos dos no difirieron marcadamente en este CP. El rendimiento se correlacionó positivamente con el IAF_f , el IC y, a diferencia de lo ocurrido en el Paleustol, con el AFE_f . Además en el Ustipsamment el rendimiento en grano se correlacionó más con el IC que con la MS_f . Por otra parte, al igual que en el Paleustol, existió alta correlación negativa del rendimiento con la temperatura foliar. Los genotipos convencionales presentaron valores más altos de rendimiento y sus variables asociadas que oleicos y esteáricos, así como menor temperatura foliar.

La CP 2 concentró el otro 29,9% de la variabilidad, y estuvo asociada básicamente con MG y TAN_{v-f} , variables que se confrontaron en el ACP. Los híbridos oleicos y esteáricos tuvieron las diferencias más importantes en este componente, ya que los esteáricos presentaron más elevados valores de TAN_{v-f} y bajo contenido de MG, en contraste con los oleicos que se relacionaron a niveles más altos de MG.

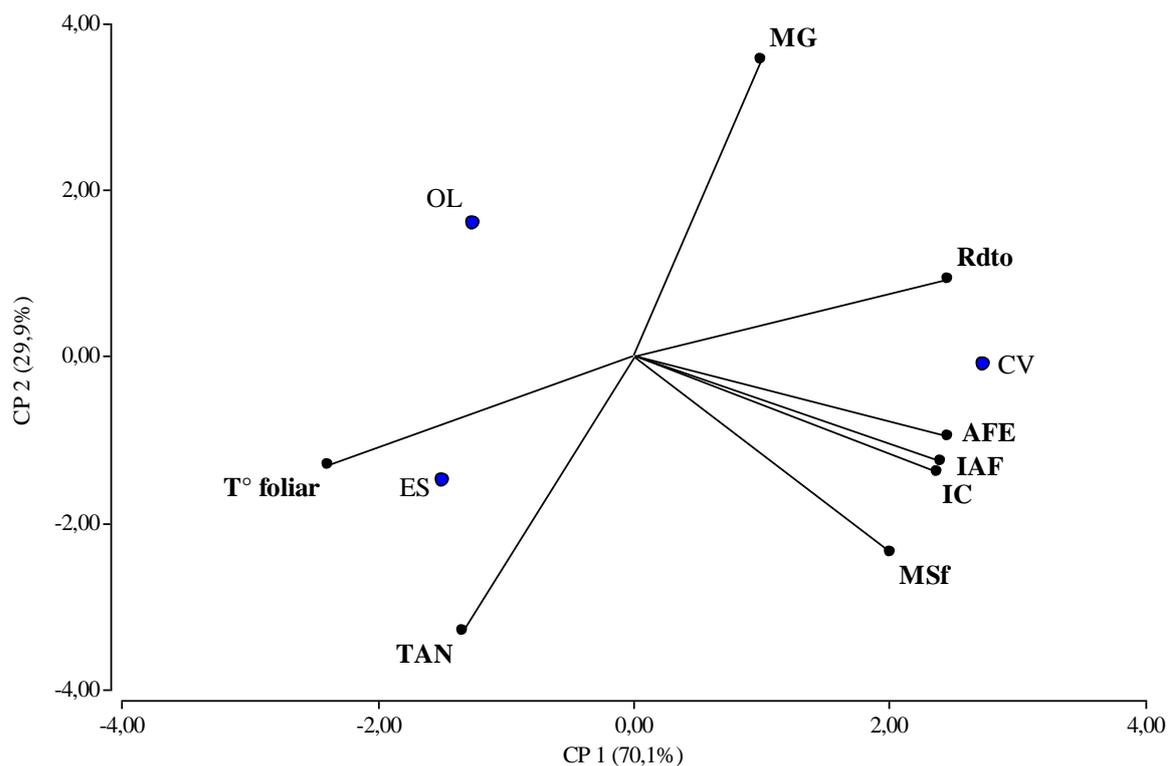


Figura 3.13. Análisis de componentes principales, variables fisiológicas relacionadas al rendimiento en el Ustipsamment. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), materia seca a floración (MSf), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), área foliar específica (AFE), temperatura foliar (T° foliar) y tasa de asimilación neta (TAN).

Producción de granos e índices económicos

En el Ustipsamment existió interacción híbrido*campaña ($p < 0,05$) para las variables Rdto, MG, Rdto_{MG} y MB (Tablas 3.19 y 3.21). Respecto a las campañas cabe destacar que la producción de grano y MG del 1° y 2° año fueron muy similares en este ambiente, en cambio en 2013/14 se obtuvieron en promedio 1200 kg de grano menos por ha (Foto 1.2 Anexo I). En dicho año el número de granos m^{-2} fue muy inferior a las otras dos (Tabla 1.11 Anexo I) y no fue compensado por mayor PMG. El MB también disminuyó en la última campaña debido a menores rindes y la caída del precio del girasol (Tabla 3.21). La EUA en este suelo varió entre 6,5 y 7,9 $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ en las 3 campañas, siendo superior en el primer año. La PEA presentó pocos cambios pero fue significativamente menor en la 3ª campaña (2,33 $u\$s\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) respecto a las anteriores (2,83 $u\$s\ ha^{-1}\ mm^{-1}$), lo cual estaría asociado a la menor EUA y menor cotización del girasol (Tabla 1.11 Anexo I). En cuanto a los híbridos puede observarse que los CV mostraron superioridad en rendimiento de grano y aceite en las 3 campañas (Tabla 3.19). Se diferenciaron

significativamente de los ES en 600 a 800 kg ha⁻¹ de rinde en granos y 300 a 600 kg ha⁻¹ de MG, correspondiendo las menores brechas al año 2013/14, menos favorable para el cultivo. Además los ES presentaron menor porcentaje de MG todos los años. Las diferencias entre CV y OL en cambio, no siempre fueron significativas. Las brechas en rendimiento en grano fueron importantes las dos primeras campañas, 400 y 800 kg ha⁻¹, y en la última no fueron significativas. El rendimiento de MG sólo fue estadísticamente superior para los CV en la 2^a campaña. Al comparar ES y OL, se observó en general mayor producción de MG de los OL, aunque en 2012/13 los ES rindieron más. Estos resultados condicen lo observado en componentes de rendimiento, PMG y número de granos por m², que fueron más altos en los genotipos CV (Figura 1.4 Anexo D). Los OL tuvieron PMG similares a los CV, en orden de los 66 g, mientras los ES se caracterizaron por un menor PMG, con 57 g. En granos por m² los ES no presentaron diferencias significativas con los CV, pero los OL produjeron menor número. Respecto a la MG en grano, los ES siempre tuvieron el menor porcentaje, mientras OL y CV presentaron valores similares a excepción de la 2^a campaña cuando los OL tuvieron en promedio 1,4 % más (Tabla 3.19).

La EUA y PEA de los distintos genotipos no presentaron interacción híbrido*campaña (Figura 3.14). Se encontraron diferencias significativas entre híbridos en EUA, los convencionales produjeron en el promedio de las campañas 8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de agua disponible, 1 kg más que los oleicos, y 1,6 kg más que los esteáricos. Por otro lado, la PEA rondó los 2,7 u\$s ha⁻¹ mm⁻¹ y no varió notablemente entre híbridos.

ES y OL tuvieron precios apreciablemente más altos que los CV en los tres años de ensayo en el Ustipsammet (Tabla 3.20). No obstante, el MB fue variable a través de las campañas y no se observaron tendencias evidentes, más allá de que ninguno de los híbridos de calidad mejorada superó significativamente el MB de los girasoles tradicionales. Además, en el año con menores precipitaciones todos los híbridos presentaron similares márgenes como ocurrió en el Paleustol (Tabla 3.21).

Tabla 3.19. Contraste entre tipos de híbridos en rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG) y rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}) en el Ustipsamment.

Tipo de híbrido	2011/12			2012/13			2013/14		
	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)
CV	4157 a	49,9 a	1866 a	4254 a	51,0 b	1952 a	2762 a	51,9 a	1286 a
OL	3774 b	50,6 a	1718 a	3370 b	52,4 a	1591 b	2589 a	51,9 a	1212 a
ES	3338 c	41,7b	1254 b	3527 b	47,5 c	1516 b	2138 b	48,5 b	971 b

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Tabla 3.20. Contraste entre tipos de híbridos en precio final de cada campaña en el Ustipsamment.

Tipo de híbrido	Precio final (u\$s)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV	323,1 b	377,7 c	324,7 c
OL	367,3 a	421,5 b	355,1 b
ES	371,6 a	451,4 a	397,8 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

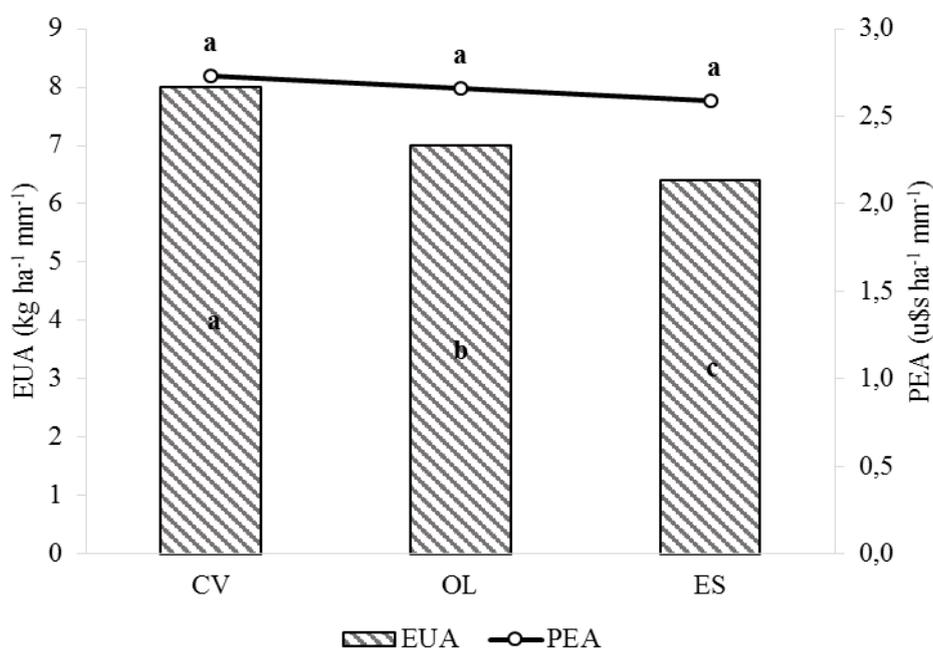


Figura 3.14. Eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica del agua (PEA) de los genotipos convencionales (CV), alto oleicos (OL) y esteáricos (ES), en el Ustipsamment.

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Tabla 3.21. Contraste entre tipos de híbridos en margen bruto (MB) en el Ustipsammet.

Tipo de híbrido	MB (u\$s ha ⁻¹)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV	798 ab	930 a	426 a
OL	880 a	802 b	458 a
ES	757 b	980 a	434 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Al evaluar los híbridos de forma individual (Tabla 1.12 Anexo I), se observa que en la 1^a campaña, no hubo diferencias significativas de rendimiento entre genotipos de igual calidad. El rendimiento en grano de los CV y OL no se diferenciaron estadísticamente, aunque los CV presentaron los valores más altos. Los materiales ES, rindieron menos que los CV pero el ES 2 no se diferenció de los OL. Este año si existieron diferencias de MG entre todos los pares de genotipos de la misma calidad, presentando CV 2 y OL 1 los mayores porcentajes y los ES los más bajos. Tanto los CV como OL produjeron cantidades semejantes de MG diferenciándose significativamente de los ES. Asimismo, el ES 2 tuvo un Rdt_{MG} superior al ES 1. En cuanto al resultado económico, no se hallaron diferencias estadísticas entre los 6 genotipos (Tabla 1.13 Anexo I), si bien como se observó en la Tabla 3.21, los OL presentaron en general mejor MB que los ES, mientras que con los CV se logró un MB intermedio.

En la campaña 2012/13 se registraron diferencias significativas en rendimiento en grano y MG entre los 2 genotipos ES y los 2 OL, los CV en cambio tuvieron comportamientos semejantes. Estos últimos tuvieron los rindes más altos sin diferenciarse de OL 2 y ES 1. En cuanto al porcentaje de MG, el CV 2 y ambos OL se destacaron sobre el CV 1 y los ES. Los mayores Rdt_{MG} fueron de ambos CV y del OL 2, con más de 1800 kg ha⁻¹ (Tabla 1.12 Anexo I). A diferencia del año anterior, existieron variaciones importantes en MB, incluso entre los dos genotipos ES y OL entre sí. El MB más alto lo tuvo el ES 1, seguido por OL 2 y ambos CV, mientras ES 2 y OL 1 presentaron los menores valores (Tabla 1.13 Anexo I).

Los materiales CV y OL 2 volvieron a presentar elevado rendimiento de grano y MG en 2013/14. Hubo diferencias significativas entre los OL, que distaron en 700 kg ha⁻¹ de grano, pero no entre los otros pares del mismo tipo de aceite, ES y CV. Estos en cambio, se diferenciaron entre sí en el nivel de MG en grano, como ocurrió en las campañas anteriores (Tabla 1.12 Anexo I). Respecto al MB en esta campaña, a pesar que no se

hallaron diferencias entre grupos de calidad, se repitieron las diferencias entre los genotipos OL y ES observadas la campaña anterior a favor de OL 2 y ES 1 respectivamente (Tabla 1.13 Anexo I).

En la Tabla 1.14 del Anexo I figuran los resultados promedio de los distintos híbridos en las 3 campañas para las variables que no presentaron interacción híbrido*campaña. Se hallaron diferencias significativas entre genotipos de la misma calidad en los componentes de rendimiento. ES 2, OL 1 y CV 2 tuvieron mayor PMG e inferior número de granos por m² que sus respectivos pares de calidad. Por otra parte, al igual que en el Paleustol, se observó la elevada EUA de CV 1, CV 2 y OL 2, que superaron en más de 1 punto a los demás híbridos. Estas variaciones se atenuaron al medir la eficiencia en términos económicos con la PEA, por la que se destacó el ES 1 además de los materiales antedichos.

La fertilización en el Ustipsamment mejoró el rendimiento en grano y MG, el número de granos por m² y la EUA del girasol sin interaccionar con la campaña o genotipo, sin embargo, estos aumentos no fueron tan sustanciales en valores absolutos como se esperaba (Tabla 3.22). La PEA fue similar entre tratamientos, por leves diferencias en el precio a favor de los testigos dado su mayor contenido de MG.

Tabla 3.22. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), número de granos por m² (granos m⁻²), eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica de agua (PEA), en los tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Fertilización	Rdto (kg ha ⁻¹)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	granos m ⁻²	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Fertilizado	3419 a	1512 a	4839 a	7,3 a	2,69 a
Testigo	3227 b	1450 b	4667 b	7,0 b	2,62 a
<i>DMS</i>	<i>96</i>	<i>45</i>	<i>169</i>	<i>0,24</i>	<i>0,09</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

El efecto de la fertilización sobre los componentes de rendimiento: PMG y porcentaje de MG solo se observó en la campaña más favorable (2012/13), cuando las parcelas fertilizadas presentaron el mayor PMG pero 2 % menos de MG debido a su dilución en semillas más pesadas. El MB resultó significativamente más alto en los testigos durante las campañas 2011/12 y 2012/13, por 149 y 85 u\$ ha⁻¹ respectivamente. En la última campaña en cambio, la diferencia fue sólo de 10 u\$ ha⁻¹, lo cual no fue estadísticamente relevante (datos no presentados).

Para identificar las variables que mejor explican las diferencias entre genotipos de girasol, se realizó un ACP en cada suelo (Figura 3.15 a y b). En ambos se separaron las tres clases de girasoles en el CP 1, que explicó el 68,7 % de la variabilidad en el Paleustol y el 82,3 % en el Ustipsamment. Este componente estuvo determinado por un lado por las variables rendimiento y EUA, y por el otro por el precio final, el cual se contrapuso a las anteriores. La diferencia más notable entre ambos sitios, fue que la PEA estuvo más relacionada a la EUA en el Ustipsamment que en el Paleustol. Los genotipos CV se asociaron a elevados rindes y EUA en ambos suelos, y además a alta PEA en el Ustipsamment. Los ES por su parte se asociaron a altos precios finales, más estrechamente en el Paleustol, mientras los oleicos se ubicaron en una posición intermedia en rendimiento, EUA y precio respecto a ES y CV.

La CP 2 separó OL de ES y CV, representó el 31,3 % de la variabilidad de los datos en el Paleustol y estuvo determinado por el MB, PEA y en menor medida por MG. En el Ustipsamment la CP 2 significó solo el 17,7 % de la variabilidad y estuvo relacionado fundamentalmente al MB y a la MG en contraposición. En el Paleustol, los OL presentaron menor PEA y MB, en comparación con CV y ES, y sólo menor MB en el Ustipsamment. Además, en el Ustipsamment los OL se relacionaron más estrechamente con la MG que en el Paleustol.

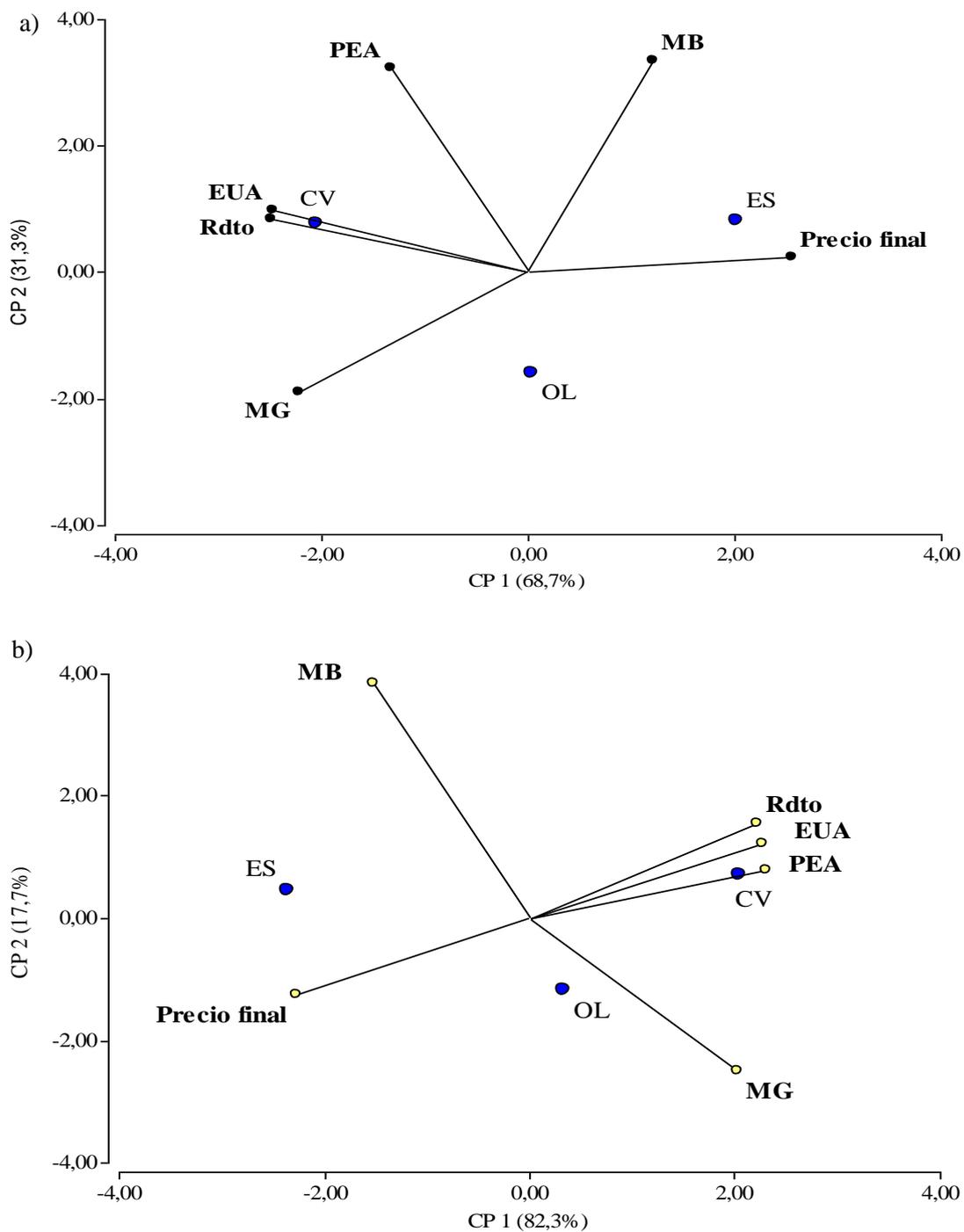


Figura 3.15. Análisis de componentes principales, variables indicadoras en a) Paleustol y b) Ustipsammet. Rendimiento en grano (Rdto), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica del agua (PEA), porcentaje de materia grasa en grano (MG), precio final y margen bruto (MB).

3.3.6 Composición de ácidos grasos

En la Figura 3.16 se representó la proporción de ácidos grasos del aceite de los materiales de girasol utilizados en este ensayo en los dos suelos en la campaña 2013/14. La composición del aceite de los distintos tipos de girasol fue la esperada y no hubo variaciones sustanciales entre suelos, aunque se apreció mayor porcentaje de ácido linoleico, en detrimento de oleico y esteárico, de los genotipos CV y OL en el Ustipsammet respecto al Paleustol. Los CV presentaron el mayor porcentaje de ácido linoleico, un 30 % de oleico y 5 % de esteárico. Cabe resaltar que la relación linoleico/oleico de los CV pudo haber sido disminuida respecto a lo normal por las mayores temperaturas en la etapa de llenado de esta campaña (Figura 1.1 Anexo I) (Izquierdo *et al.*, 2006). Los girasoles OL superaron el nivel habitual de recibo de 80 % de ácido oleico (Izquierdo y Aguirrezábal, 2010) por lo que no sufrieron descuentos en el precio. Los ES produjeron 13 % de ácido esteárico, caracterizándose también por su alto contenido de ácido oleico en relación a los CV, debido a su fondo genético alto oleico.

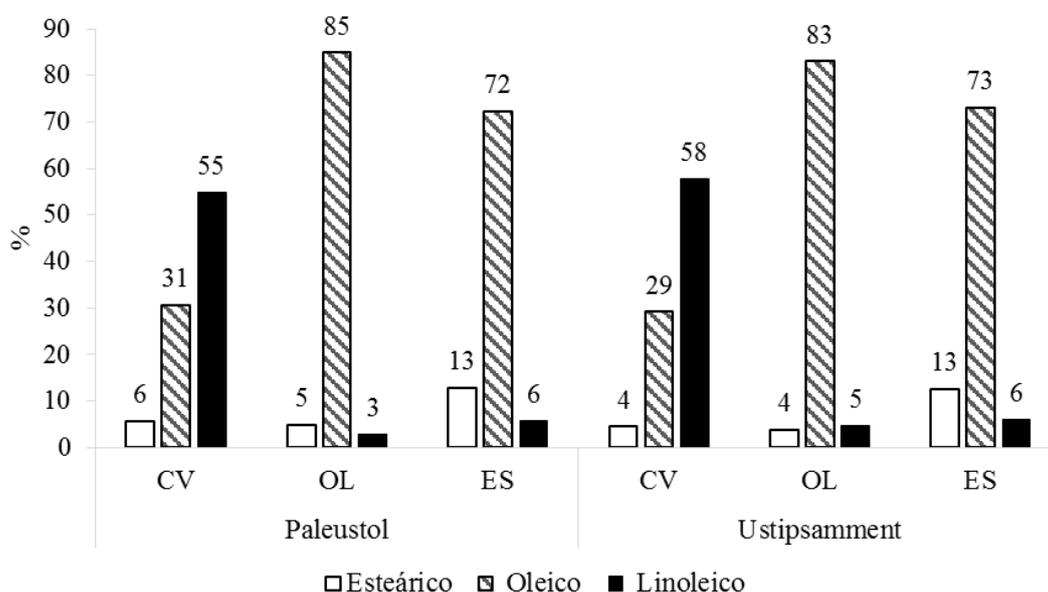


Figura 3.16. Proporción de ácidos grasos: esteárico, oleico y linoléico en los genotipos de girasol medio esteáricos (ES), alto oleicos (OL) y convencionales (CV), en los dos suelos.

3.4 Discusión

3.4.1 *Efecto del suelo y ambiente en la productividad y calidad del cultivo*

En las tres campañas en las que se llevó a cabo el ensayo se manifestó la variabilidad anual y mensual de las precipitaciones, característica de la RSP (Figura 3.1). Funaro *et al.* (2008) y Della Maggiora *et al.* (2009) consideran que girasoles de buena producción (3500 kg ha^{-1}) presentan requerimientos hídricos de 450-500 mm durante todo su ciclo, valores que puede alcanzarse en pocas oportunidades en la RSP. Los UC del girasol en este ensayo variaron entre campañas y suelos (Figura 3.7), superando los 450 mm en la campaña 2011/12 en el Paleustol, y en 2012/13 en el Ustipsamment cuando se alcanzó el máximo UC de 500 mm. En los demás casos el UC estuvo por debajo de ese límite, y se alejó considerablemente de la ETP, principalmente en la campaña 2013/14, cuando fue de apenas 260 mm en el suelo somero. No obstante, los mayores rindes en el Paleustol no ocurrieron cuando el cultivo tuvo más UC total, se observó en cambio una mayor correlación del rendimiento con el UC_{e-f} ($\rho=0,84$, Figura 3.9a). De esta manera, los rendimientos más altos en este suelo se lograron en la 2ª campaña, cuando el UC total fue de 390 mm pero 315 mm fueron utilizados por el cultivo antes de floración. Como se explicará en los párrafos siguientes la importancia de las condiciones del cultivo del período pre-anteses se debe a la determinación del número de granos por capítulo de girasol, así como también, al desarrollo del área foliar que producirá los asimilados necesarios para el llenado de granos.

En el Ustipsamment, aunque la correlación del rendimiento con el UC_{e-f} fue menor ($\rho=0,37$, Figura 3.9b), seguramente asociado al aporte de la napa, los rindes más altos también se alcanzaron cuando éste rondó los 315 mm, lo cual ocurrió la 1ª y 2ª campaña, siendo que sólo esta última presentó UC total mayor a 450 mm (Figuras 3.7 y 3.17). Las características del clima de la región semiárida indicarían que este UC_{e-f} ideal de 315 mm podría cubrirse con las precipitaciones en el 30 % de los años (Figura 3.3), por lo cual la reserva de humedad en el suelo previo a la siembra adquiere fundamental importancia. Considerando que el valor más probable de precipitaciones en el período noviembre-enero es de 260 mm, se requerirán al menos 60 mm de AU almacenados en el suelo antes de la siembra para elevar la probabilidad de obtener rendimientos apreciables de girasol.

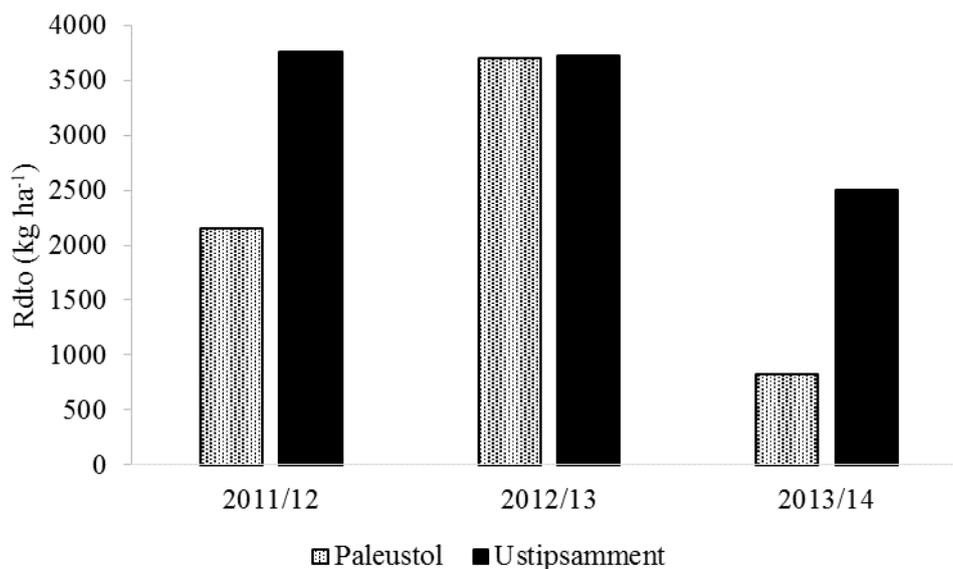


Figura 3.17. Rendimiento en grano (Rdto) promedio en cada campaña de los híbridos de girasol, en los suelos Paleustol y Ustipsamment.

El cultivo de girasol presenta una amplia ventana de tiempo que resulta crítica para la fijación del número de granos, principal determinante del rendimiento, que transcurre desde iniciación floral (aproximadamente 30 días antes de antesis) a 20 días después de 1ª antesis (Cantagallo *et al.*, 1997; Chimenti y Hall, 2001). Durante esta etapa tienen lugar la producción de primordios florales, la supervivencia y desarrollo de las flores diferenciadas, su fertilización y posterior cuaje de los embriones resultantes. Cualquier variación ambiental que disminuya el suministro de asimilados al capítulo tiene efecto directo en dichos procesos, dentro de los cuales la fertilidad de flores y fijación de granos son los más sensibles (Andrade *et al.*, 2009a). Por lo tanto, buenas condiciones ambientales y altas tasas de crecimiento por planta en torno a floración favorecen la producción de aquenios. No obstante, en la RSP este momento crítico del girasol coincide con un período de elevada demanda atmosférica (Figura 3.4), que pocas veces puede satisfacerse con las precipitaciones. Grassini *et al.* (2009) indican que en esta región el cultivo de girasol está expuesto a episodios de déficit hídricos después de iniciación floral en el 66 % de los años, con la consecuente disminución del rinde respecto a situaciones sin limitaciones hídricas. En este ensayo, la mayor disponibilidad de agua alrededor de floración se observó en ambos suelos en la campaña 2012/13, como se mostró en la Figura 3.10. Asimismo, condiciones propicias durante el llenado de grano también son importantes en girasol por su capacidad de compensar en buena proporción un bajo número de granos con mayor peso de los mismos (Andrade, 1995; Dosio *et al.*, 2000).

La temperatura y radiación también afectan a cada uno de los procesos involucrados en la definición del número de granos. Altas temperaturas acortan la etapa de diferenciación floral y consecuentemente el número de primordios florales producidos en girasol. También se ha observado en varias especies efectos negativos de temperaturas extremas en la polinización y viabilidad del polen (Hatfield y Prueger, 2015). Por otro lado, la mayor radiación interceptada durante la fase de diferenciación floral tiene efectos positivos sobre el número y crecimiento de flores por un mayor suministro de fotoasimilados al ápice, mientras que en el período inmediatamente posterior a anthesis el sombreado incrementa el aborto de granos (Cantagallo y Hall, 2002; Cantagallo *et al.*, 2004). Además, alta radiación y moderada temperatura favorecen la duración y actividad del área foliar, necesaria para un buen peso de grano y alta concentración de aceite (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Trápani *et al.*, 2003). Temperatura y radiación se integran en el Q, que fue demostrado por Cantagallo *et al.* (1997) tener mejor correlación con el número de granos por m² en girasol que cada variable por separado durante el período crítico. El Q para el período señalado resultó superior en la campaña 2012/13, en coincidencia con la mayor disponibilidad hídrica. En la campaña 2013/14, en cambio, se registraron varios días con temperaturas máximas superiores a 30°C durante el período de diferenciación y desarrollo de flores (diciembre, Figura 1.2 Anexo I) que disminuyen el número de granos por capítulo (Chimenti y Hall, 2001).

Por otra parte, el impacto sobre el cultivo de la variabilidad interanual en las precipitaciones fue desigual en los dos suelos. A pesar de estar bajo el mismo régimen pluviométrico, el Ustipsamment presentó mayor estabilidad en productividad durante las tres campañas que el Paleustol (Figura 3.17). En el primero los rindes promedios variaron de más de 3700 kg ha⁻¹ en las 1^a y 2^a campaña a 2500 kg ha⁻¹ en 2013/14. En correspondencia con estos resultados, Bono y Romano (2008) estimaron un valor de 3500 kg ha⁻¹ como promedio para esta zona cuando no hay limitaciones hídricas. En el Paleustol se lograron producciones de grano equiparables al Ustipsamment en 2012/13, con 3700 kg ha⁻¹, en contraste con rendimientos de 820 kg ha⁻¹ y alta variabilidad en 2013/14 (Figura 3.17). Este comportamiento diferencial de girasol entre suelos estaría dado en parte por su distinta capacidad de almacenar agua. Respecto a esto Funaro *et al.* (2006a) hallaron en la RSP que en años con limitaciones hídricas los suelos de mayor capacidad de retención de agua posibilitaron rendimientos altos. De manera coincidente, Quiroga *et al.* (2008) presentan resultados de rendimiento de girasol promedio de 11 años sobre dos suelos diferenciados por la capacidad de retención de agua (66 mm y 160 mm).

Comprobaron que las precipitaciones durante el mes crítico (enero) tuvieron mayor incidencia en el suelo de baja retención ($r^2=0,79$) que en el suelo de alta retención ($r^2=0,47$).

La mayor reserva de agua en el Ustipsamment se explica por la profundidad del perfil que permite más almacenaje de agua total que en el suelo limitado por el manto calcáreo, aunque dada su textura gruesa tenga menor retención de agua útil por metro. Además, el buen comportamiento del girasol en suelos profundos se debe a su extensivo sistema radical que puede alcanzar más de 2 m, como fue demostrado en este estudio (Figura 3.6; Foto 1.3 Anexo I). Investigaciones anteriores coinciden en señalar al girasol como uno de los cultivos con mayor desarrollo radical (Dardanelli *et al.*, 1997; Johnston *et al.*, 2002; Stone *et al.*, 2002), lo cual explicaría el retraso en el momento en que comienza a presentar síntomas de deshidratación. El amplio desarrollo de raíces mejora el rendimiento de los cultivos y la EUA en ambientes con limitaciones hídricas debido a la posibilidad del cultivo de acceder al agua almacenada en capas profundas del perfil (Sinclair y Muchow, 2001; Dardanelli *et al.*, 1997). Las ventajas del girasol frente a otros cultivos en suelos profundos, sin limitaciones por resistencia a la penetración y con disponibilidad de agua en profundidad, se pierden sin embargo en sitios donde la profundidad de extracción de agua está limitada por barreras físicas como el manto calcáreo, lo cual ha sido demostrado por Sadras y Calviño (2001) en el sudeste bonaerense.

La acumulación de agua en el suelo previo a la siembra permite atrasar el estrés hídrico en girasol y disminuir su severidad en la RSP (Grassini *et al.*, 2009). La reserva de agua a la siembra es uno de los principales factores que regula el desarrollo de la biomasa aérea (Aguirrezábal *et al.*, 2001) e inciden en el potencial rendimiento del cultivo y EUA (Pérez Fernández *et al.*, 2007; Quiroga *et al.*, 2002; Jones, 1984). En nuestro estudio, se pudo comprobar que, durante el periodo Ve-R5, el agua almacenada en el perfil a la siembra representó un 55 % de la oferta hídrica en el Ustipsamment, mientras que en el Paleustol sólo un 40 %, por lo cual el cultivo quedó más expuesto a la oportunidad de las precipitaciones en este ambiente edáfico (Figura 3.2).

El girasol utilizó el agua almacenada desde siembra en ambos suelos, llegando a PMP en floración en la 1ª y 3ª campaña (Figura 3.10). No obstante, una proporción mucho mayor de agua útil es retenida a bajas succiones en suelos de textura arenosa-franca que en suelos de textura más fina, es decir que a bajos contenidos de humedad, la misma está más disponible para la absorción por el cultivo en el Ustipsamment (Dardanelli *et al.*, 2004;

Taboada *et al.* 2002; Katerji y Mastrorilli, 2009) (Figura 2.4). Entonces, en cada episodio de lluvia que recargó el perfil hubo mayor disponibilidad de agua para el girasol que crecía en el Ustipsamment respecto al del Paleustol. Este puede ser otro de los motivos por los cuales, en las campañas más limitadas en precipitaciones, el cultivo presentó mayor producción y EUA en este suelo.

Otro aspecto fundamental que favoreció el aporte de agua en el suelo arenoso fue la presencia de capa freática que por capilaridad podría ascender a una profundidad alcanzable por las raíces, como puede apreciarse por el perfil hídrico saturado en las capas profundas a la siembra del 1^{er} y 2^{do} año (Figura 3.10 b y d).

Estas variaciones climáticas entre campañas y la diferente disponibilidad hídrica entre suelos se vieron reflejadas en las variables fisiológicas medidas en el cultivo de girasol. La campaña 2012/13 presentó a floración los mayores valores de MS_f , área foliar, TCC_{v-f} y EUA_{MS_f} en ambos suelos, acorde a los elevados UC_{e-f} . Es importante destacar que sólo en esta campaña se lograron valores de IAF_f entre 2 y 3, que permiten interceptar 90-95 % de la radiación solar incidente en girasol y es primordial para alcanzar los máximos rindes (Aguirrezábal *et al.*, 2001; Andrade, 1995). Asimismo, la mayor AFE_f y menor TAN_{v-f} en 2012/13 indicarían que la capacidad fotosintética por unidad de área foliar fue más baja en esta campaña (Songsri *et al.*, 2009; Teare *et al.*, 1973). La TAN_{v-f} está inversamente relacionada al IAF una vez que este alcanza un valor umbral mínimo, a causa de que las hojas del cultivo comienzan a sombrearse mutuamente y se reduce la tasa promedio de fotosíntesis de las mismas (Stoy, 1965). De todos modos, en estos ensayos, la relevancia del IAF_f a nivel cultivo en la fijación de carbono fue superior al de estas variables fisiológicas (Figuras 3.12 y 3.13).

La diferencia de producción de MS_f entre campañas, fue mucho más amplia en el Paleustol, lo cual pudo deberse a que en el Ustipsamment la mayor disponibilidad de agua en suelo aminoró el déficit hídrico, como lo demuestran los menores valores de temperatura foliar (Tablas 3.8 y 3.16). Fue evidenciado por Taghvaeian *et al.* (2014) que la temperatura del canopeo aumenta conforme la tasa de transpiración del girasol disminuye en respuesta a limitación de agua en la zona radical. Asimismo, en la campaña 2012/13, cuando no hubo limitaciones hídricas, se observó la más alta producción de MS_f y EUA_{MS_f} en el suelo de textura franca, dado probablemente por las mejores condiciones nutricionales (% MO = 2,28) que brinda este sitio respecto al arenoso (% MO = 0,93). De esta manera, la producción de MS_f y TCC_{v-f} en el Paleustol en dicha campaña fueron levemente inferiores a las reportadas en Balcarce por Andrade (1995), de 13,5 t ha⁻¹ y 31

$\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en un ensayo de girasol sin limitaciones hídricas ni nutricionales. Por otra parte, la 1ª y 3ª campaña no se diferenciaron notablemente en las variables anteriores en ninguno de los suelos. En ambas ocurrieron limitaciones hídricas y mayor demanda atmosférica en el mes de diciembre (Figura 3.4) por lo cual los cultivos llegaron a floración con el suelo prácticamente en PMP (Figura 3.10). La menor disponibilidad de agua afectó en primer lugar la expansión foliar, uno de los procesos más sensibles al déficit hídrico (Connor y Sadras, 1992; Kiniry *et al.*, 1992; Taghvaeian *et al.*, 2014), por lo cual se midieron menores IAF_f respecto a la campaña 2012/13. Así, se redujo la interceptación de radiación provocando la caída de la TCC_{v-f}, con la consecuente menor acumulación de MS_f. En estas condiciones el cultivo estuvo más limitado de humedad en el Paleustol, debido a las razones mencionadas con anterioridad, por lo que el efecto negativo sobre las variables mencionadas fue más pronunciado que en el Ustipsamment. Asimismo, las mayores temperaturas de la etapa pre-antesis de la campaña 2013/14 en relación a 2011/12 no afectaron la producción de MS_f e IAF_f, ya que no existieron amplias diferencias en esta variable en ninguno de los suelos. No obstante, sí pudieron contribuir a que el cultivo agotara anticipadamente la humedad del suelo y llegara con mayor estrés hídrico a antesis en 2013/14, afectando la partición a órganos reproductivos y el rendimiento, especialmente en el Paleustol. En coincidencia con estos resultados Hatfield y Prueger (2015), hallaron en maíz que el incremento de la temperatura tiene un mayor impacto en el rendimiento que en el crecimiento vegetativo.

De acuerdo con la producción de MS_f, también la MS_{mf} y los residuos dejados por el cultivo fueron más abundantes en la 2ª campaña, con EUA_{MS_{mf}} algo mayores en el Paleustol que en el Ustipsamment e IC similares entre suelos y coincidentes con los hallados en la bibliografía para girasol sin limitaciones hídricas y nutricionales, entre 0,29 y 0,35 (Aguirrezabal *et al.*, 2001; Andrade, 1995; Kiniry *et al.*, 1992). En la campaña 2013/14, si bien en ambos suelos se redujo la producción de MS respecto al año anterior, en el Paleustol la diferencia fue más amplia y también cayeron en un 42 % la EUA_{MS_{mf}} e IC, mientras en el suelo profundo estas variables se mantuvieron constantes. El insuficiente UC_{f-mf} en el Paleustol (Figura 3.7) concordó con el bajo IC logrado, dada la significativa asociación entre IC y agua transpirada post-antesis (Grassini *et al.*, 2009; Trápani *et al.*, 2003). Estos resultados en IC coinciden con la bibliografía consultada. Varios autores (Kiniry *et al.*, 1992; Mailhol *et al.*, 1997) sostienen que el IC se mantiene constante bajo distinta disponibilidad de humedad, aunque sin llegar a un estrés hídrico severo, lo que explicaría el similar IC de las distintas campañas en el Ustipsamment.

Además, aunque no se obtuvo la MS_{mf} de la 1ª campaña, puede deducirse por el rendimiento y MS_f que el IC en el Paleustol fue semejante en el 1^{er} y 2^{do} año. Igualmente, Sadras y Calviño (2001) en la Pampa Húmeda argentina hallaron que en girasol el IC no varió ampliamente cuando disminuyó la profundidad del suelo, como sucedió en la campaña 2012/13 de nuestro ensayo. Por otro lado, Soriano *et al.* (2004) señalan que bajo condiciones de estrés hídrico intenso en estados reproductivos el IC de girasol puede reducirse a la mitad, tal como sucedió en la campaña 2013/14 en el Paleustol cuando el IC cayó a 0,17. La diferencia de IC entre suelos en la última campaña expuso que las deficiencias hídricas más intensas en el suelo limitado por tosca en el período crítico, posiblemente potenciado por el estrés calórico (Hatfield y Prueger, 2015), afectó la partición de asimilados al capítulo además de la MS. En contraste, la administración de agua durante el ciclo en el Ustipsamment permitió mayor fijación de frutos y el llenado de los mismos.

El rendimiento de grano estuvo principalmente influido por la disponibilidad de humedad hasta floración durante las tres campañas, la cual varió con las precipitaciones y el tipo de suelo. Conforme a lo ocurrido con la producción de MS y AF, en la campaña 2012/13 pudieron registrarse rindes cercanos a los potenciales estipulados por Bono y Romano (2008) en ambos suelos dadas las copiosas precipitaciones junto a las condiciones propicias de radiación y temperatura en etapas críticas del cultivo. De hecho el rendimiento en grano promedio fue casi el mismo en ambos suelos, alrededor de 3700 kg ha⁻¹, aunque la producción de MG fue superior en el Ustipsamment en casi 200 kg ha⁻¹ debido a la mayor concentración en grano. Es de destacar, que en el Ustipsamment el mismo rendimiento se alcanzó con menor número de granos m⁻² y más PMG que en el Paleustol. En este último la sequía terminal acortó el llenado de granos y acumulación de MG (Tabla 3.13) al acelerar la senescencia (Triboi y Triboi-Blondel, 2002), en cambio en el suelo arenoso el agua almacenada en profundidad y el aporte de napa, aproximadamente 130 mm, contribuyeron al UC del girasol en esa etapa (Figura 3.10d). En la campaña 2013/14 el número de granos m⁻² y PMG se redujeron, especialmente en el Paleustol, con el consecuente menor rendimiento. La gran caída del número de granos en este suelo pudo haber sido causada por la interacción de estrés hídrico y térmico que sufrió el cultivo con el perfil en PMP en plena floración (Figura 3.10e), cuando la reducción de transpiración llevó a temperaturas foliares 7°C superior a la del Ustipsamment. Hatfield y Prueger (2015) señalan que las temperaturas extremas interactúan con el status de agua del suelo pudiendo incrementar el efecto negativo en la

producción de granos, y que las combinaciones de estrés hídrico y calórico en los cultivos de verano pueden volverse más frecuentes debido al cambio climático. Por lo tanto, en la RSP son necesarios más estudios en orden de encontrar genotipos resistentes y/o prácticas de manejo que puedan aminorar sus efectos nocivos. Aunque las lluvias recargaron el perfil después de floración, igualmente el peso del grano fue muy bajo al quedar restringido por el estrés previo que afecta el tamaño del ovario (Trápani *et al.*, 2003) y las condiciones desfavorables en la fase inicial de llenado, inmediatamente después de la fecundación (fase *lag*), en la que se define el tamaño potencial del grano (Abbate y Andrade, 2014; Aguirrezábal *et al.*, 2003; Rattalino Edreira *et al.*, 2014). El comportamiento del cultivo en el Ustipsamment durante esta campaña fue considerablemente mejor que en el Paleustol, sin embargo el rendimiento resultó inferior a los años anteriores fundamentalmente debido al menor número de granos, que no fue compensado por un mayor peso de los mismos (Tabla 1.11 Anexo I). Los híbridos también llegaron a R5 con el perfil en PMP hasta los 2 m de profundidad (Figura 3.10f), y aunque la temperatura foliar no manifestó estrés hídrico, en algún momento del desarrollo puede haber limitado la humedad hasta que las raíces profundizaron lo suficiente para alcanzarla. Se debe recordar además, que temperaturas del aire muy superiores a las óptimas en diferenciación floral (25°C, Chimenti y Hall, 2001) y R5, como ocurrió en la campaña 2013/14, pueden afectar directamente el número de granos y su peso, al acelerar la tasa de desarrollo, afectando la viabilidad del polen, formación del grano y su tamaño potencial, como lo indican investigaciones realizadas en girasol y otras especies (Chimenti *et al.*, 2001; Chimenti y Hall, 2001; Rattalino Edreira *et al.*, 2014).

En la campaña 2011/12, la producción del girasol en el Paleustol fue intermedia respecto a las otras dos campañas, al igual que las precipitaciones hasta R5 (Figura 3.2). Aunque el contenido de humedad del suelo en anátesis del cultivo estuvo próxima a PMP, las precipitaciones regulares después de este momento permitieron mantenerlo en buen estado fisiológico durante el llenado de grano. En el Ustipsamment en cambio, el rendimiento fue muy similar al de 2012/13 lo cual puede atribuirse a que los UCe-f también fueron semejantes, probablemente debido al agua almacenada y la influencia de la capa freática.

La calidad del grano, dada por el porcentaje de MG, presentó variaciones más grandes entre suelos que entre campañas dentro del mismo sitio. La acumulación de MG es influida por las condiciones climáticas y edáficas antes y durante el llenado, las cuales

determinan el estado y funcionamiento del aparato foliar, fuente de hidratos de carbono para su síntesis (Aguirrezábal *et al.*, 2003). Además, es bien conocido que el estrés hídrico durante el llenado de granos de oleaginosas disminuye el porcentaje de aceite (Hall *et al.*, 1985; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Igualmente, Anastasi *et al.* (2010) hallaron un incremento del porcentaje de MG en granos de genotipos CV y OL cuando aumentó el suministro de agua, y correlación positiva entre MG y rendimiento. En correspondencia con estos resultados, el contenido de MG fue siempre mayor en el Ustipsamment que en el Paleustol y las diferencias más amplias se dieron en la campaña más seca, al igual que en el rendimiento. En el Paleustol el bajo porcentaje de aceite en grano en la campaña más favorable al rendimiento (Tabla 3.13), cuando el girasol llegó a antesis con la mejor estructura foliar, se debió a que las precipitaciones disminuyeron drásticamente en enero y presentó bajo porcentaje del UCf-mf (Figura 3.7), que favoreció el marchitamiento y la senescencia foliar anticipada perjudicando la asimilación de carbono (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Connor y Sadras, 1992; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). En el Ustipsamment el menor contenido de MG de la campaña 2011/12 (Tabla 3.19) pudo deberse en cierta medida al bajo IAF para interceptar la radiación incidente en relación a las otras campañas, producto de la menor disponibilidad hídrica de diciembre en plena etapa de rápido crecimiento de biomasa aérea (Tabla 3.14).

Como es habitual, la EUA para producción de granos fue mucho más variable que la EUAMS (Kiniry *et al.*, 1992). La variación de la EUA entre campañas también dependió del suelo, ya que en el Paleustol se diferenciaron marcadamente siguiendo la tendencia del rendimiento, (Tabla 3.10). Mientras en el Ustipsamment la EUA tuvo valores altos y estables, entre 6,5 y 7,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Tabla 1.11 Anexo I), comparables a los obtenidos en zonas más húmedas (Della Maggiora *et al.*, 2009; Sadras y Calviño, 2001). De esta manera, la mayor EUA en el Paleustol ocurrió en la campaña 2012/13, cuando se superó los 8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, límite superior hallado por Grassini *et al.* (2009) para esta región cuando no hay limitantes de otro tipo (nutricionales, sanitarias, etc.), siendo incluso más alta que en el Ustipsamment. Esto sucede porque cuando no hay limitaciones hídricas, el suelo de textura franca presenta mejores condiciones nutricionales que favorecen el crecimiento y eficiencia de conversión de la radiación del cultivo (Andrade *et al.* 2009b; Grassini *et al.*, 2009). Por el contrario, en las otras campañas el girasol presentó EUA muy bajas en el Paleustol en comparación a las alcanzadas en el Ustipsamment debido al menor rendimiento en grano. La EUA de la campaña 2011/12 fue muy baja (4,2 kg ha⁻¹ mm⁻¹) si se tiene en cuenta que fue el año con mayor UC en el Paleustol (460 mm), sin

embargo, sólo el 57 % del UC correspondió al UC_{e-f} (Figura 3.7) que, como se mencionó anteriormente, presentó mayor correlación con el rendimiento. Vale recordar que el cultivo alcanzó el 50 % del IAF_f que en la campaña 2012/13 y que el Q en el período crítico también fue menos favorable. En la última campaña, la EUA promedio obtenida ($2,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) estuvo conforme a las obtenidas en las Grandes Planicies de USA, con similares UC (230 mm) (Lenssen *et al.*, 2007; Moroke *et al.*, 2011; Tanaka *et al.*, 2007). La fertilización incidió en la producción y EUA del cultivo con diferente magnitud en cada tipo de suelo, mientras que los distintos híbridos respondieron de manera similar. Se conoce que el correcto manejo de la disponibilidad de nutrientes aumenta la EUA de los cultivos (Hatfield *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2010), sin embargo la respuesta a la fertilización del girasol es errática. Este cultivo se caracteriza por su baja eficiencia en el aprovechamiento del N aplicado en comparación con los cereales, debido al mayor requerimiento energético de la producción de MG respecto a la de hidratos de carbono (Díaz-Zorita, 2014). Bono y Romano (2008) señalan que de 130 ensayos tan solo en un 30 % de los sitios evaluados el cultivo de girasol presentó respuesta significativa a la fertilización nitrogenada. Durante los años en que transcurrió nuestro ensayo dicha práctica no tuvo efectos sustanciales en el Paleustol, donde incrementó levemente el número de granos por m^2 pero no aumentó significativamente el rendimiento (Tabla 1.8 Anexo I). Además, al disminuir el porcentaje de aceite en los granos el aumento de Rdt_{MG} fue aún menor, con la consecuente caída del MB dado el aumento de costos que involucra la fertilización. La falta de respuesta del girasol al agregado de nutrientes en este suelo pudo deberse a la suficiente disponibilidad de P (17 ppm), capacidad de mineralización de N durante el ciclo del cultivo, y al menos en la 1ª y 3ª campaña, a que las deficiencias hídricas condicionaron el rendimiento respecto a suelos de mayor capacidad de retención de agua (Funaro *et al.* 2006b). Por otra parte, en el Ustipsamment la fertilización incrementó la producción de MS y la EUA_{MSmf} en la campaña 2013/14 y el IC en 2012/13, presentando siempre efectos positivos en el Rdto, Rdt_{MG} y EUA (Tablas 3.18 y 3.22). Puede asumirse que el P no fue limitante, ya que Díaz-Zorita (2014) indica que 17 ppm de P disponible es suficiente para lograr los máximos rendimientos en girasol, y por lo tanto el incremento de rinde se debió exclusivamente al agregado de N. La deficiencia de N reduce el despliegue del AF y la eficiencia fotosintética del cultivo, disminuyendo el crecimiento en las etapas críticas y en consecuencia el número de granos (Abbate y Andrade, 2014; Connor y Sadras, 1992). De todas maneras, las mejoras halladas en rendimiento de 200 kg ha^{-1} fueron reducidas si se tiene en cuenta la baja

concentración de N a la siembra ($< 20 \text{ kg ha}^{-1}$), muy por debajo del límite de 50 kg ha^{-1} para respuesta en rendimiento establecido para girasol en la región (Grassini *et al.*, 2009). No obstante, se asemejan a la respuesta de $6,5 \text{ kg grano por kg N}$ con dosis de 40 kg ha^{-1} de N, señaladas por Bono y Romano (2012). Esta respuesta no fue suficiente para cubrir el costo de los fertilizantes en los años de estudio, cuando la relación de precios urea/girasol rondó los 2:1, la cual coincide con el promedio del período 2004-2014 en Argentina (CREA, 2016).

En síntesis, si bien se halló que la aplicación de esta dosis de N (41 kg ha^{-1}) mejoró la EUA en el Ustipsamment, la factibilidad económica de la misma quedará supeditada a la relación de precios fertilizante/producto vigentes. En el Paleustol en cambio, no se halló una respuesta positiva a la fertilización en girasol en términos económicos ni físicos, por lo que no la consideramos una práctica que pueda mejorar la sustentabilidad en este tipo de suelos.

3.4.2 Comparación de índices productivos y ambientales entre los distintos tipos de híbridos de girasol. Influencia de las condiciones climáticas y tipo de suelo.

Existieron diferencias en producción entre los híbridos con distinta composición de ácidos grasos, no obstante las tendencias fueron similares en los dos suelos a pesar de la distinta disponibilidad de recursos. En ambos suelos y en todas las campañas los CV presentaron significativamente mayor EUA que OL y ES, mientras que entre estos dos resultaron más eficientes los OL, especialmente en el Ustipsamment. Al respecto, Conti (2010) señaló una paulatina disminución en las brechas de rendimiento entre girasoles tradicionales y alto oleicos, en coincidencia con los resultados de Anastasi *et al.* (2010) y Zheljzakov *et al.* (2011). Debido al reciente desarrollo de los híbridos con mayor concentración de ácido esteárico, son pocos los estudios que los incluyen. En contraste con estos resultados, en Francia, Anushree *et al.* (2017) no señalan diferencias en la performance de un ES de Advanta respecto a híbridos CV y OL, si bien el ES produjo alrededor de 250 kg ha^{-1} menos de granos.

Las diferencias de producción entre tipos de híbridos más amplias en el Ustipsamment pueden estar dadas por el mayor potencial de rendimiento del girasol en este suelo. Allí podrían haberse favorecido los híbridos CV 2 y OL 2 por poseer un ciclo de crecimiento levemente mayor al resto (Tabla 3.1), lo cual puede estar relacionado a un mayor desarrollo del sistema radical y extracción de agua en suelos profundos (Angadi y Entz,

2002; Connor y Sadras, 1992; Dardanelli *et al.*, 1997; Gaggioli *et al.*, 2010). Sin embargo, en este estudio no se encontraron evidencias de este comportamiento ya que se observó similar abundancia de raíces entre híbridos hasta 2,2 m de profundidad y no se registraron diferencias en UC entre ellos (datos no presentados).

Existió una fuerte dependencia entre EUA y rendimiento como puede observarse en los ACP (Figura 3.15), lo cual resulta interesante para aumentar la producción en estas regiones con limitaciones hídricas (Sinclair y Muchow, 2001). En coincidencia, Zhang *et al.* (2010) encontró que el mejoramiento genético de cultivares de trigo seleccionando por alto potencial de rendimiento incrementó conjuntamente la EUA de los mismos, al utilizar menos agua para producir más granos.

En relación al rendimiento, en el Paleustol los CV rindieron en promedio unos 400 kg ha⁻¹ más que los OL y 540 kg más que los ES y estas tendencias se presentaron en las tres campañas, a pesar de la amplia variación en las condiciones ambientales y en la producción entre las mismas (Tabla 3.11). Estos resultados en un suelo con manto calcáreo que limita la profundización de raíces, confirman que las variaciones en rendimiento entre genotipos se debieron a la eficiencia de conversión de los recursos a grano y no a la captación de los mismos. En el Ustipsamment, aunque hubo interacción con la campaña, los CV siempre presentaron los rendimientos más altos, observándose las menores diferencias en el año 2013/14, es decir, cuando el rendimiento potencial fue menor (Tabla 3.19). En este suelo, los OL rindieron 400 kg ha⁻¹ más que los ES en la 1^a y 3^a campaña, sin embargo los ES mostraron mejor comportamiento en el año más húmedo. No obstante, en dicho año la producción del OL 1 fue muy baja en relación al resto e hizo disminuir el promedio de los OL frente a las otras calidades.

El más alto rinde de los materiales CV fue causa del mayor número de granos por m² y elevado PMG bajo las distintas condiciones que se presentaron en el ensayo (clima y suelo). Los OL en cambio, produjeron en general menor número de granos pero con PMG similar al de los CV lo que les permitió acercarse más al rendimiento de estos. En los híbridos ES se pudo apreciar que la limitante más importante del rendimiento fue el PMG en lugar del número. No obstante, existieron importantes diferencias en componentes del rendimiento entre materiales dentro de la misma calidad, las cuales se repitieron en los dos ambientes y en los 3 años y fueron en varias ocasiones más importantes que las diferencias entre tipos de girasol. El contraste más destacable sucedió entre los esteáricos, ES 1 produjo alto número de granos aunque con PMG muy inferior al ES 2. Este último

presentó un peso de grano que no difirió tanto de CV 1 y OL 2, los híbridos de cipsela más pequeña dentro de CV y OL (Tablas 1.7 y 1.14 Anexo I).

En cuanto al porcentaje de MG los resultados mostraron en todas las campañas y ambos suelos similares porcentajes en CV y OL, mientras que los ES tuvieron en general 2 a 4 puntos menos. El menor PMG y contenido de MG de los materiales ES en comparación con los tradicionales también fue registrado en Balcarce, Argentina (37°S, 58°O) por Martínez *et al.* (2012). Quienes también observaron que los componentes del rendimiento de estos genotipos mejoraron al aumentar la interceptación de la radiación en llenado, de igual manera que los CV. Las menores brechas en porcentaje de MG entre tipos de híbrido se dieron en los años con bajos valores de MG en el Paleustol, o sea cuando el ambiente presentó condiciones desfavorables para producir MG. Entonces, similar a lo ocurrido con el rendimiento, la ventaja de los materiales CV y OL en proporción de MG en grano se manifestó en todos los ambientes, aunque se magnificó cuando las condiciones fueron propicias durante el llenado de grano. Respecto a esto, Dosio *et al.* (2000) hallaron que a mayor radiación interceptada (suministro de asimilados) se incrementó el porcentaje de MG en grano de un genotipo de girasol cuya síntesis de aceite se sobre expresa aunque no se modificó la de materiales de bajo potencial de concentración de MG. Al igual que con los componentes del rendimiento, los materiales de la misma calidad de aceite presentaron diferencias significativas entre ellos en MG, particularmente ES y CV, que fueron características de estos híbridos a lo largo del ensayo y en los dos suelos. Estas diferencias fueron tales que se comprobó que el ES 1 puede alcanzar porcentajes de MG semejantes al CV 1, por lo que esta variable sería una limitante actual en los ES con posibilidad de mejora. De todos modos en Rdt_{MG} se observó, como en la producción de grano, la superioridad de los híbridos CV en todas las condiciones ambientales evaluadas, seguido de los OL que dado los mayores contenidos de MG se distanciaron más de los ES que en rinde en grano. Anastasi *et al.* (2010) también obtuvieron mayor EUA para producción de aceite de un genotipo CV frente a otro OL, bajo distintos suministros de agua. Estos resultados demuestran que los híbridos de girasol más desarrollados genéticamente en cuanto a producción mantienen sus ventajas aunque el ambiente limite el rendimiento, y que actualmente, la conveniencia de realizar girasol de calidad diferenciada dependerá de la relación de precios entre los mismos.

En relación a la composición de MG del grano, se puede destacar la aptitud del ambiente para lograr la proporción de ácidos grasos esperada para los distintos tipos de girasol (Figura 3.16). Se apreció un leve incremento del porcentaje del ácido graso linoleico en

detrimento de oleico y esteárico en los genotipos CV y OL en el Ustipsamment respecto al Paleustol. Sin embargo, estos resultados contrastan con la bibliografía, que indican que a mayor intercepción de radiación aumenta la relación oleico/linoleico (Echarte *et al.*, 2010; Izquierdo *et al.*, 2009) al igual que al incrementarse el suministro de agua (Anastasi *et al.*, 2010), como ocurrió en el Ustipsamment en esa campaña (2013/14). Por consiguiente, se requiere mayor número de años de estudio para analizar estas leves variaciones en composición de ácidos grasos entre suelos. Por otra parte, los materiales ES mostraron en este ensayo tener una composición de ácidos grasos más estable entre suelos (Figura 3.16). Cabe resaltar que por tratarse de genotipos medio esteáricos, la proporción de ácido esteárico fue menor a la presente en los llamados “alto esteáricos” con 15-20 % de este ácido graso (Anushree *et al.*, 2017).

Las diferencias de rendimiento y EUA entre los materiales con distinto tipo de aceite se asociaron a las variables medidas en floración y madurez fisiológica. En el Paleustol el mayor rendimiento de los CV estuvo relacionado principalmente a más alta producción de MS_f e IAF_f (Figura 3.12). Los materiales CV mostraron mayor acumulación de MS_f, IAF_f y EUA_{MS_f} respecto a los ES en el Paleustol, mientras no difirieron significativamente de los materiales OL que presentaron valores intermedios de estas variables, como ocurrió con el rendimiento (Tabla 3.7). Por otro lado, existieron ciertas brechas de producción de MS_f entre materiales del mismo tipo de aceite, a favor de OL 2 y CV 2, que puede atribuirse a las mayores TCC_{v-f} en los dos ambientes y al ciclo de crecimiento levemente mayor. Respecto al IAF_f se destacó en ambos suelos el CV 2 lo que se vio reflejado en su elevado Rdt_{OMG} y EUA. Ya ha sido descrita la importancia del área foliar en la captación de radiación y su estrecha relación con los componentes del rendimiento en girasol (Aguirrezábal *et al.*, 2003; Andrade y Ferreiro, 1996; Connor y Sadras, 1992; Dosio *et al.*, 2000). En el Ustipsamment el mayor rendimiento de los CV también se relacionó con su más alto IAF_f, pero a diferencia del Paleustol, en este suelo la partición de MS a órganos reproductivos fue más determinante que la MS total (Figura 3.13). Las diferencias de MS_f entre tipos de híbrido fueron menores que en el Paleustol (Tabla 3.15) y el mayor rinde de los CV puede atribuirse a su alto IC (0,37) en relación a los otros genotipos (0,31). En este sentido, también se hallaron similares EUA_{MS} entre calidades de girasol pero distintas EUA para la producción de grano, ya que esta última incluye la variación causada por el IC.

La mayor partición a órganos reproductivos de los CV también se observó en el Paleustol aunque no fue significativamente diferente a la de los demás híbridos (Tabla 3.9). La

menor importancia del IC en la definición del rendimiento en este suelo estuvo causada por la baja proporción de transpiración post-antesis que tuvo lugar en las dos últimas campañas y se demostró en el porcentaje de $UCf-mf$ (Figura 3.7) (Dardanelli *et al.*, 2003). López Pereira *et al.* (2000) determinaron que las mejoras del rendimiento potencial de los cultivares de girasol modernos se debieron a incrementos del IC, lo cual se asoció a una mayor duración del llenado de grano en el ciclo total. Sin embargo, en condiciones como las del Paleustol, en las que la duración de la etapa de llenado se restringe, los genotipos con elevado IC potencial perderían esta ventaja respecto a ambientes con adecuada disponibilidad hídrica. En cambio, podría ser útil en este suelo utilizar genotipos con capacidad de almacenar fotoasimilados de pre-antesis en tallo para movilizarlos en llenado de granos, como fue estudiado por Sadras *et al.* (1993).

En cuanto a la $TANv-f$, que indica la asimilación realizada por unidad de área fotosintetizante, no varió significativamente entre tipos de girasol y no se relacionó con rendimiento o EUA en ninguno de los suelos (Figuras 3.12 y 3.13). Por el contrario, el $IAFf$ fue el principal factor que determinó la fijación de carbono de los híbridos y como se mencionó, se correlaciona inversamente con la TAN (Stoy, 1965). Referido a esto se puede resaltar la baja $TANv-f$ observada en general en el CV 2, el híbrido de mayor IAF y uno de los que alcanzó la mejor EUA.

En relación al $AFEf$, Songsri *et al.* (2009) consideran que cuanto más baja, mejor es la capacidad fotosintética por unidad de área foliar, y que está negativamente relacionada con la EUA. En el Paleustol los resultados concuerdan con esta idea y la mayor AFE de los OL podría haber sido una de las limitantes en su EUA respecto a los CV (Figura 3.12, Tabla 3.7). No obstante, en el Ustipsammet el $AFEf$ fue semejante entre los distintos materiales, incluso estuvo positivamente relacionada con el IAF y el rendimiento (Figura 3.13), probablemente porque el AFE aumenta cuando disminuye la luz dentro del canopeo. Es decir que la menor capacidad fotosintética por unidad de área foliar debido a alta $AFEf$ (y baja $TANv-f$) se compensó con mayor área foliar. Al respecto, Connor y Sadras (1992) señalaron la poca viabilidad de seleccionar cultivares por fotosíntesis foliar, destacando en cambio la importancia de lograr y mantener elevado IAF.

La temperatura foliar del canopeo se utiliza para diagnosticar el flujo transpiratorio (Baodi *et al.*, 2008; Dardanelli *et al.*, 2003) y el CRA el estado hídrico en el que se encuentra el cultivo. En nuestro ensayo hubo diferencias notables en estas variables en floración entre suelos y campañas, sin embargo la variación entre cultivares fueron muy reducidas (Tablas 3.8 y 3.16). Otros autores tampoco hallaron relación entre estos rasgos

fisiológicos con la EUA de distintos cultivares de trigo (Baodi *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010). Dichos resultados indican que la transpiración de los distintos tipos de híbridos en el período crítico para la definición del rendimiento fue semejante, coincidiendo con los similares UC y la observación de raíces. Passioura (2006), señaló los procesos que deben mejorarse con manejo y/o genética para aumentar los rindes cuando el agua es el principal limitante: 1) transpirar más proporción del suministro de agua; 2) intercambiar el agua transpirada por CO₂ más efectivamente para producir biomasa; 3) convertir más de la biomasa en grano. Considerando estos factores, podemos deducir que la mayor EUA de los CV se debió a los puntos 2 y 3 más que a diferencias en la absorción de agua.

Los distintos tipos de híbridos de girasol, dejaron cantidades semejantes de MSr y con similares EUA_{MSr} , por lo tanto no habría razones relacionadas al aporte de carbono al suelo que determinen la elección de un material en particular (Figura 3.11, Tabla 3.17). Tampoco se hallaron diferencias en el contenido de agua útil remanente en el suelo luego de la cosecha, el menor valor fue de 60 mm en el Paleustol en el año 2013 (Figura 3.10). Si bien el girasol es un cultivo que se caracteriza por ser muy extractivo y dejar poca disponibilidad de agua (Krupinsky *et al.*, 2006; Merrill *et al.*, 2007; Moroke *et al.*, 2011), su madurez ocurre en un período de alta probabilidad de recarga por las precipitaciones en esta región (Scian, 1995) que facilita la siembra de un cultivo posterior, tal como un verdeo o cereal de invierno. Esta mayor ocupación de la tierra y utilización de los recursos durante la estación de crecimiento propicia la intensificación sustentable de la agricultura (Andrade *et al.*, 2015; Caviglia y Andrade, 2010).

3.4.3 Comparación de índices económicos entre suelos y tipos de híbrido.

La PEA considera el valor económico del producto, además de la EUA del cultivo (Molden *et al.*, 2010). Por lo cual, se pueden comparar de forma más equitativa la producción de granos de diferentes calidades, como en este caso, en el que varió el contenido de MG y la composición acídica de los distintos genotipos de girasol. Tal como sucedió con la EUA, las diferencias en PEA entre las tres campañas fueron muy amplias en el Paleustol y más reducidas en el Ustipsamment (Tabla 3.10 y Tabla 1.11 Anexo I). Además, la variación de la PEA en el Paleustol entre años fue mayor que la de EUA debido a que los cambios en el precio pizarra del girasol favorecieron a la campaña más productiva, 2012/13, cuando la cotización del girasol estuvo 41 u\$s tn⁻¹ más elevada que en 2011/12 y 49 u\$s tn⁻¹ más que en 2013/14. De la misma forma, el MB se incrementó

en un 140 % en la 2ª campaña respecto a la 1ª en el Paleustol, pero lo más preponderante fue que en 2013/14 no se alcanzaron a cubrir los costos de producción con ninguno de los genotipos debido a los bajos rindes logrados (Tabla 3.10). Históricamente existiría un 23 % de probabilidad de que las precipitaciones de la región sean inferiores a las ocurridas en 2013/14 (Figura 3.3) y por lo tanto no se logren cubrir los costos del cultivo de girasol en el Paleustol, con el precio de 271 u\$s tn⁻¹. Por el contrario, el MB en el Ustipsamment siempre fue más alto que en el Paleustol debido a la mejor producción y calidad de grano obtenido con los mismos costos. En las dos primeras campañas en el Ustipsamment los MB calculados fueron muy altos, producto de los rendimientos de 3700 kg ha⁻¹ y las bonificaciones por MG, especialmente en la campaña 2012/13 en la que fueron de alrededor del 16 % (Tabla 3.21). Es importante resaltar que en este suelo siempre se logró mejor precio debido a las bonificaciones respecto al Paleustol, donde los niveles de MG fueron inferiores. En el suelo arenoso el MB en la última campaña se redujo a la mitad en relación a las anteriores, no obstante continuó siendo positivo y más alto que en dos de las campañas del Paleustol, entre ellas una de las de precipitaciones más cercanas al promedio: 2011/12. Por consiguiente, el riesgo económico de realizar girasol en el Ustipsamment es mínimo, al menos con los precios vigentes en estos años.

Se ha mencionado que la PEA puede mejorarse realizando cultivos más eficientes en el uso del agua o cultivos de mayor valor económico, no obstante, en este caso de girasoles de distinto tipo de aceite la productividad física tuvo más peso en la PEA que el precio final (Figura 3.15). Esto se acentuó en el Ustipsamment, donde la PEA se correlacionó negativamente con el precio final del girasol. En términos generales se pueden ordenar los tipos de híbrido de mayor a menor EUA como sigue CV>OL>ES, mientras que según precio final el orden fue inverso: ES>OL>CV (Tablas 3.12 y 3.20). Si bien la menor EUA de OL y ES fue compensada en parte por el precio, de modo que las diferencias en PEA entre calidades no fue significativa, no fue suficiente para superar la PEA de los CV en ninguno de los suelos. Es importante señalar que los híbridos OL y CV presentaron bonificaciones por MG más altas en relación a los ES en el Ustipsamment que en el Paleustol, es decir que la ventaja en precio de los ES fue menor en el primero. Por lo tanto, la PEA de los ES relativa a los otros materiales resultó más baja en el Ustipsamment que en el Paleustol. Además, las diferencias en PEA entre híbridos de la misma calidad ES y OL, se magnificaron en el suelo profundo respecto al Paleustol. Esto ocurrió por un lado por las mayores diferencias en EUA dado el más elevado potencial de rinde y por el

otro, por la mayor diferencia de precio debido a los contrastes en MG que favorecieron a los más rendidores (ES 1 y OL 2) (Tablas 1.6 y 1.14 Anexo I).

El MB en cambio no se relacionó estrechamente con el rendimiento presentando mayor compensación por el precio final que la PEA (Figura 3.15). Igualmente, en ninguno de los suelos ni campañas los híbridos ES y/u OL superaron significativamente el MB de los CV. Los CV mostraron mayor estabilidad en rendimiento, porcentaje de MG y MB durante las 3 campañas, además de menor variabilidad entre genotipos. Asimismo, el hecho de que las primas de OL y ES sean fijas, 30 y 70 u\$s tn⁻¹ respectivamente, y no un porcentaje del precio pizarra del girasol, los hacen menos atractivos a medida que el precio aumenta. La bonificación adicional de 8 % en ES sólo alcanzó a compensar su menor MG en el Ustipsamment, aunque resultó más interesante en el Paleustol donde el potencial de acumulación de MG de los otros híbridos es menor. En este suelo los ES sí podrían verse favorecidos cuando aumenta el precio del girasol, como también cuando empeoran las condiciones de llenado de grano y acumulación de MG. Pudo observarse en el ACP una tendencia de los ES a otorgar un mejor MB, principalmente en el Paleustol, sin embargo, este sesgo pudo haber ocurrido por la campaña 2012/13 cuando tanto el rendimiento de los ES como el precio fueron los mejores de los 3 años. Los OL se comportaron de manera inestable en ambos suelos en comparación con los CV. De todos modos, en el Ustipsamment presentaron el mejor MB en la campaña 2011/12 y en 2013/14 la campaña más seca. Asimismo, hubo diferencias importantes entre ambos genotipos alto oleicos en este suelo, destacándose el OL 2, que presentó rendimientos y contenidos de aceite que lo hacen muy competitivo frente a los CV (Tabla 1.13 Anexo I). Por los resultados de este ensayo, teniendo en cuenta los enfoques contemplados en el término de sustentabilidad, mientras no haya cambios en la productividad de los híbridos ni en las bonificaciones, recomendaría realizar híbridos de girasol CV u OL de alto potencial de rinde y con tendencia a acumular elevados porcentajes de MG en el Ustipsamment. No obstante, si se considera la necesidad de incrementar la producción de aceites de girasol de calidad diferencial para favorecer la industria así como la calidad de los productos alimenticios, los ambientes más restringidos tales como el Paleustol serían los más adecuados. Allí las condiciones de llenado de grano son desfavorables en la mayoría de los años, por lo tanto las bonificaciones que ofrecen los ES a igual costo de producción que los CV, podrían aumentar la rentabilidad del girasol.

3.5 Conclusiones

En condiciones de limitación hídrica, frecuentes en la RSP, el Ustipsamment con presencia de napa presentó ventajas en estabilidad de rendimiento y producción de materia grasa en girasol respecto al Paleustol, comportamiento que resultó similar para los tres tipos de híbridos.

Los híbridos CV presentaron mayor EUA en ambos suelos, dado por mejor eficiencia de conversión más que por ventajas en la captación de humedad disponible. El IAFf fue la característica más relacionada al rendimiento, aunque también fue importante el IC en el Ustipsamment. Los OL quedaron en segundo orden, seguidos de los ES. La desventaja de los ES se acrecienta si se tiene en cuenta su característico menor porcentaje de MG, lo que sugiere un menor contenido energético del grano que CV y OL. Además, se observaron diferencias en comportamiento entre los híbridos de la misma calidad, OL y ES, que indicaría que se requiere explorar dichas diferencias y continuar el mejoramiento genético de los mismos.

El tipo de suelos y la distinta disponibilidad de recursos que los caracterizan no influyeron sobre las diferencias en productividad entre los materiales, aunque se observaron menores brechas de rendimiento y porcentaje de MG entre ellos en el Paleustol. Por lo cual se podría recomendar producir los girasoles de calidad diferencial en este tipo de suelo minimizando así las pérdidas de rendimiento relativas a los CV. Por otra parte, en estos ambientes de menor productividad, la disponibilidad de agua condicionó en mayor grado la respuesta a la fertilización.

En términos económicos, aunque la menor EUA de OL y ES fue compensada en parte por el precio de modo que las diferencias en PEA entre calidades no fue significativa, no fue suficiente para superar la PEA de los CV en ninguno de los suelos.

El MB presentó mayor compensación por el precio final que la PEA, pero igualmente, en ninguno de los suelos ni campañas los híbridos ES y/u OL superaron significativamente el MB de los CV. Al igual que con el rendimiento y debido a la menor posibilidad de obtener bonificaciones por elevados contenidos de MG en el Paleustol, las brechas de MB fueron menores en este suelo, por lo tanto, resulta más favorable para la producción de los híbridos ES. De todos modos, si se quiere incentivar la producción de esta calidad de aceite debería considerarse el incremento de las bonificaciones y/o su mejoramiento genético, especialmente en PMG y contenido de MG, para equiparar el Rd_{MG} de los CV.

En este estudio se observó que los dos suelos presentaron aptitud para lograr la composición de ácidos grasos deseada para los distintos tipos de girasol. Sin embargo, hubo leves variaciones que deberían seguir estudiándose durante un mayor número de campañas.

CAPÍTULO IV

CEREALES INVERNALES

4.1 Introducción

En la última década decreció la siembra de cultivos invernales en la región pampeana dada su menor rentabilidad respecto a los estivales (Caviglia y Andrade, 2010; MAGyP, 2017). Esto perjudica la sustentabilidad de la producción agropecuaria, ya que cultivos como el trigo contribuyen con una distribución uniforme de importante cantidad de residuos que por su alta relación C/N dan lugar a coberturas perdurables, así como un sistema de raíces que favorece la captación, distribución y almacenaje de agua en la rotación. De esta manera, los cereales invernales pueden incidir positivamente sobre la condición física de los suelos y contribuir a mitigar los excesos hídricos y lixiviación de nutrientes (Caviglia *et al.*, 2013; Gupta *et al.*, 2014; Thorup-kristensen, 2009). Frente a esta problemática resulta importante buscar estrategias que incentiven a los productores agropecuarios a aumentar la superficie de los mencionados cultivos.

Los cereales invernales constituyen una alternativa relativamente segura de producción en la RSP, dado que su período crítico para la determinación del rendimiento, transcurre durante los meses primaverales, cuando el balance precipitaciones/evapotranspiración es más favorable que para los cultivos estivales (Figura 2.1). Asimismo, Sadras y Calviño (2001), comprobaron la menor susceptibilidad del trigo a la disminución en la profundidad del suelo respecto a girasol, soja y maíz, dado su plasticidad y menor demanda hídrica. Del mismo modo, Tanaka *et al.*, (2007) sugieren la incorporación permanente de trigo en las rotaciones en las Grandes Planicies semiáridas de Norte América para mantener la sustentabilidad, dado su consistente elevada EUA. Mientras el trigo es el cereal tradicional y posee un mercado amplio y organizado, la cebada ha sido considerada más eficiente en el uso del agua y nutrientes por varios autores (Grewal, 2010; Lo Valvo y Miralles, 2013; López y Arrúe, 1997; López-Castañeda y Richards, 1994). En los últimos años ha incrementado el área sembrada con este cereal hasta ocupar un 20-30% del área de trigo (Cattáneo, 2016; Caviglia *et al.*, 2013). No obstante este crecimiento se dio principalmente en la provincia de Buenos Aires, siendo menor la participación de la provincia de La Pampa (MAGyP, 2017). El incremento de la capacidad maltera instalada en el país y la apertura del mercado internacional de cebada como grano forrajero (Cattáneo, 2016; Menella, 2016), brindan expectativas para el crecimiento de este cereal también en nuestra provincia. Sin embargo, la comercialización de esta última a precios competitivos se ve limitada por los parámetros de calidad requeridos por las malterías. Entre ellos, 95% de capacidad germinativa, 80% mínimo de calibre sobre

zaranda de 2,5 mm y un rango de proteína entre 9,5 y 13%. Las dos últimas condiciones pueden constituirse en una dificultad en regiones sometidas a estrés hídrico frecuente.

El trigo también ofrece la opción de obtener bonificaciones en su precio, cuando cumple con ciertos parámetros de calidad. Tanto las industrias argentinas como extranjeras exigen harinas con ciertas especificaciones que las hacen adecuadas para obtener sus productos. Por ejemplo, el porcentaje de proteína o más específicamente de gluten es una característica fundamental en la elaboración de las diferentes manufacturas derivadas de harina (Cuniberti y Menella, 2004). Por ello, la Comisión Nacional de Semillas realizó la categorización de las variedades de trigo en tres grupos de calidad según su aptitud de uso. Los pertenecientes al grupo 1 son genéticamente de mejor calidad, tipo correctoras, de alta estabilidad en las masas. Las variedades de grupo 2 son también muy buenas en calidad, sin llegar a ser correctoras, y las del grupo 3, son muy rendidoras pero de calidad deficitaria. Esta categorización se basa en un índice de calidad integrado por: peso hectolítrico, proteína en grano, rendimiento de harina, cenizas, porcentaje de gluten húmedo, fuerza panadera o W del alveograma, estabilidad farinográfica y volumen de pan. Las variedades correspondientes a cada grupo presentan valores dentro de un rango similar para los parámetros mencionados (Cuniberti, 2011). De todos modos, pueden existir grandes variaciones en producción y calidad de los trigos entre regiones agroecológicas e interanuales (Molfese, 2016), por lo que es interesante evaluar el comportamiento de las mismas en la RSP. Hasta el momento no se clasifica el grano de trigo por variedad, y un bajo porcentaje de los acopiadores separan los granos considerando la proteína del mismo (Iglesias e Iturrioz, 2010).

Es sabido que el progresivo incremento del rendimiento potencial de los cultivos condujo al detrimento del porcentaje de proteína en la composición de los granos (Sadras y Lawson, 2013; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). En general, existe correlación inversa entre rendimiento y concentración de proteína en grano. Dicha relación se ha observado tanto en comparaciones entre ambientes como entre genotipos de distinto rinde potencial (Cox *et al.*, 1985a; Gaju *et al.*, 2011; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Sin embargo, no se conoce la magnitud de la disminución en el rendimiento de los trigos pertenecientes al grupo 1 en relación al 3 en la RSP, su interacción con el ambiente, ni sus consecuencias económicas. Calviño (2016) propone que hay más diferencia de rinde entre grupos cuando aumenta el potencial de producción. Por lo que en esta zona podríamos beneficiarnos con la producción de trigos de calidad. Asimismo, con vistas a una mayor segregación de trigos, sería interesante conocer la aptitud de la RSP y de los tipos de suelo predominantes

para la generación de volumen y calidad de trigo, así como también las prácticas de manejo más adecuadas. En este sentido, Quiroga *et al.* (2010), resaltaron que la capacidad de retención hídrica, influencia de capa freática y otros factores que condicionan la captación de agua en interacción con aspectos del genotipo de trigo (como profundidad efectiva de raíces) determinan el régimen hídrico al que estará sometido el cultivo, y la respuesta a la fertilización.

Otro factor de variación de rendimiento en trigo es la fecha de siembra y ciclo de crecimiento de las variedades. Ensayos comparativos de rendimiento en la RSP mostraron mejores resultados con siembras tempranas y ciclos largos (Romano *et al.*, 2010). Sin embargo, en suelos de baja retención hídrica, estos cultivares podrían agotar el agua antes de alcanzar las precipitaciones primaverales (Brevedan *et al.*, 2008; Passioura y Angus, 2010). En concordancia, Debaeke y Aboudrare (2004) sostienen que los ciclos cortos son más convenientes en años con baja disponibilidad hídrica, mientras los ciclos largos otorgan mayores rindes cuando el agua no es limitante.

Para analizar los mencionados aspectos y su efecto sobre la calidad y el rendimiento de trigo de distintos grupos de calidad, en este estudio se utilizaron variedades de dos ciclos de crecimiento que fueron sembradas en sus fechas óptimas.

En el marco de estas nuevas oportunidades de mercado de los cereales de invierno, se realizaron ensayos durante 3 años en dos suelos contrastantes y característicos de la región, con cebada cervecera y trigos de los grupos de calidad 1 y 3, de dos ciclos de crecimiento. Además se evaluó la práctica de fertilización con N y P. De esta manera se obtuvieron resultados productivos y económicos de las dos especies y variedades dentro de las mismas, con el objetivo de identificar aquellas más recomendables para cada suelo y/o condición ambiental, teniendo en cuenta también la eficiencia en uso de recursos y conservación del suelo.

4.2 Materiales y Métodos

Durante las campañas 2012, 2013 y 2014 se realizaron ensayos con trigo y cebada en seco en los dos suelos descritos en el capítulo II. En cada suelo se evaluaron 4 variedades de trigo, dos pertenecientes al grupo de calidad 1 y dos al grupo de calidad 3, asimismo de cada grupo una variedad fue ciclo intermedio-largo (CL) y otro ciclo corto (CC). Dichos cultivares se seleccionaron en base a su buen comportamiento en los ensayos comparativos de rendimiento realizados en la EEA INTA Anguil (Romano *et al.*, 2010). También se evaluaron los 2 cultivares de cebada más difundidos en la región. Las distintas variedades se presentan en la Tabla 4.1. Cada variedad constituyó un tratamiento y se dispusieron en un diseño en bloques completos al azar, con 4 repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 27 surcos separados a 17,5 cm con 25 m de largo. Cada año se rotaron las parcelas respetando los bloques, de modo que los trigos CL se sembraron sobre colza, los trigos CC sobre cártamo y las cebadas sobre trigo CL. Además, cada unidad experimental fue dividida en 2 subparcelas para ubicar los tratamientos de fertilización: fertilizado (54 kg ha⁻¹ de N y 20 kg ha⁻¹ de P) y testigo (sin agregado de nutrientes). De este modo quedó conformado un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas por la fertilización.

Tabla 4.1. Descripción de las variedades de trigo y cebada utilizadas durante el ensayo.

Cultivo	Abreviación	Empresa	Variedad	Grupo de calidad industrial	Ciclo
Trigo	CC 1	Klein	Rayo	1	Corto
Trigo	CC 3	Don Mario	Arex	3	Corto
Trigo	CL 1	ACA	315	1	Int-Largo
Trigo	CL 3	Nidera	Baguette 10 (2012 y 2013)	3	Largo
		Don Mario	Lenox (2014)		
Cebada	MP	Maltería Pampa	MP2122	-	Int-Largo
Cebada	SC	Baywa (Alemania)	Scarlett	-	Int-Largo

El ensayo se sembró en directa y el manejo se realizó de acuerdo a las recomendaciones para la región, siendo igual en ambos suelos. En la Tabla 4.2, figura la fecha de siembra y el detalle de las aplicaciones de agroquímicos de cada campaña.

Tabla 4.2. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en los cereales de invierno. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea.

Campaña	Herbicidas barbecho	Herbicidas pre-siembra	Fecha siembra	Herbicidas macollaje	Fungicida
2012	04/05: 2500 cc glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	-----	CL: 30/05 Cebada: 19/06 CC: 13/07	05/09: 120 cc Dicamba + 6,5 g metsulfurón + coadyuvante	07/11: 1000 cc “Opera” (pyraclostrobin 13,3% + epoxiconazole 5%) por roya de la hoja (<i>Puccinia recondita</i>)
2013	08/04: 3000 cc glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	-----	CL: 07/06 Cebada: 24/06 CC: 12/07	17/09: 120 cc Dicamba + 6,5 g metsulfurón + coadyuvante	-----
2014	10/03: 3000 cc glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	26/05 (CL) y 25/06 (Cebada y CC): 3500 cc glifosato (48%) + 7 g metsulfurón	CL: 10/06 Cebada: 04/07 CC: 07/07	27/08 (CL) y 11/09 (Cebada y CC): 150 cc Dicamba	-----

Para la siembra se usó una sembradora mecánica de granos finos a 17,5 cm entre líneas. Se utilizó la densidad recomendada de 200 semillas m⁻² para trigos CL y 250 semillas m⁻² para cebada y trigos CC. A la siembra, se aplicó al voleo 100 kg ha⁻¹ de FDA (18-20-0) en las subparcelas fertilizadas. En macollaje se fertilizó nuevamente al voleo con 80 kg ha⁻¹ de urea granulada (46-0-0).

4.2.1 Determinaciones

- Cociente fototermal (Q)

El Q ($\text{Mj } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$) se calculó para el período crítico para la fijación del número de granos en trigo (20 días antes y 10 después de antesis, Dhillon and Ortiz-Monasterio, 1993) y cebada (30 días previos a antesis) en las tres campañas, mediante la fórmula descripta por Fisher (1985):

$$Q = R / (T_m - T_b)$$

Donde R (Mj m^{-2}) es la radiación global diaria promedio del periodo crítico, T_m ($^\circ\text{C}$) es la temperatura media diaria promedio del período, y T_b es la temperatura base de crecimiento de los cereales invernales que es de $4,5^\circ\text{C}$ (Fisher, 1985).

- Probabilidad de excedencia de precipitaciones

La probabilidad de excedencia de precipitaciones se calculó a través de la distribución gamma (Scian, 1995) con el programa Matlab R2014a 8.3.0.532, utilizando los datos de precipitaciones mensuales históricas (1960-2014) de junio a noviembre en la EEA INTA Anguil.

- Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó en cada parcela por el método gravimétrico. Para ello se extrajo la muestra con barreno a intervalos de 20 cm hasta la profundidad de la tosca (80-100 cm) en el Paleustol y hasta 160 cm en el Ustipsamment. Se realizó un muestreo por bloque en el momento de siembra-emergencia, y uno por parcela en floración y madurez fisiológica, en cada campaña.

Mediante freatrímetros ubicados en el sitio experimental del Ustipsamment, se registró en periodos irregulares la profundidad de la napa.

- Contenido de N-NO_3^-

Con las muestras de suelo obtenidas en siembra-emergencia de los cultivos, se realizó el análisis de nitratos mediante Nitratek, utilizando 4 muestras de las profundidades 0-20 cm; 20-60 cm; 60-100 cm. El promedio del contenido de N-NO_3^- del perfil en cada campaña se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Contenido de $N-NO_3^-$ ($kg\ ha^{-1}$) en el perfil del suelo en siembra-emergencia de los cereales en ambos suelos las tres campañas.

Campaña	Profundidad (cm)	$N-NO_3^-$ ($kg\ ha^{-1}$)					
		Paleustol			Ustipsamment		
		Trigo CL	Trigo CC	Cebada	Trigo CL	Trigo CC	Cebada
2012	0-20	27	29	25	4	2	5
	20-60	31	47	33	6	7	7
	60-100	7	39	10	6	7	5
	Total	64	115	68	16	16	17
2013	0-20	14	31	15	13	10	13
	20-60	19	28	21	13	15	13
	60-100	11	12	11	10	9	9
	Total	44	72	48	36	35	35
2014	0-20	15	8	8	1	1	1
	20-60	25	22	11	2	2	7
	60-100	22	21	13	3	2	2
	Total	62	51	32	7	5	10

- Estado fenológico

Se registró el cambio de estado fenológico del tallo principal de cada variedad de trigo y cebada cuando fue alcanzado por más del 50 % de las plantas de la parcela, siguiendo la escala decimal de Zadoks *et al.* (1974) (Tabla 2.1 Anexo II).

- Densidad de plantas

Alrededor del estado Z1.3 de cada variedad se contaron las plantas de dos muestras de 0,35 m² por subparcela y se llevó a 1 m² para obtener la densidad (pl. m⁻²).

- Biomasa aérea

En cada campaña en estados vegetativos y espigado-floración se determinó la producción de materia seca (MS_v y MS_f respectivamente) de cada variedad en el tratamiento fertilizado. Para obtener la materia seca en cada momento se extrajeron dos muestras de 0,35 m² por parcela, cortando las plantas con hoz a 2 cm del suelo. También se determinó la biomasa en el estado Z9.9 (MS_{mf}) con una muestra tanto en parcelas fertilizadas como testigo. Dichas muestras se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante. El resultado se llevó a $kg\ ha^{-1}$.

- Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE)

En el mismo momento del estado vegetativo y floración en que se muestreó biomasa aérea se extrajeron 5 plantas por parcela para determinar área foliar. Las vainas de todas las hojas verdes de cada planta se midieron con un medidor de área foliar Li-Cor modelo LI-3000A. Las mismas hojas se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante para obtener su peso seco. Así, se obtuvo el AFE_f ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) dividiendo el AF de todas las hojas (cm^2) por su peso seco (g) (Songsri *et al.*, 2009).

Por otra parte, se obtuvo el índice de área foliar en estado vegetativo y floración (IAF_v e IAF_f), que indica los m^2 de hoja existentes por m^2 de suelo. Se calculó multiplicando el AF promedio por planta (en m^2) por la densidad de plantas en 1 m^2 .

- Tasa de asimilación neta (TAN)

Con los datos de biomasa y área foliar en estado vegetativo y en floración se calculó la TAN_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) del período:

$$TAN_{v-f} = [(MS_f - MS_v) / (IAF_f - IAF_v)] * [(\ln IAF_f - \ln IAF_v) / (t_2 - t_1)] \quad (\text{Sesták } et al. 1971)$$

Donde MS_f (g m^{-2}) es la materia seca en floración del cultivo, MS_v (g m^{-2}) es la materia seca en estado vegetativo, IAF_f ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) es el índice de área foliar a floración, IAF_v ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) es el índice de área foliar en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La tasa de crecimiento del cultivo promedio entre estado vegetativo y floración TCC_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se obtuvo aplicando la fórmula:

$$TCC_{v-f} = [(MS_f - MS_v) / (t_2 - t_1)]$$

Donde MS_f (g m^{-2}) es la materia seca en floración del cultivo, MS_v (g m^{-2}) es la materia seca en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Contenido relativo de agua (CRA) y temperatura del canopeo

El CRA se midió en todas las variedades en 2013 y 2014 aunque en distintas fechas por cuestiones operativas. En 2013 se evaluó cuando los cereales se encontraban en llenado de granos, mientras que en 2014 se midió en plena floración. El muestreo de todas las variedades se realizó el mismo día en los dos suelos entre las 13.00 y 16.00 hs. Se extrajo la hoja bandera de 5 plantas por parcela, se colocaron en bolsas de nylon en una

conservadora para evitar que se deshidraten y se llevaron al laboratorio inmediatamente. Allí se cortaron dos trozos de la parte central de cada hoja y se pesaron los 10 trozos en balanza de precisión para obtener el peso fresco (PF). Luego se colocaron en frascos con agua destilada y fueron llevados a heladera (4°C) por 48 hs para que alcancen turgencia completa. En ese momento, se secaron las gotas externas de las hojas con papel y se pesaron nuevamente para determinar peso turgente (PTG). Finalmente, los mismos trozos de hojas fueron secados en estufa (60°C) durante 24 hs y pesados para registrar el peso seco (PS). El CRA_f (%) se obtuvo mediante la ecuación:

$$\text{CRA}_f = [(PF - PS) / (PTG - PS)] \times 100 \text{ (Songsri et al., 2009; Zhang et al., 2010)}$$

En el momento que se muestreó el CRA se midió temperatura del canopeo, con termómetro de reflectancia a una distancia de 50 cm de las plantas.

- Abundancia de raíces

En la campaña 2012, en madurez fisiológica de los cereales, se observó la distribución de raíces en el perfil de una variedad de trigo CL, una CC y una cebada en cada suelo. Se determinó la abundancia de raíces a través de la técnica semicuantitativa descrita por Cárcova *et al.* (2000). Para lo cual se realizó una calicata lindante con una hilera del cultivo. Se descubrieron las raíces removiendo el suelo con un cuchillo y agua a presión utilizando una mochila de pulverización. Luego se colocó una reja en contra de esa pared. La reja tenía 50 cm de ancho y se dividía en cuadros de 5 x 5 cm, para cada uno de los cuales se estimó la abundancia de raíces mediante una escala de 0 a 5:

0: ausencia raíces

1: raíces escasas

2: raíces moderadas

3: raíces abundantes

4: raíces muy abundantes

5: máxima abundancia observada

Así, para cada perfil de raíces evaluado se obtuvo una grilla de números correspondientes a los valores de abundancia de raíces (del 0-5) de cada cuadro. En cada calicata se evaluaron 3 perfiles de 50 cm de ancho para cada variedad. La profundidad de observación en los cereales fue hasta el manto calcáreo en el Paleustol, alrededor de 100 cm, y 190 cm en el Ustipsamment.

- Número de espigas por m² (NEM) y número de granos por espiga (NGE)

En Z9.9 de los cultivos se contaron las espigas presentes en 2 m lineales de 2 surcos (0,7 m²) en cada subparcela (tratamiento fertilizado y testigo), calculándose el número de espigas por m² (NEM). De dicho sector fueron removidas 10 espigas a las que se le contaron los granos para obtener un promedio de número de granos por espiga (NGE).

- Rendimiento en grano e índice de cosecha (IC)

Cuando el cultivo se encontró en madurez de cosecha se recolectaron manualmente 2 m lineales de 6 surcos centrales (2,1 m²) de cada parcela. Las muestras fueron desgranadas con trilladora estática. Luego se pesó la muestra de granos obtenida y se midió el porcentaje de humedad con humidímetro portátil (Tesda Campo) para calcular el rendimiento en kg ha⁻¹ a la humedad comercial de cada cultivo (Rdto) y a 0% de humedad (Rdto_{0%}). La humedad comercial para la que se obtuvo el rendimiento fue de 14 % para trigo y cebada calidad forrajera, y de 12 % para cebada con calidad cervecera.

El índice de cosecha (IC) se calculó como:

$$IC = [Rdto_{0\%}/MSmf].$$

- Peso de mil granos (PMG) y número de granos por m²

Se pesó una muestra de 250 granos por parcela para calcular el PMG (g). El número de granos por m² fue calculado como:

$$\text{Granos por m}^2 = [Rdto_{0\%} * 100/PMG].$$

- Cantidad de residuos

En las 3 campañas, se calculó la materia seca de los residuos aportados al suelo (MSr, kg ha⁻¹) restándole el rendimiento a la MSmf:

$$MSr = MSmf - Rdto_{0\%}$$

- Parámetros de calidad del grano

En todas las muestras de trigo y cebada se midieron el peso hectolítrico (PH) y porcentaje de proteína de los granos. Esta última se determinó con la tecnología NIRS Foss 6500 (Near Infrared Spectroscopy, o Espectroscopia en Infrarrojo Cercano), en base 13,5 % de humedad en trigo y base seca en cebada.

Los demás análisis necesarios para determinar la calidad para maltería de cebada fueron realizados en la planta de recibo de "Maltería Pampa" en Pellegrini (Pcia. Bs As). Allí se

analizó una muestra compuesta de cada tratamiento de cebada, realizando las siguientes determinaciones:

- Calibre: con un equipo conformado por tres zarandas superpuestas de 2,8 mm; 2,5 mm y 2,2 mm. Por pesaje se obtuvo el calibre sobre zaranda de 2,5 mm (retenido en zaranda 2,8 mm + retenido en zaranda 2,5 mm) y material no retenido (bajo zaranda de 2,2 mm). Expresión en porcentaje.

- Capacidad germinativa: Se realizó sobre las fracciones retenidas en las tres zarandas, una vez separados los defectos. El método utilizado fue coloración con Yodo-Nitro-Tetrazolium (tinción de los gérmenes viables). Expresión en porcentaje.

- Uso consuntivo

El uso consuntivo de cada variedad, fertilizado y testigo, se obtuvo para los períodos emergencia-floración (UC_{e-f}), emergencia-madurez fisiológica (UC) y floración-madurez fisiológica (UC_{f-mf}).

El UC_{e-f} se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$UC_{e-f} = AU_e + PPe-f - AU_f$$

Donde AU_e (mm) es el contenido de agua útil en el suelo en emergencia de los cereales, $PPe-f$ (mm) son las precipitaciones ocurridas entre emergencia y floración, AU_f (mm) es el AU en el suelo en floración.

El UC (mm) se obtuvo con la ecuación:

$$UC = AU_e + PPe-mf - AU_{mf}$$

Donde $PPe-mf$ (mm) son las precipitaciones ocurridas desde emergencia a madurez fisiológica y AU_{mf} (mm) es el agua útil en el suelo en madurez fisiológica (López y Arrúe, 1997).

Finalmente, el UC_{f-mf} (mm) se calculó mediante la ecuación:

$$UC_{f-mf} = UC - UC_{e-f}$$

- Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a floración (EU_{AMS_f} , $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EU_{AMS_f} = MS_f / UC_{e-f}$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a madurez fisiológica ($EU_{AMS_{mf}}$, $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EU_{AMS_{mf}} = MS_{mf} / UC$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se estimó mediante la ecuación (López y Arrúe, 1997):

$$\text{EUA} = \text{Rdto}_{0\%} / \text{UC}$$

- Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB)

La PEA ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se calculó como:

$$\text{PEA} = \text{EUA} \times \text{precio}$$

Donde el precio ($\text{u}\$ \text{kg}^{-1}$) es la cotización de mercado de trigo o cebada con las bonificaciones o rebajas correspondientes por calidad.

El MB ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1}$) de cada uno de los tratamientos fue calculado para campo propio mediante la sustracción de los costos directos (semilla, fertilizante, plaguicidas, flete, etc.) al ingreso bruto de la producción ($\text{Rdto} \times \text{cotización por unidad}$).

Los precios de insumos y labores se obtuvieron de las revistas *Agromercado* y *Márgenes Agropecuarios* del mes correspondiente. La cotización de trigo y cebada utilizada en cada campaña figura en la Tabla 4.4. Para obtener la cotización final de trigo se aplicaron las bonificaciones/descuentos por proteína y PH vigentes en las normas de comercialización XX para trigo pan. Mientras que en cebada se determinó si la calidad correspondía a cervecera o forrajera y se aplicaron las bonificaciones/descuentos vigentes en las normas de comercialización V anexo A o B respectivamente.

Tabla 4.4. Cotización de trigo y cebada utilizada para el cálculo de la PEA y MB. Mes y fuente en la que se obtuvo.

Campaña	Grano	Cotización ($\text{u}\$ \text{tn}^{-1}$)	Mes	Fuente
2012	Trigo	222	Diciembre	Bolsa de Comercio de Rosario
	Cebada cervecera	230	Diciembre	Bolsa de Cereales de Bahía Blanca
	Cebada forrajera	220	Diciembre	
2013	Trigo	225	Enero	Bolsa de Cereales de Bahía Blanca
	Cebada cervecera	180	Enero	
	Cebada forrajera	161	Enero	
2014	Trigo	145	Enero	Bolsa de Cereales de Bahía Blanca
	Cebada cervecera	180	Enero	
	Cebada forrajera	140	Enero	

4.2.2 Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante Análisis de la Varianza y comparación de medias por el test LSD Fisher (alfa=0,05) y contrastes, que se consideraron significativos cuando el p-valor resultó inferior a 0,05. Cuando fue necesario se efectuaron análisis de correlación entre variables ($p < 0,05$) y Análisis de Componentes Principales (ACP) con los datos estandarizados. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

4.3 Resultados

4.3.1 Desarrollo fenológico del cultivo

En la Tabla 4.5 se muestra la fecha en que ocurrieron los principales estados fenológicos de los cultivares de trigo ciclos intermedio-largo (CL), trigo ciclos cortos (CC) y cebada en las tres campañas, en base a la escala de Zadoks (Zadoks, 1974, Tabla 2.1 Anexo II). En general, los trigos CL y cebada demoraron alrededor de 20 días en emerger. En los trigos CC el período siembra-emergencia fue de 30 días en 2012 y 2013 dadas las menores temperaturas de la fecha, mientras que se redujo a la mitad en 2014 cuando el tiempo fue más cálido (Figura 2.1 Anexo II). Puede observarse que en el Ustipsammet, a pesar de que la emergencia fue más rápida, existió un retraso de algunos días (2-5) en la encañazón, floración y madurez fisiológica respecto al Paleustol.

El período crítico para la definición del número de granos en trigo transcurre entre 20 días antes y 10 después de anthesis (Dhillon y Ortiz-Monasterio, 1993; Slafer *et al.*, 2003), por lo tanto se dio desde mediados de octubre en la 1ª y 2ª campaña, y desde principios de octubre en la última. En cebada en cambio, el momento más importante en la fijación del número de granos ocurre antes que en trigo, en las cuatro semanas anteriores a anthesis o aparición de aristas (Miralles *et al.*, 2011), por lo tanto abarcó todo el mes de octubre en 2013, e incluyó los últimos días de septiembre en la 1ª y última campañas.

Tabla 4.5. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de trigo ciclo largo (CL), trigo ciclo corto (CC) y cebada en el Paleustol y Ustipsammet, en las 3 campañas. Z1.0: emergencia; Z3.1: primer nudo visible, Z3.9: aparición de hoja bandera; Z6.5: antesis; Z9.9: madurez fisiológica; y cosecha.

	Campaña	Z1.0	Z3.1	Z3.9	Z6.5	Z9.9	cosecha	
Paleustol	Trigo CL	2012	21-jun	30-sep	12-oct	30-oct	05-dic	13-dic
		2013	04-jul	10-oct	26-oct	07-nov	06-dic	20-dic
		2014	30-jun	25-sep	10-oct	24-oct	29-nov	10-dic
	Trigo CC	2012	14-ago	05-oct	18-oct	01-nov	03-dic	14-dic
		2013	20-ago	12-oct	28-oct	07-nov	08-dic	20-dic
		2014	23-jul	28-sep	11-oct	21-oct	29-nov	09-dic
	Cebada	2012	10-jul	01-oct	15-oct	21-oct	30-nov	07-dic
		2013	23-jul	16-oct	26-oct	04-nov	29-nov	16-dic
		2014	20-jul	28-sep	12-oct	17-oct	30-nov	05-dic
Ustipsammet	Trigo CL	2012	19-jun	03-oct	17-oct	03-nov	10-dic	21-dic
		2013	01-jul	12-oct	27-oct	09-nov	06-dic	17-dic
		2014	30-jun	28-sep	14-oct	24-oct	02-dic	10-dic
	Trigo CC	2012	10-ago	05-oct	18-oct	05-nov	10-dic	21-dic
		2013	15-ago	16-oct	29-oct	08-nov	08-dic	17-dic
		2014	21-jul	28-sep	08-oct	20-oct	29-nov	09-dic
	Cebada	2012	10-jul	08-oct	20-oct	28-oct	02-dic	21-dic
		2013	17-jul	16-oct	26-oct	04-nov	29-nov	12-dic
		2014	20-jul	30-sep	16-oct	22-oct	02-dic	12-dic

4.3.2 Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo

Las precipitaciones durante el ciclo de estos cereales en las campañas 2012 y 2014 fueron muy superiores al promedio histórico, principalmente en Octubre, el mes más importante en la definición del rendimiento de estos cultivos en la RSP (Fernández, 2007) (Figura 4.1). En dichos años, las lluvias durante el período crítico ascendieron a 200 mm. En cambio, en la campaña 2013, las precipitaciones fueron menores al promedio durante los meses invernales y de sólo 60 mm durante el período crítico del trigo.

Con respecto al AU a la siembra, se observó en todas las ocasiones un almacenaje de al menos 100 mm en el Ustipsammet dentro del perfil posible de ser explorado por las raíces (1,6 m) (Figura 4.2). En el Paleustol, en cambio, el agua almacenada en 1 m de profundidad varió ampliamente entre campañas. Los valores de AU rondaron los 65 mm en 2012 y 2013 en contraste con 140 mm en 2014 cuando todo el perfil presentó contenidos de humedad de capacidad de campo. A pesar de los distintos cultivos antecesores, las diferencias en contenido de AU en el suelo entre las tres fechas de siembra fueron mínimas, acorde con las bajas precipitaciones y evaporación del suelo de esta época del año.

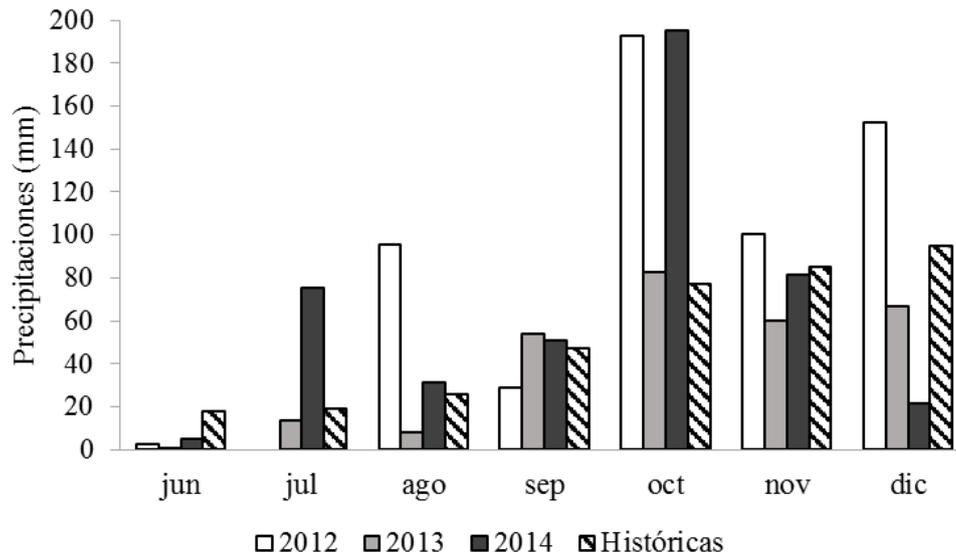


Figura 4.1. Precipitaciones en el ciclo de trigo en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.

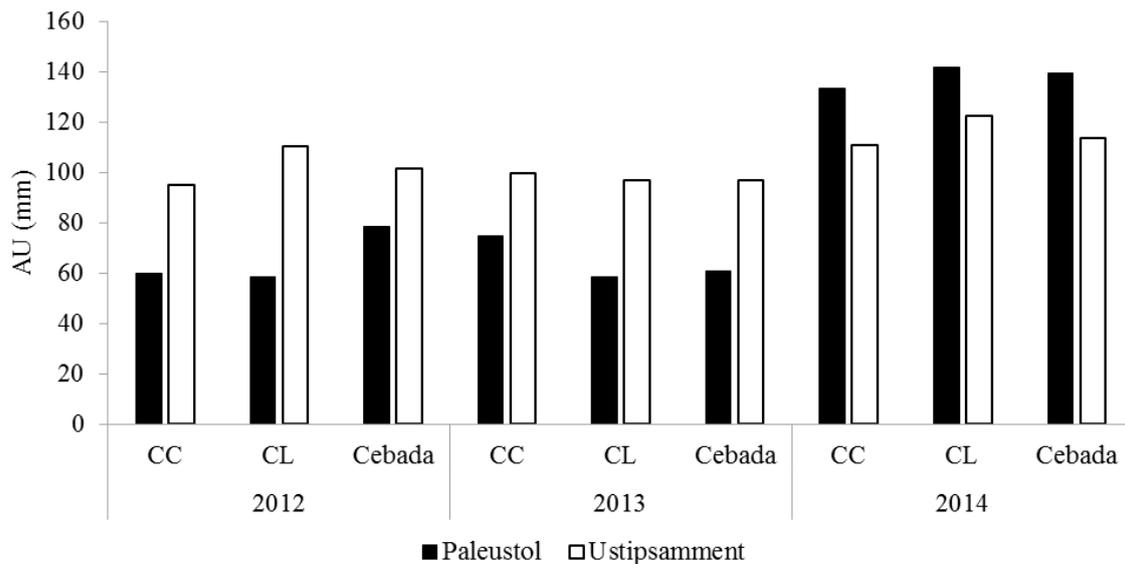


Figura 4.2. Agua útil (AU) a la siembra hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 1,6 m en el Ustipsammet en cada campaña para los trigos ciclo largo (CL), trigos ciclo corto (CC) y cebada.

En la Figura 4.3 se expone un gráfico de probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de trigo y cebada (junio a noviembre), en base al registro de la EEA INTA Anguil desde el año 1960 al 2014. En el mismo, se indican las probabilidades de que las precipitaciones igualen o excedan a las ocurridas en cada campaña. La probabilidad de que las lluvias igualen a las ocurridas en las campañas 2012 y 2014, con 420-440 mm son menores al 10 %, mientras que existe casi 70 % de probabilidad de que se alcancen los

220 mm de la campaña 2013. Por otra parte el valor más probable, correspondiente al 50 % de probabilidad, es de 260 mm. En consecuencia, las precipitaciones del 2013 se aproximan en mayor medida al valor más probable que las otras dos campañas.

En las Figuras 2.1 y 2.2 del Anexo II, se presentan las temperaturas mínimas a 0,05 m de altura y las máximas de las 3 campañas. Puede destacarse el elevado número de días con heladas en julio del 2012 con temperaturas a nivel del suelo que descendieron hasta 15° bajo 0. Este período de heladas afectó, principalmente en el suelo arenoso, el crecimiento del trigo CL y cebada ya que los trigos CC no se encontraban emergidos (Tabla 4.5). Otro episodio relevante de heladas ocurrió el 23 de agosto del 2013, cuando la menor temperatura a 0,05 m fue de 17°C bajo 0. El invierno del año 2014 en cambio se caracterizó por ser más benévolo (Figura 2.1 Anexo II).

Se calculó el Q durante el período crítico de los cultivos para las tres campañas, dando como resultado para trigo 1,76, 1,77 y 1,44 $\text{Mj } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y para cebada 1,80, 1,73 y 1,61 $\text{Mj } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para los años 2012, 2013 y 2014 respectivamente. El menor valor del último año puede estar dado porque el período crítico se adelantó levemente respecto a los años anteriores y la radiación recibida fue menor (Figura 2.3 Anexo II). Sin embargo, la temperatura media fue similar a las otras campañas ya que entre 21 y 25 de octubre se registraron temperaturas máximas altas para la época (Figura 2.2 Anexo II).

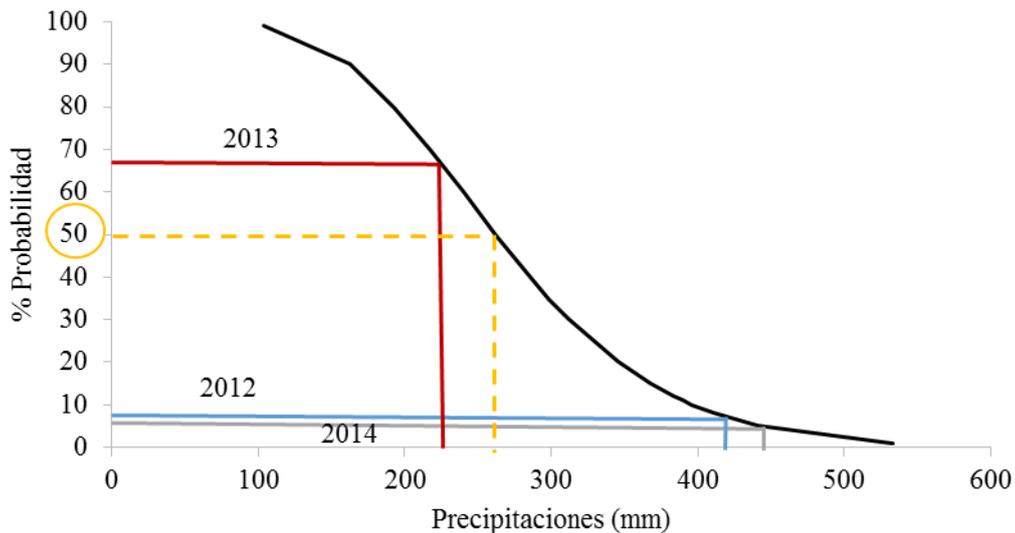


Figura 4.3. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de los cereales invernales (junio a noviembre) en Anguil, La Pampa.

4.3.3 Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo

En madurez fisiológica de la campaña 2012 se midió la abundancia de raíces de los cereales en los dos suelos (Figuras 2.4 y 2.5 Anexo II). En el Paleustol se observó que las raíces profundizaron hasta encontrar el impedimento del manto calcáreo, alrededor de los 100 cm. Sin embargo, los trigos CL y cebada mantuvieron mayor abundancia de raíces en el perfil respecto al CC que concentró la mayor proporción en los primeros 20 cm y luego disminuyó drásticamente (Figura 4.4a). Por otra parte, en el Ustipsamment los tres cereales presentaron la mayor cantidad de raíces en los primeros 20 cm, conservando valores moderados hasta los 120 cm. A partir de allí la abundancia de raíces comenzó a decaer de forma más abrupta en el trigo CC seguido de la cebada, mientras el trigo CL fue el que alcanzó la mayor profundización al llegar a los 190 cm con valores de 1 de abundancia (Figura 4.4b).

A fines de determinar el UC se tomó una sección control de 1,6 m para trigos y cebada en el Ustipsamment, en base a la abundancia de raíces de 2 y la bibliografía existente (Villar, 2001).

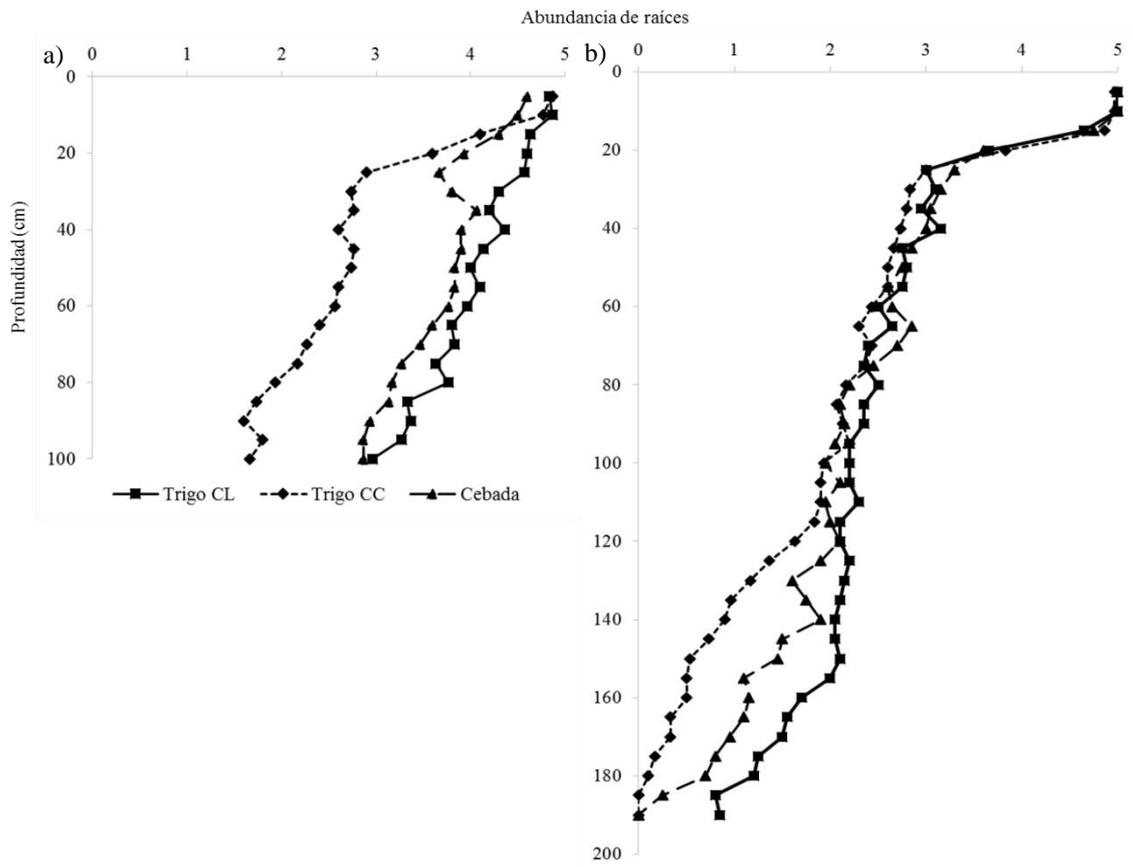


Figura 4.4. Abundancia de raíces (promedio de 50 cm de ancho) en a) Paleustol en 100 cm de profundidad y b) Ustipsammet en 190 cm de profundidad.

El UC promedio de cebada y trigo fue distinto entre campañas, registrándose el valor más bajo en 2013 con 270 mm en el Paleustol, en contraste con más de 440 mm en el mismo suelo las otras campañas (Figura 4.5). El consumo de agua de los cultivos resultó similar entre suelos, en especial el UCe-f. La mayor diferencia se dio en 2014 cuando el UC fue de 515 mm en el Paleustol pero de 100 mm menos en el Ustipsammet. Como se observa en la Figura 4.5, los cultivos consumieron entre 60 y 80 % del agua total antes de floración, mientras que el 20 a 40 % restante se utilizó en llenado de granos. Los mayores UCf-mf correspondieron a la campaña 2014, cuando se determinaron elevados rendimientos, principalmente en el Paleustol. Por el contrario, los menores UCf-mf, tanto en términos absolutos como relativos al total, se registraron en la campaña más seca.

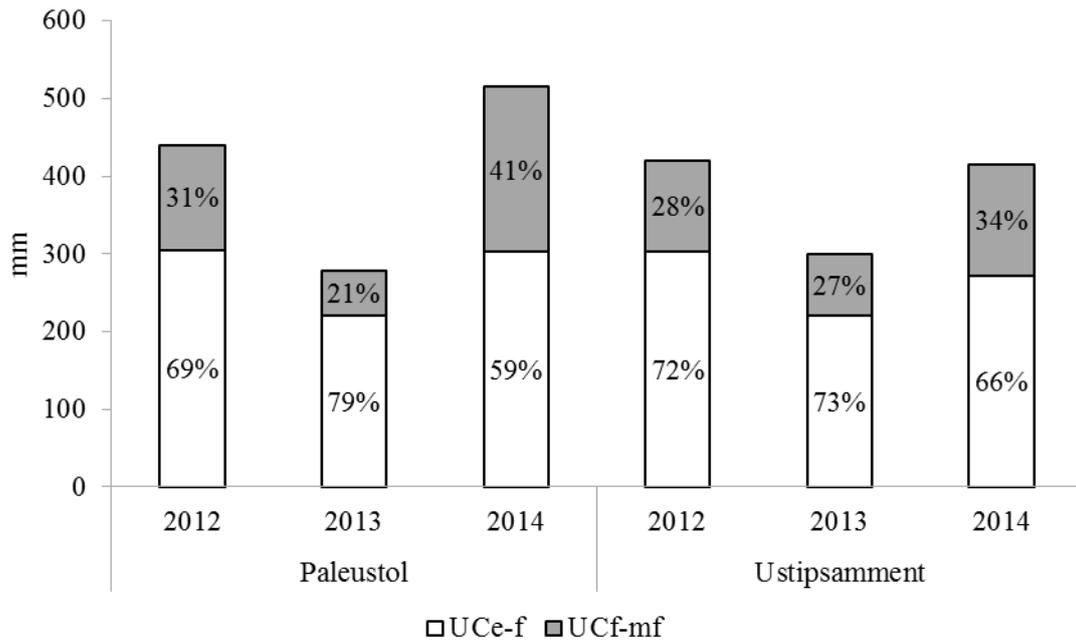


Figura 4.5. Uso consuntivo promedio de los cereales desde emergencia a floración (*UCe-f*) y desde floración a madurez fisiológica (*UCf-mf*), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.

En las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8 se representó para cada campaña la humedad del suelo en diferentes momentos de los cultivos, utilizando el promedio de los tratamientos fertilizado y testigo. En la siembra 2012 (Figura 4.6) la humedad fue menor que capacidad de campo en ambos suelos. En el Paleustol se observó menor contenido de humedad en profundidad en el trigo CL, que se emparejó con el resto en anthesis. En dicho estado pudo distinguirse influencia de la capa freática en el Ustipsammet a partir de los 120 cm. En este momento crítico para los cereales puede deducirse que no sufrieron estrés hídrico ya que los contenidos de agua estuvieron por encima de punto de marchitez permanente en ambos suelos, luego de las importantes lluvias de octubre (Figura 4.1). A su vez, las diferencias entre los cereales fueron reducidas, aunque puede señalarse un mayor consumo de los CL. Las lluvias de fin de ciclo (Figura 4.1) recargaron los primeros centímetros de perfil en MF, registrándose agua gravitacional especialmente en cebada del Ustipsammet. La influencia de la capa freática permaneció constante entre los estados Z6.0 y Z9.0.

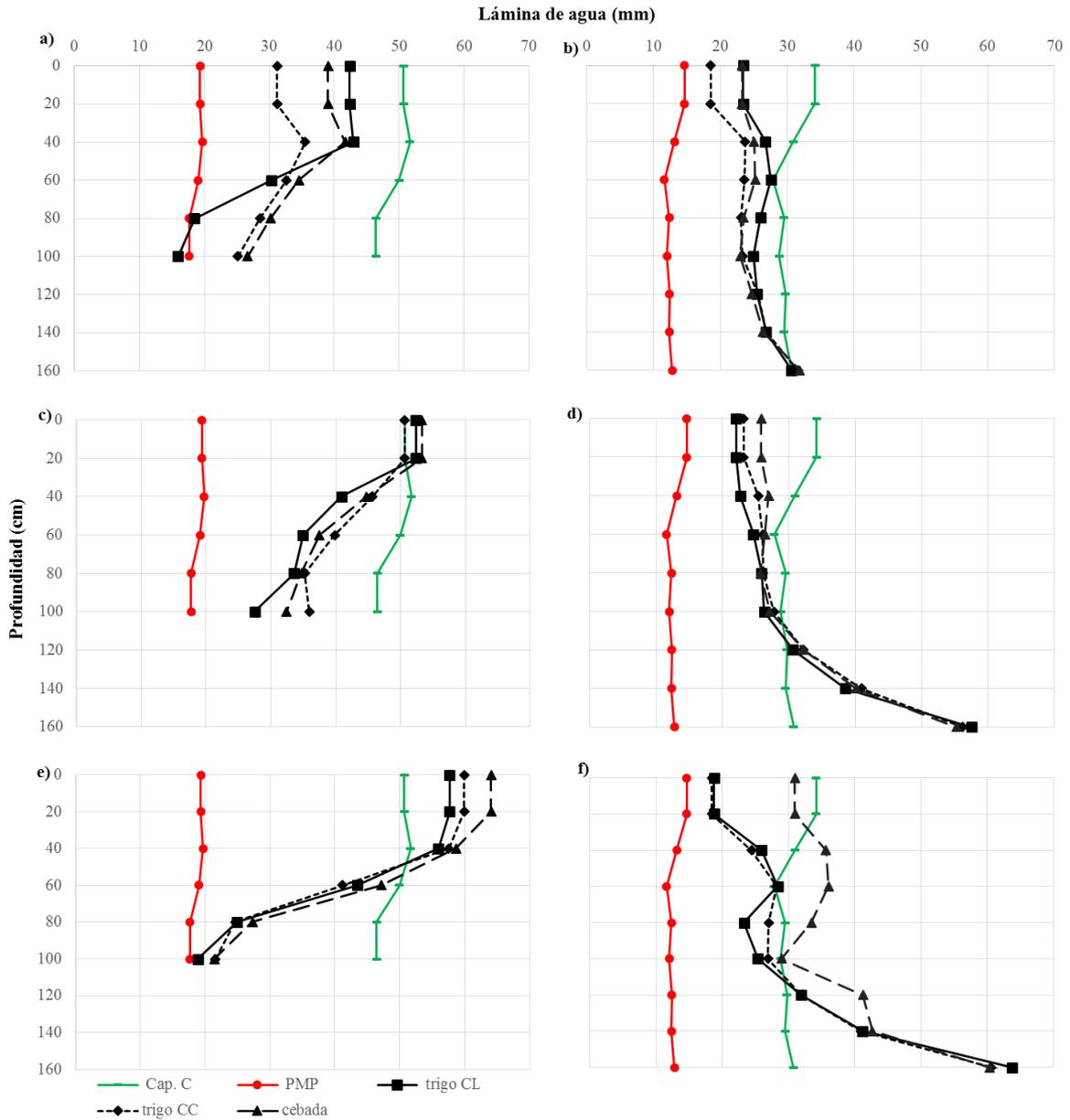


Figura 4.6. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2012 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados a) Z0; c) Z6 y e) Z9 en Paleustol, y b) Z0 d) Z6 y f) Z9 en Ustipsamment.

En la campaña 2013, la humedad a la siembra fue similar al año anterior entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, aunque más semejante entre los tres cultivos (Figura 4.7). Hacia floración, hubo consumo del agua del suelo en los dos ambientes, debido a que las precipitaciones de invierno e inicios de primavera no alcanzaron a satisfacer las necesidades del cultivo. En Z6 en el Paleustol se observó que el contenido de humedad del suelo disminuía a medida que se profundizaba hacia la tosca. En el Ustipsamment, los menores contenidos de agua se dieron entre 40 y 100 cm, mientras que

hubo más disponibilidad a mayor profundidad. Se notó algo menor consumo de cebada respecto a los trigos en dicho suelo. El consumo de agua de suelo prosiguió hasta Z9, alcanzando valores de punto de marchitez en algunos sectores del perfil de los dos suelos. La mayor proporción de humedad en los primeros centímetros del trigo CC se debió a que el muestreo se hizo más tarde que en CL y cebada, cuando se habían dado algunas precipitaciones. No obstante, en el resto del perfil, no se notaron diferencias entre los cereales, destacándose la disponibilidad de humedad a profundidades mayores a 120 cm en el Ustipsamment.

Finalmente, en la campaña 2014, la humedad a la siembra de los cereales estuvo muy próxima a capacidad de campo en los dos suelos (Figura 4.8). En la determinación en anthesis la humedad fue menor principalmente en los primeros 40 cm del perfil, a pesar de que llovieron más de 100 mm dentro de los 20 días previos, lo que demuestra un importante consumo del agua del suelo en el período Z0-Z6. En el Ustipsamment además hubo una considerable contribución de la napa por debajo de los 120 cm. Los cultivos continuaron utilizando el agua del suelo hasta madurez, y si bien hubo una recarga superficial debido a las lluvias de los últimos días de noviembre, se observó una disminución de los contenidos hídricos. Puede observarse que la cebada dejó mayor proporción de agua en el Paleustol al terminar el ciclo (Figura 4.8p), seguida del trigo CC. Mientras que en el Ustipsamment parece que los trigos CC consumieron menos agua, aunque las diferencias fueron menos claras.

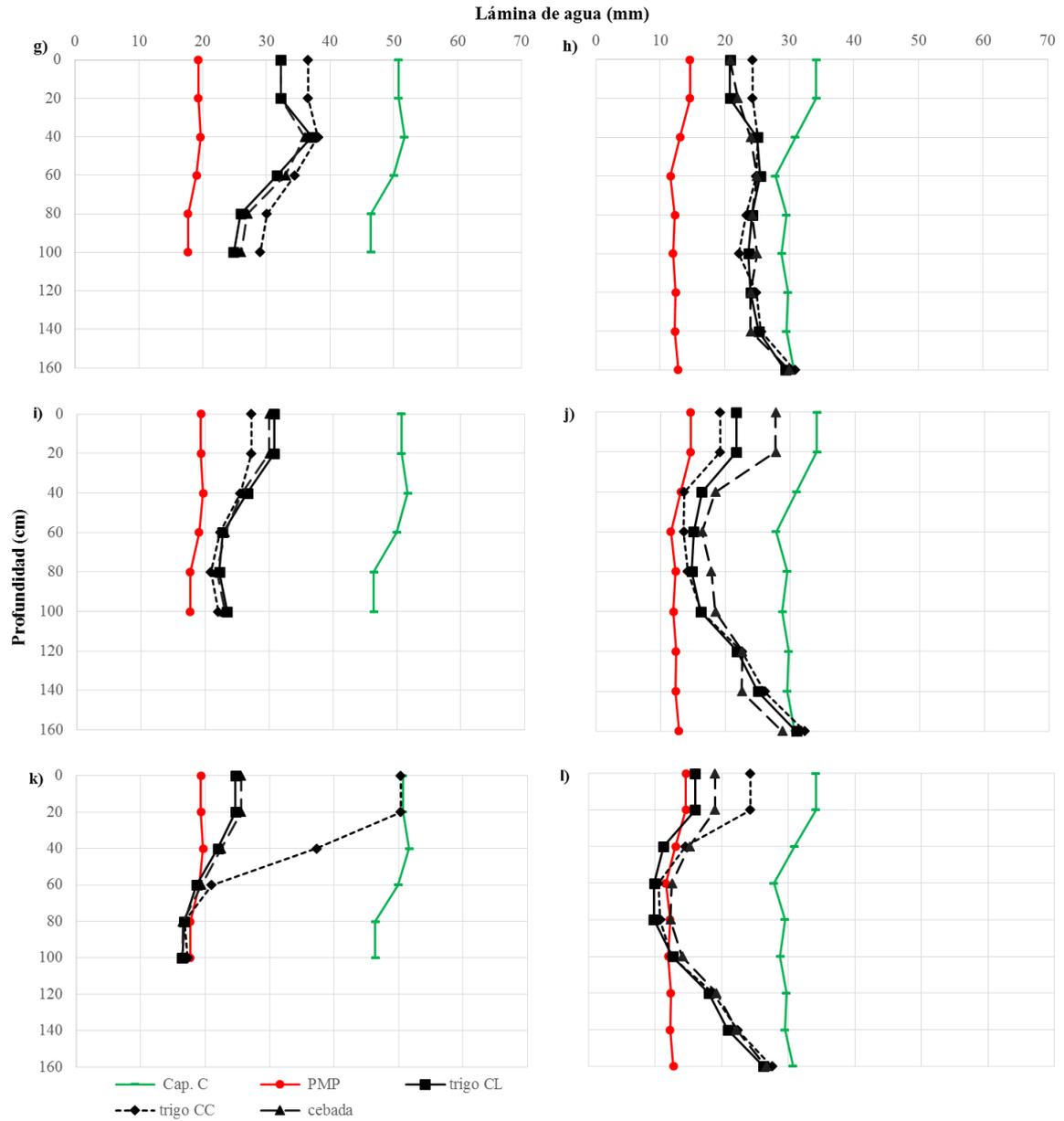


Figura 4.7. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2013 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados g) Z0; i) Z6 y k) Z9 en Paleustol, y h) Z0 j) Z6 y l) Z9 en Ustipsammet.

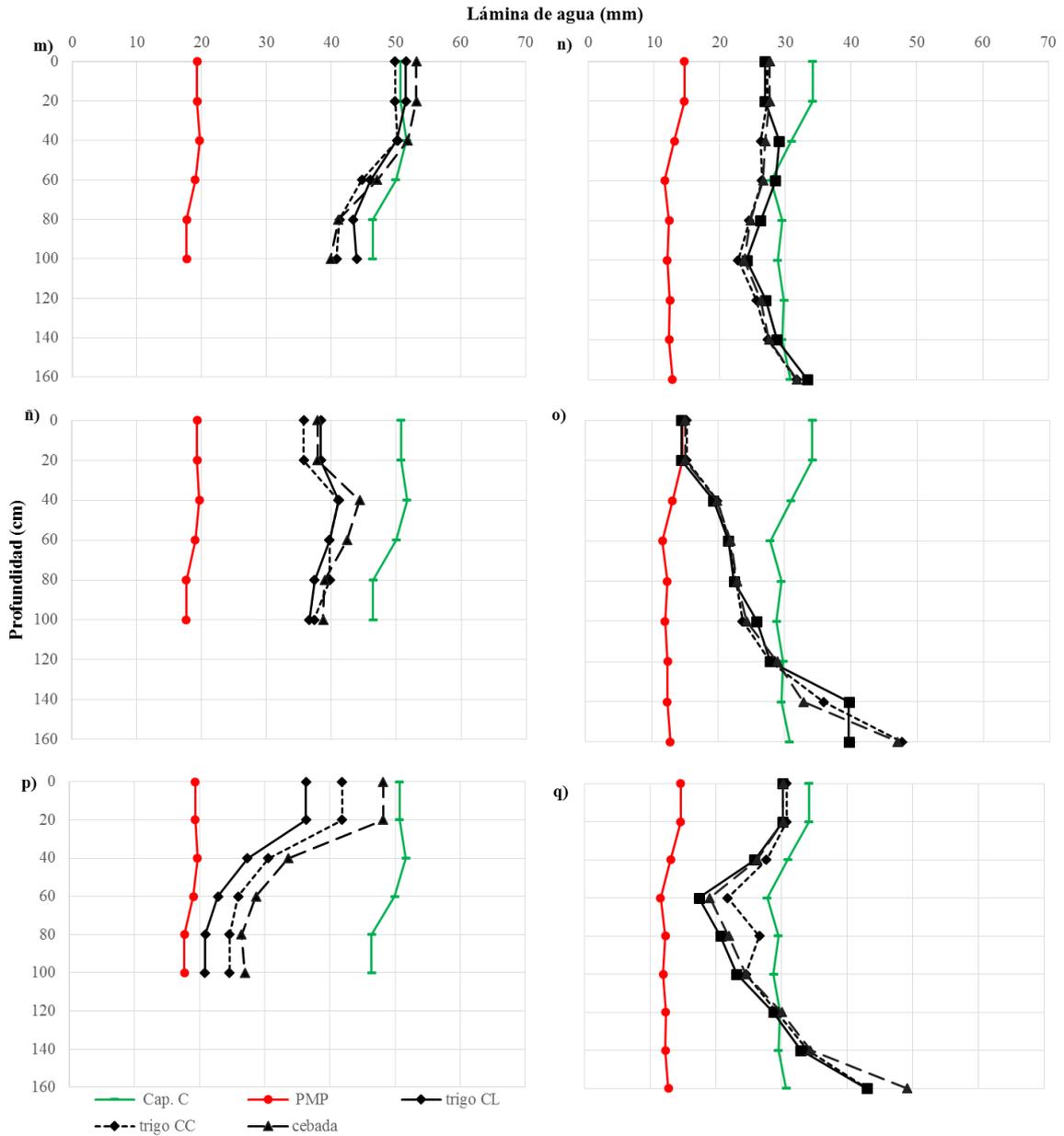


Figura 4.8. Lámina de agua en el perfil del suelo en la campaña 2014 de los trigos ciclo intermedio-largo (CL); trigos ciclo corto (CC) y cebada, en los estados m) Z0; ñ) Z6 y p) Z9 en Paleustol, y n) Z0 o) Z6 y q) Z9 en Ustipsammet.

4.3.4 Resultados Paleustol

Indicadores en floración

Existió interacción variedad*campaña en las variables medidas a floración; IAF_f , MS_f , TCC_{v-f} y EUA_{MS_f} ; dichos resultados se presentan por campaña en la Tabla 4.6. Se debe tener en cuenta que hubo ciertas diferencias en el estado fenológico en el cual se midió

AF y MS_f en las distintas campañas. En 2012 se realizó alrededor de Z4.5, poco después del momento en que el cultivo alcanza su máxima AF (Z3.9), mientras que la medición se atrasó a Z6 y comienzos de Z7 en 2013 y 2014 respectivamente. Entonces, el mayor IAF_f del 2012 pudo estar en parte relacionado al estado fenológico. En cambio, el resto de las variables, MS_f, TCC_{v-f} y EUA_{MS_f}, fueron ampliamente superiores en 2014, lo cual pudo deberse al invierno más húmedo y con menor frecuencia de heladas.

En cuanto a las variedades, no se hallaron diferencias de IAF_f entre grupos de calidad de trigo (Tabla 2.2 Anexo II), aunque sí entre ciclos, ya que los CC tuvieron menor IAF_f que los CL en 2012 y 2014, cuando los contrastes fueron significativos ($p < 0,05$). La cebada se asemejó a los trigos CL en 2012, con IAF_f de 7,39 y a los cortos en 2014. En la campaña 2013 no se hallaron diferencias entre variedades (Tabla 4.6). La producción de MS_f en 2012 tampoco diferenció grupos de calidad de trigo ni cebada. En 2013 las cebadas produjeron 2300 kg ha⁻¹ más de MS_f que los trigos (Tabla 2.2 Anexo II). Por el contrario, en 2014 la producción de cebada fue baja respecto a los trigos, particularmente Scarlett que tuvo valores significativamente menores (Tabla 4.6). En esta variable no hubo diferencias claras entre ciclos de trigo aunque tanto en 2012 como 2014 se destacó el trigo CL 3. Los trigos CC mostraron en general TCC_{v-f} similares a cebada y mayores que los CL, en tanto que los contrastes entre calidades de trigos no fueron significativos (Tabla 2.2 Anexo II). Las cebadas se destacaron en 2013, acorde con la MS_f, con TCC_{v-f} de alrededor de 13 g m⁻² día⁻¹. Debe destacarse que el trigo CL 1 y SC presentaron los menores valores en los años húmedos (Tabla 4.6). La EUA_{MS_f} siguió la tendencia de producción de MS_f. Los contrastes para EUA_{MS_f} entre grupos de calidad de trigo no fueron significativos en ninguna de las campañas, si bien en 2012 el CL 3 superó en 5 kg ha⁻¹ mm⁻¹ al CL 1. Las cebadas fueron más eficientes que los trigos sólo en 2013, no obstante, SC presentó un valor inferior a los mismos en 2014 (Tabla 2.2 Anexo II y Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Índice de área foliar (IAF_f), materia seca (MS_f), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de cada variedad en el Paleustol. Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades dentro de cada campaña.

Variedad	IAF _f	MS _f (kg ha ⁻¹)	TCC _{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA _{MS_f} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2012				
CC 1	4,8 b	4784 bc	13,5 a	16,3 ab
CC 3	4,2 b	4202 c	11,7 abc	14,5 ab
CL 1	7,6 a	4371 bc	9,3 c	13,7 b
CL 3	7,5 a	5990 a	13,0 ab	18,8 a
MP	6,7 a	5365 ab	12,0 ab	17,1 ab
SC	8,1 a	4808 bc	10,4 bc	15,3 ab
2013				
CC 1	2,5 a	4161 b	11,3 a	18,7 c
CC 3	2,5 a	4304 b	11,6 a	19,2 c
CL 1	3,2 a	4389 b	8,3 b	20,7 bc
CL 3	3,8 a	4332 b	8,3 b	20,3 bc
MP	3,5 a	6864 a	13,6 a	30,9 a
SC	3,1 a	6343 a	12,5 a	24,5 b
2014				
CC 1	3,1 b	9290 ab	17,6 a	31,5 a
CC 3	4,5 ab	9176 ab	17,3 ab	31,2 a
CL 1	5,4 a	9738 ab	14,9 bc	30,2 a
CL 3	5,0 a	10243 a	16,0 abc	31,9 a
MP	4,4 ab	8927 b	18,4 a	29,8 ab
SC	3,0 b	7305 c	13,6 c	24,7 b
<i>DMS</i>	1,8	1146	2,7	4,8

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Por otra parte, el AFE_f y el LN TAN_{v-f} (variable transformada para cumplir los supuestos del ANOVA) no presentaron interacción variedad*campaña. Los resultados mostraron diferencias significativas entre años para ambas variables (datos no presentados). La campaña 2013 presentó la menor AFE_f y la mayor TAN_{v-f} (media retransformada) (9,5 g m⁻² día⁻¹), mientras lo opuesto ocurrió en 2012 con valores de 3,7 g m⁻² día⁻¹, dándose la situación intermedia en 2014. En el promedio de los años se evidenció una mayor AFE_f en cebada, promediando los 290 cm² g⁻¹, con TAN_{v-f} coincidentes con la media de los trigos. Entre éstos no hubo diferencias por calidad pero sí contrastes significativos entre ciclos, correspondiendo a los CC los valores más bajos de AFE_f ($p < 0,01$) y la mayor TAN_{v-f} ($p < 0,0001$) (Figura 2.6 Anexo II).

En promedio de las campañas 2013 y 2014 se observó menor porcentaje de CRA en las cebadas, con 64% respecto a los trigos que presentaron 77%. En cambio, no hubo diferencias en la temperatura del canopeo (datos no presentados).

Indicadores en madurez fisiológica

En la Figura 4.9 se presentan MS_{mf} , MS_r y $EUA_{MS_{mf}}$ que tuvieron significativa interacción variedad*campaña ($p < 0,0001$; $p = 0,0053$; $p = 0,0002$ respectivamente) pero no hubo efecto de la fertilización. En la campaña 2012 se observó un buen comportamiento de los trigos CC en cuanto a producción de MS_{mf} y $EUA_{MS_{mf}}$, siendo significativamente superiores al CL 3. El volumen de rastrojo varió de 5840 a 8310 kg ha⁻¹. Los contrastes no mostraron diferencias con cebada ni entre grupos de calidad de trigo. En 2013 el volumen de MS decayó respecto a las otras campañas, y se observó un mejor comportamiento de cebada respecto a los trigos, al igual que en floración. Los contrastes entre trigos no fueron significativos. La MS_r fue similar para todos los cereales y rondó los 3500 kg ha⁻¹. Por último, en 2014 ocurrió lo contrario, con evidente mayor producción de MS y $EUA_{MS_{mf}}$ de trigos respecto a cebada. Además, no existieron contrastes significativos entre grupos o ciclos de trigo. En dicha campaña los trigos alcanzaron los valores más altos de $EUA_{MS_{mf}}$ de este suelo, sin embargo las cebadas mantuvieron entre 23 y 26 kg ha⁻¹ mm⁻¹ durante los 3 años.

El ANOVA de IC dio $p < 0,1$ para los factores campaña y variedad. La variación entre campañas fue mínima, con el mayor valor en 2012 (0,38) y el menor en 2013 (0,35). Entre variedades, se diferenció estadísticamente la cebada MP de los trigos, con IC de 0,40 y 0,35 en promedio respectivamente.

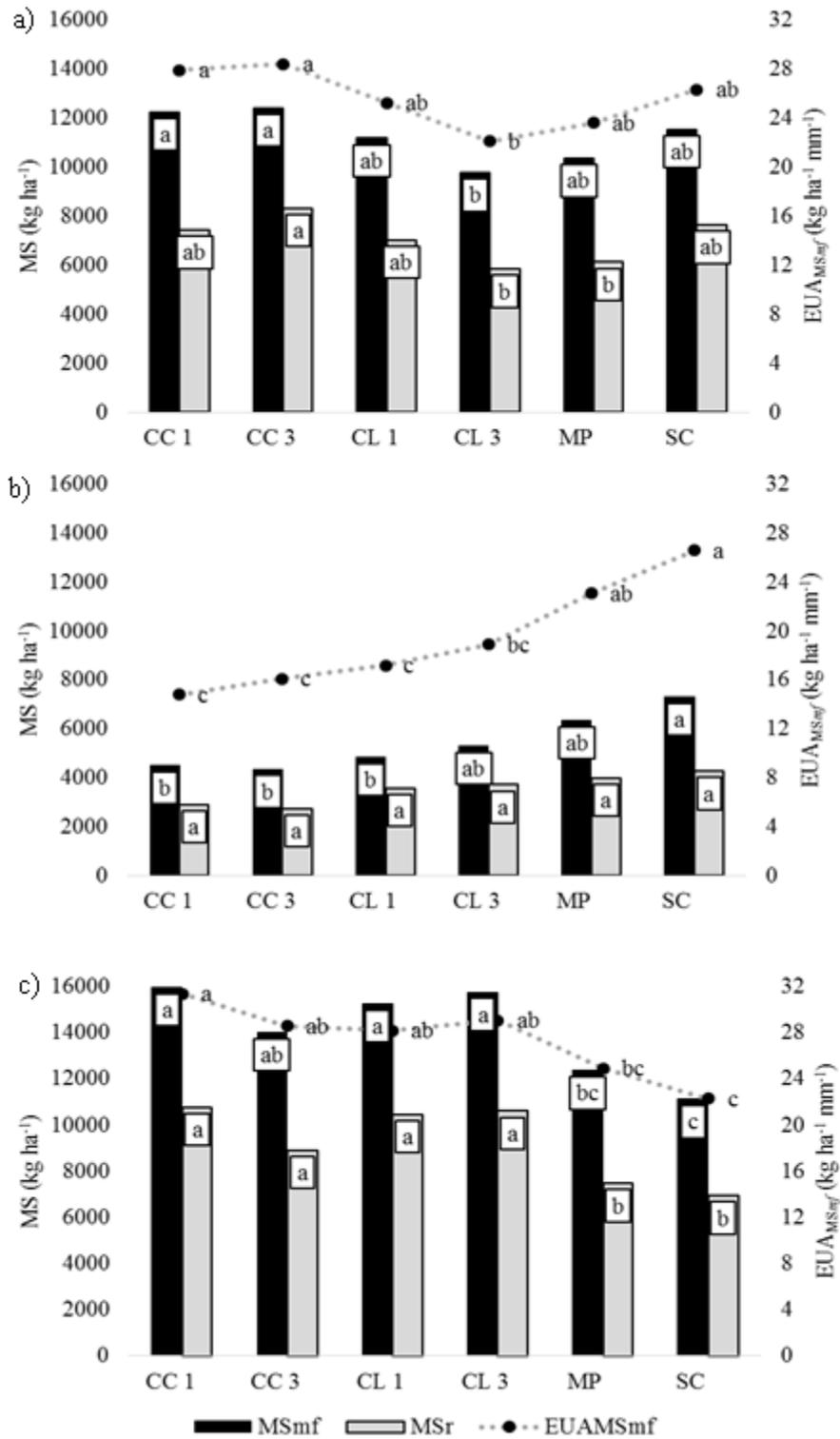


Figura 4.9. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca de los residuos (MS_r) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} (EUAMS_{MSmf}) de cada variedad en el Paleustol. En las campañas a) 2012, b) 2013 y c) 2014.

Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades dentro de cada campaña (LSD $p < 0,05$).

La información de las principales variables fisiológicas obtenida en los 3 años de ensayos en el Paleustol se resumió en un ACP de los datos estandarizados, cuyo biplot se presenta en la Figura 4.10. La CP 1 explicó el 60,8 % de la variabilidad de los datos, separando principalmente los trigos CC de los CL, mientras las variedades de cebadas tuvieron una posición intermedia. Las variables que definieron esta componente fueron el rendimiento, la TAN v - f y el IC en sentido positivo, y el IAF f en oposición a las anteriores. Es decir, que en este suelo el rendimiento se correlacionó positivamente con el IC ($r=0,93$) y la TAN v - f ($r=0,94$) pero negativamente con el IAF f ($r=-0,86$). Los trigos CC, en particular el CC 1, se asociaron a elevados rindes, IC y TAN v - f , mientras que los trigos CL presentaron los mayores IAF f . Por otra parte, a la CP 2 le correspondió el 31,4 % de la variabilidad de los datos estandarizados, y estuvo direccionada por el AFE f y la MS f . Dichas variables no tuvieron relación con el rendimiento de los cereales. En este sentido se diferenció la cebada MP de SC y los trigos, al relacionarse con altos valores de MS f y AFE f .

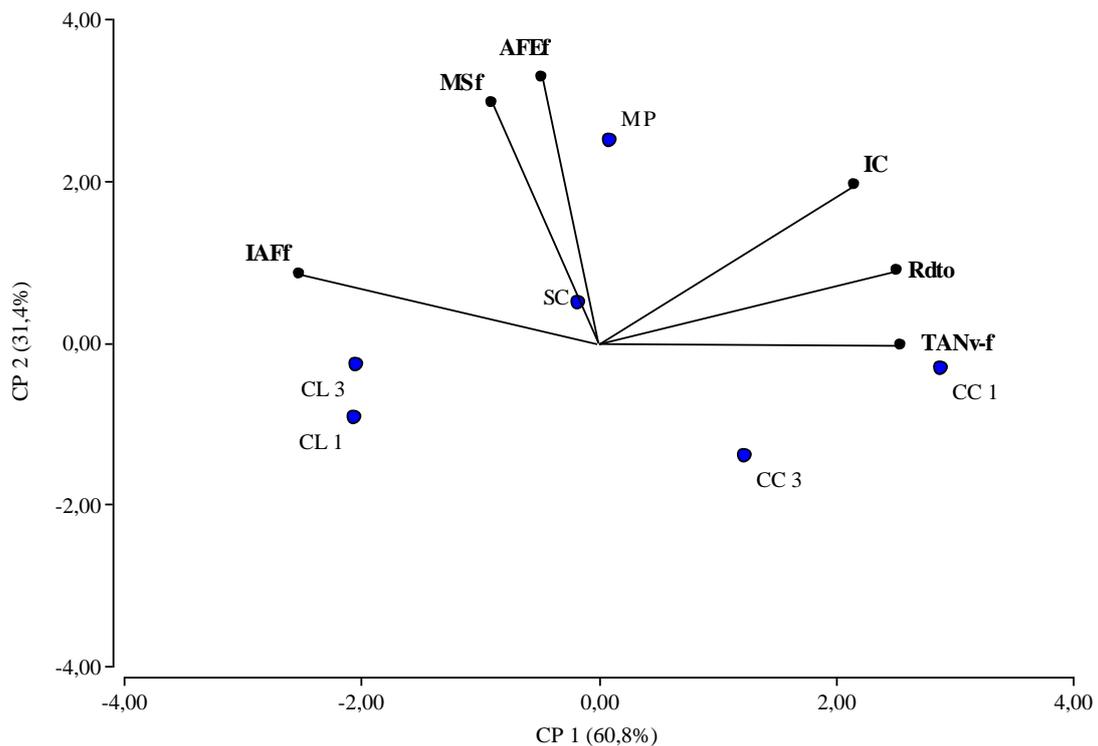


Figura 4.10. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de variables fisiológicas en el Paleustol. Las variables fueron: Rendimiento (Rdto), índice de área foliar (IAF f), materia seca en floración (MS f), área foliar específica en floración (AFE f), tasa de asimilación neta (TAN v - f) e índice de cosecha (IC).

Rendimiento, EUA, componentes del rendimiento

El rendimiento y la EUA presentaron interacción triple (variedad*campaña*fertilización), por lo cual, los resultados de las variedades figuran en la Tabla 4.7 clasificados por campaña, al igual que los contrastes entre calidades en la Tabla 2.3 del Anexo II. Rendimiento y EUA estuvieron estrechamente relacionados, dado la mínima diferencia en UC entre las distintas variedades y tratamientos de fertilización. En 2012, el trigo CC 1 tuvo el mayor rendimiento y EUA entre los fertilizados, superando los 5000 kg ha⁻¹, seguido por el CC 3 y la cebada MP. El CL 3 y SC fueron los de menores rendimientos fertilizados, lo que pudo estar influenciado por la incidencia de enfermedades foliares. Respecto a las calidades, los trigos grupo 1 presentaron mayor rendimiento y EUA que los de grupo 3 y cebada (Tabla 3 Anexo II). Además, los trigos CC fertilizados rindieron en promedio casi 1000 kg ha⁻¹ más que los CL.

Los CC presentaron respuesta favorable a la fertilización con un incremento de producción que promedió los 550 kg ha⁻¹. En el CL 3 en cambio, la fertilización disminuyó significativamente el rendimiento, lo cual podría tener su explicación en la presencia de roya en este cultivar.

Las diferencias entre variedades en el tratamiento sin aplicación de nutrientes fueron menores, siendo en este caso el CC 3 el de menor producción. Asimismo, aunque los trigos grupo 1 rindieron más, no hubo diferencias entre grupos de trigo en EUA ni entre éstos y cebada (Tabla 3 Anexo II).

En la campaña 2013 el rendimiento y el UC en el Paleustol fue menor que en las otras campañas (Figura 4.5). Las cebadas se comportaron significativamente mejor que los trigos, como se observó en las variables fisiológicas presentadas con anterioridad, e incluso presentaron EUA similares a los otros años. Entre ellas hubo una notable mayor EUA de SC. En el tratamiento fertilizado no hubo diferencias de rendimiento entre trigos aunque sí en EUA, que fue superior en los CC. En esta campaña, no se observó respuesta a la fertilización en rendimiento, si bien, mejoró la EUA del CC 1 y por el contrario disminuyó la de cebada (Tabla 4.7). Entre los testigos hubo contrastes significativos entre calidades de trigo a favor de los pertenecientes al grupo 3 (Tabla 2.3 Anexo II), principalmente por las diferencias entre los CL.

La campaña 2014 fue la de mayores rendimientos pero con EUA similares a 2012, dado que el UC fue superior en 75 mm (Figura 4.5). La producción relativa de las variedades fue muy similar en el tratamiento fertilizado y testigo, y ninguna mostró diferencias

significativas entre ambos. En los contrastes se observa que los trigos alcanzaron en general más rinde que las cebadas a semejantes EUA, aunque fue particularmente SC la que redujo el promedio (Tabla 2.3 Anexo II y Tabla 4.7). Entre los trigos, el CL 1 fue inferior al resto en unos 400 kg ha⁻¹, sin embargo solo fue estadísticamente diferente de los CC en EUA.

En cuanto a los componentes del rendimiento, tanto los granos por m² como el PMG se correlacionaron con el rendimiento con un r de 0,94 y 0,77 respectivamente (p<0,0001). En la campaña 2013 se dieron los menores tamaños de granos, oscilando entre 22-26 g para los trigos y 35-36 g las cebadas. En cambio en las campañas más húmedas las cebadas alcanzaron PMG de 40-45 g y los trigos 33-39 g, con los máximos pesos en 2014 (Tabla 2.4 Anexo II).

Tabla 4.7. Rendimiento en grano (Rdto_{0%}) y eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Variedad	Rdto _{0%} (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
CC 1	5057 a (A)	4559 a (B)	11,5 a (A)	10,4 a (A)
CC 3	4339 b (A)	3736 b (B)	9,9 b (A)	8,6 b (A)
CL 1	3955 bc (A)	4313 a (A)	8,9 bcd (A)	9,8 ab (A)
CL 3	3473 d (B)	4376 a (A)	7,8 d (B)	9,9 ab (A)
MP	4246 b (A)	4219 ab (A)	9,5 bc (A)	9,9 ab (A)
SC	3712 cd (A)	4145 ab (A)	8,1 cd (B)	9,7 ab (A)
2013				
CC 1	1800 c (A)	1367 bc (A)	6,8 b (A)	4,9 cd (B)
CC 3	1689 c (A)	1512 bc (A)	6,5 b (A)	5,4 cd (A)
CL 1	1383 c (A)	1135 c (A)	4,9 c (A)	4,0 d (A)
CL 3	1448 c (A)	1737 b (A)	5,1 c (A)	6,2 c (A)
MP	2218 b (A)	2716 a (A)	7,8 b (B)	9,9 b (A)
SC	2921 a (A)	2925 a (A)	10,0 a (B)	12,1 a (A)
2014				
CC 1	5231 a (A)	5190 a (A)	10,3 a (A)	10,2 a (A)
CC 3	5186 a (A)	5201 a (A)	10,2 ab (A)	10,2 a (A)
CL 1	4824 ab (A)	4773 abc (A)	8,9 bc (A)	8,8 bc (A)
CL 3	5278 a (A)	5038 ab (A)	9,8 abc (A)	9,3 abc (A)
MP	5176 a (A)	4635 bc (A)	9,9 abc (A)	9,8 ab (A)
SC	4448 b (A)	4263 c (A)	8,7 c (A)	8,2 c (A)
<i>DMS</i>	<i>491</i>		<i>1,39</i>	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre variedades y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD p<0,05).

El número de granos por m^2 varió junto con el rendimiento, y aumentó con la fertilización sólo en los trigos CC (variedad*fertilización $p < 0,0055$). Salvo en la campaña 2013, los trigos tuvieron mayor número de granos que las cebadas, con mínimas diferencias entre sí (Tabla 2.4 Anexo II). Este componente surge del NEM y NGE, los cuales se representaron para cada campaña en la Figura 2.7 del Anexo II. El NGE fue siempre más alto en trigos respecto a cebada, dadas las características morfogénicas de las espigas. En la campaña 2012 el NEM fue relativamente más importante que el NGE, resultando mayor en los trigos CC, que alcanzaron un promedio de 500 espigas m^{-2} (Figura 2.7 Anexo II). Por el contrario, en 2013 las cebadas alcanzaron las 500 espigas m^{-2} muy superior a los trigos que apenas superaron las 300 espigas m^{-2} en promedio. Dicho año, además las espigas fueron más pequeñas y el NGE fue más similar entre especies, con trigos de 22-26 granos por espiga y 20 en cebada. La última campaña, se caracterizó por trigos con más de 400 espigas por m^2 , excepto el CL1, NGE similares a superiores que en 2012 y mayor PMG. Las cebadas se diferenciaron entre sí principalmente en el NEM, que fue mayor en MP que produjo 480 espigas m^{-2} .

Parámetros de calidad de grano

En trigo se determinó el porcentaje de proteína y PH de los granos, los cuales se plasmaron en la Figura 4.11. Dichos indicadores se utilizaron para establecer la cotización final de los granos obtenidos en cada tratamiento. Las diferencias entre variedades en PH y proteína cambiaron en las distintas campañas, aunque el CL 1 siempre mantuvo los mejores valores de ambos parámetros. Los mayores PH se lograron en la campaña 2014 y los más bajos en 2013. El CL 1 se diferenció significativamente de las otras variedades en las tres campañas, en 2013 incluso fue el único que superó los 75 $kg\ hl^{-1}$ necesarios para aplicar bonificación por contenido proteico (Punto 11.2.2 del estándar de trigo pan). El CC 1 en cambio, no alcanzó PH superiores a los trigos grupo 3 en ninguna de las campañas. En los años de elevados rindes, 2012 y 2014, se evidenció la mayor acumulación de proteína en grano de los trigos pertenecientes al grupo 1 de calidad, que superaron en 1,5 a 2,8 puntos a los del grupo 3. Estos últimos tuvieron descuentos en 2014 ya que presentaron 9 % de proteína. Por el contrario, en la campaña 2013, se observaron contenidos proteicos excepcionales, que promediaron 16,4 % en todas las variedades y con menores diferencias entre las mismas.

La fertilización disminuyó el PH sólo en la campaña 2012 (campaña*fertilización $p=0,0018$). Por otro lado, el efecto del agregado de urea sobre la proteína en grano sólo fue significativo para los trigos CL, con un incremento promedio de 0,6 puntos (variedad*fertilización $p=0,0043$).

En cebada se determinaron varias características de calidad para estipular si sería aceptada por maltería o se debía cotizar como forrajera. De los 12 tratamientos analizados en este suelo, sólo 3 casos cumplieron con todos los requisitos de la maltería. Para representar la variabilidad de los datos estandarizados se realizó un ACP (Figura 4.12). La CP 1 explica el 52,9 % de la variabilidad separando principalmente la cebada producida en 2013 de la de 2012 y 2014. Hacia la izquierda de la CP 1 se proyecta la proteína en grano y en sentido contrario el calibre sobre zaranda de 2,5 mm. Los tratamientos del año 2013 se relacionaron con alto contenido proteico, que superó el 16 % por lo cual quedaron fuera de estándar para cervecera. La cebada MP tendió a concentrar más proteína que SC y las parcelas fertilizadas presentaron 1 % más que los testigos aproximadamente. En esta misma campaña el calibre fue de alrededor de 50 %, con más de 10 % de material bajo zaranda de 2,2 mm, por lo cual tampoco alcanzó los requerimientos de la industria. En las campañas 2012 y 2014, el contenido proteico estuvo dentro de los límites de maltería (entre 9,5 y 13 %), con promedios de 12,1 % en 2012 y 11,4 % en 2014. Existieron muy pocas diferencias entre variedades y alrededor de 0,5 puntos de aumento de concentración proteica en los fertilizados. No obstante, el tratamiento fertilizado de SC 2012 y ambos MP de 2014, tuvieron calibre por debajo del 80 %. La fertilización disminuyó el calibre en todos los casos analizados aunque fue más notorio en 2012 y 2013.

Por otro lado, la CP 2 explicó el 34,7 % de la variabilidad, diferenciando principalmente las campañas 2012 y 2014. Las variables con más influencia en esta componente fueron capacidad germinativa y PH, aunque tuvieron escasa asociación entre sí. En general los tratamientos tuvieron capacidad germinativa mayor al 95 % de tolerancia para cebada cervecera, con excepción de la cebada MP en 2012. Respecto al PH, que se suele requerir en cebada forrajera, todos superaron los 62 kg hl⁻¹, salvo un caso (SC 2012 fertilizado). Los valores más altos se obtuvieron en 2014, con más de 67 kg hl⁻¹. Los tratamientos fertilizados solían presentar menor PH.

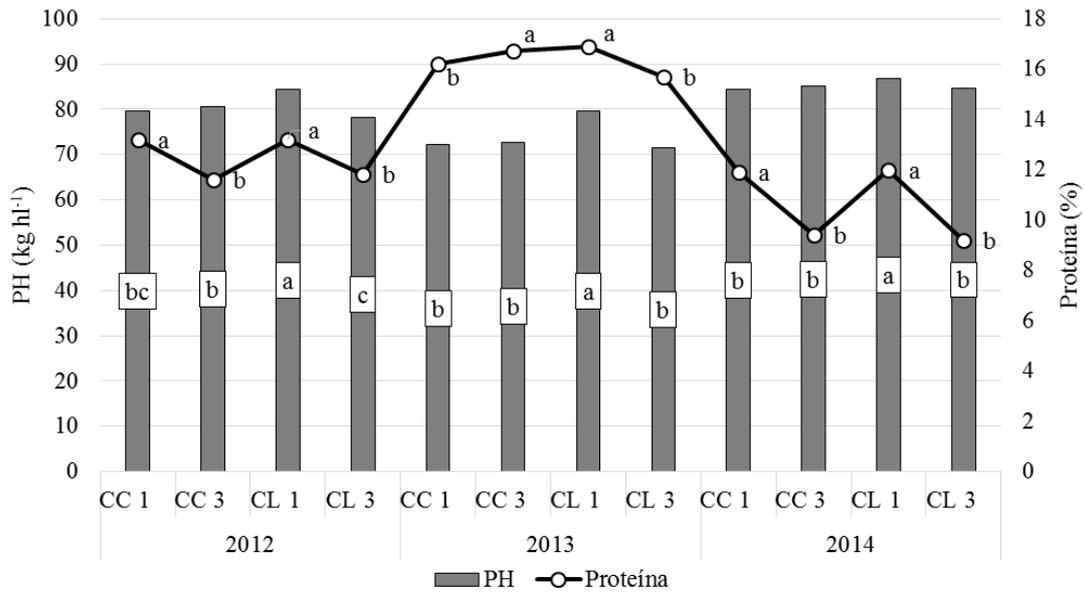


Figura 4.11. Peso hectolítrico (PH) y proteína de las variedades de trigo en las tres campañas en el Paleustol.
Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades dentro de cada campaña (LSD $p < 0,05$).

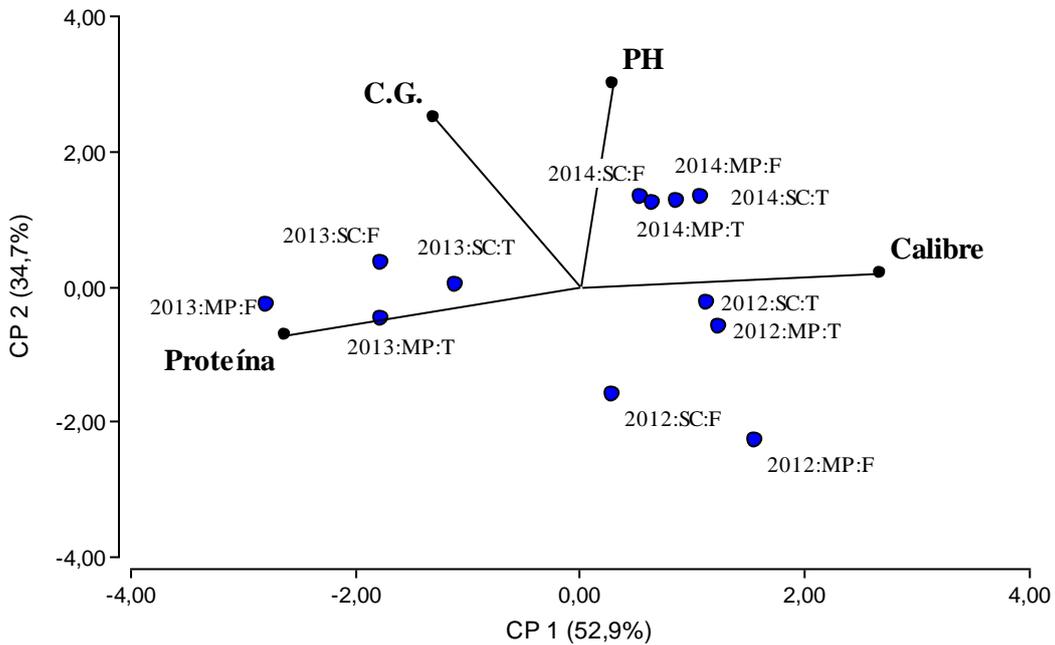


Figura 4.12. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de calidad de cebada en el Paleustol. Las variables fueron: Proteína (%), capacidad germinativa (C.G.), Peso hectolítrico (PH) y calibre (sobre zaranda de 2,5 mm).

Índices económicos

El precio final (con bonificaciones y descuentos) que se obtuvo en cada variedad de trigo y cebada en las tres campañas en el Paleustol se muestra en la Figura 2.8 del Anexo II. En la campaña 2012 los precios fueron similares entre trigos y cebadas, entre 220 y 230 u\$ tn^{-1} , los trigos de grupo 1 se cotizaron 7 u\$ tn^{-1} por encima de los 3. Al año siguiente, el precio para cebada forrajera cayó a 161 u\$ tn^{-1} mientras la cotización del trigo fue de 225 u\$ tn^{-1} . Entre estos, el CL 1 tuvo bonificaciones por proteína que aumentaron en 25 u\$ su precio en relación al resto, los cuales dado el PH bajo no bonificaron. En la última campaña el precio tanto de trigo como cebada forrajera descendieron a alrededor de 140 u\$, por lo cual se destacó SC que se cotizó como cervecera a 180 u\$. Las diferencias entre grupos de trigo fueron otra vez, de alrededor de 7 u\$ dadas las bonificaciones por contenido proteico.

Las diferencias entre variedades en PEA y MB cambiaron según campaña y fertilización, y son presentados en la Tabla 4.8. En el tratamiento fertilizado del año 2012, ambos índices económicos fueron significativamente superiores en el CC 1. Continuaron los trigos CC 3, CL 1 y cebada MP, mientras que CL 3 y SC presentaron los valores más bajos. Entre los testigos el CC 3 tuvo la menor PEA con 1,91 u\$ $\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ y no hubo diferencias entre el resto de los trigos y las variedades de cebada. En el MB se destacó nuevamente el CC 1 junto a los trigos CL, las cebadas presentaron valores intermedios y el CC 3 el más bajo. De esta forma, los trigos grupo 1 presentaron mejores resultados económicos que los trigos 3 y cebada tanto en el tratamiento fertilizado como testigo (Tabla 2.5 Anexo II). Por otra parte, la fertilización disminuyó la PEA del trigo CL 3 y SC, como ocurrió con la EUA, y aumentó la de CC 3. El MB bajó al aplicar fertilizantes, siendo las diferencia significativas en los trigos CL y cebada, con disminuciones que promediaron los 200 u\$ ha^{-1} .

En la campaña 2013 los índices económicos fueron más bajos que el año anterior dado los menores rindes y caída de precio en cebada (Tabla 4.4). Los trigos CC y SC fertilizados presentaron las mayores PEA, si bien entre los testigos sobresalieron las cebadas seguidas de los trigos grupo 3 (Tabla 2.5 Anexo II). El MB fertilizado fue bajo en general, con pocas diferencias entre variedades a excepción de SC y CL 3 (Tabla 4.8). Las parcelas testigo tuvieron mejor resultado económico, SC se distinguió nuevamente con 230 u\$ ha^{-1} . Asimismo, en los contrastes los trigos del grupo 1 presentaron los

menores márgenes entre los testigos en esta campaña, aunque su comportamiento mejoró cuando se fertilizaron (Tabla 2.5 Anexo II).

Finalmente, en 2014 si bien los rindes fueron los mejores, los precios estuvieron bajos, por lo tanto, los parámetros económicos fueron menos favorables que en 2012. No hubo diferencias entre variedades en PEA ni entre tratamientos de fertilización. Nuevamente el MB fue menor al fertilizar, con más de 100 u\$s ha⁻¹ de diferencia. Los márgenes de los testigos fueron similares entre variedades, pero en los fertilizados SC tuvo el mayor margen, diferenciándose de la otra cebada y de CC 3. Cabe resaltar, que las parcelas de SC presentaron calidad adecuada para maltería alcanzando un precio 40 u\$s superior a MP. Si bien los contrastes no fueron estadísticamente significativos, se puede observar un MB alrededor de 30 u\$s mayor de los trigos grupo 1 y cebada respecto a los trigos 3 (Tabla 2.5 Anexo II).

Tabla 4.8. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Variedad	PEA (u\$s ha ⁻¹ mm ⁻¹)		MB (u\$s ha ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
CC 1	2,66 a (A)	2,41 a (A)	672 a (A)	707 a (A)
CC 3	2,23 b (A)	1,91 b (B)	493 b (A)	524 c (A)
CL 1	2,08 b (A)	2,25 a (A)	464 b (B)	666 a (A)
CL 3	1,77 c (B)	2,22 a (A)	336 c (B)	648 ab (A)
MP	2,08 b (A)	2,17 a (A)	443 b (B)	564 bc (A)
SC	1,78 c (B)	2,26 a (A)	346 c (B)	563 bc (A)
2013				
CC 1	1,54 ab (A)	1,09 d (B)	43 ab (A)	75 c (A)
CC 3	1,45 abc (A)	1,21 cd (A)	20 ab (B)	104 bc (A)
CL 1	1,22 cd (A)	1,01 d (A)	24 ab (A)	91 c (A)
CL 3	1,15 d (A)	1,40 bc (A)	-6 b (B)	181 ab (A)
MP	1,25 bcd (B)	1,59 b (A)	21 ab (B)	134 bc (A)
SC	1,61 a (B)	1,95 a (A)	81 a (B)	230 a (A)
2014				
CC 1	1,52 a (A)	1,51 a (A)	277 ab (B)	401 a (A)
CC 3	1,43 a (A)	1,45 a (A)	222 b (B)	363 a (A)
CL 1	1,33 a (A)	1,29 a (A)	261 ab (B)	362 a (A)
CL 3	1,37 a (A)	1,30 a (A)	250 ab (B)	345 a (A)
MP	1,39 a (A)	1,38 a (A)	215 b (B)	333 a (A)
SC	1,53 a (A)	1,48 a (A)	311 a (B)	414 a (A)
DMS	0,27		84	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre variedades y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD $p < 0,05$).

4.3.5 Resultados Ustipsamment

Indicadores en floración

Contrario a lo ocurrido en el Paleustol, en este suelo, las diferencias entre variedades en AFEf, MSf, TCCe-f y EUA_{MSf} fueron las mismas en las 3 campañas (Tabla 4.9). Los valores más altos de MSf, TCCe-f y EUA_{MSf} se registraron en 2014 y los más bajos en 2012. Por otra parte, la mayor AFEf tuvo lugar en 2013, con 238 cm² g⁻¹. La cebada presentó los mayores valores de AFEf y fue significativamente diferente a los trigos, como se observa en los contrastes de la Tabla 2.6 del Anexo II. Entre estos los CC tuvieron menor AFEf que los CL. La MSf también fue diferente especialmente entre trigo y cebada, ya que los trigos superaron los 4000 kg ha⁻¹ mientras que la cebada generó en promedio 3400 kg ha⁻¹ (Tabla 2.6 Anexo II). Cabe resaltar que la cebada MP produjo significativamente más MSf que SC (Tabla 4.9). La TCCe-f fue superior en los trigos CC, aunque no hubo diferencias entre calidades. SC presentó la TCCe-f más baja en el promedio de los años. También los trigos tuvieron mayor EUA_{MSf} respecto a cebada (Tabla 2.6 Anexo II), en particular frente a SC. Dentro de los trigos no hubo contrastes significativos entre calidad, dado que las mayores diferencias se dieron entre los del grupo 1, con un valor relativamente bajo para el CL 1 (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Área foliar específica (AFEf), materia seca (MSf), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MSf}), en floración de cada variedad en el Ustipsamment.

Variedad	AFEf (cm ² g ⁻¹)	MSf (kg ha ⁻¹)	TCCe-f (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA _{MSf} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
CC 1	204 c	4518 a	11,0 a	17,76 a
CC 3	207 bc	4214 ab	9,5 b	16,44 ab
CL 1	217 b	4045 ab	7,1 c	14,79 b
CL 3	214 b	4503 a	8,1 c	16,30 ab
MP	248 a	3759 b	7,3 c	14,49 b
SC	246 a	3133 c	6,0 d	12,11 c
DMS	11,31	522	1,1	2,23

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Por otra parte, IAFf, TAN_{v-f} y CRA sí presentaron interacción variedad*campaña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.10. Si bien el IAFf fue muy similar entre años, en

2014 se hallaron los menores valores, lo cual, al igual que en el Paleustol, puede deberse al estado fenológico más avanzado de los cultivos al momento de la medición. En la 1ª campaña, los trigos CL tuvieron los mayores valores de IAF_f, con un promedio de 3,0. Los trigos CC y cebadas no difirieron significativamente entre sí y los grupos de calidad de trigo fueron iguales ($p=0,1381$). En el año de menores precipitaciones, se destacaron por su área foliar el CL 3 y MP, mientras no hubo diferencias entre los demás cultivares. En el 2014 la variación de área foliar entre variedades fue mínima, distinguiéndose el bajo índice de SC.

Tabla 4.10. Índice de área foliar (IAF_f), tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) y contenido relativo de agua (CRA) de las distintas variedades de trigo y cebada en las tres campañas en el Ustipsamment.

Variedad	IAF _f	TAN _{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	CRA (%)
2012			
CC 1	2,4 bc	5,0 ab	sd
CC 3	1,8 c	7,2 a	sd
CL 1	2,7 ab	4,0 bc	sd
CL 3	3,3 a	4,4 bc	sd
MP	1,7 c	4,4 bc	sd
SC	2,2 bc	3,4 c	sd
2013			
CC 1	2,2 b	13,9 a	0,70 a
CC 3	2,0 b	13,2 a	0,69 a
CL 1	2,2 b	7,3 b	0,70 a
CL 3	3,9 a	6,0 b	0,73 a
MP	3,4 a	6,9 b	0,61 b
SC	1,7 b	8,4 b	0,54 c
2014			
CC 1	1,8 ab	9,9 bc	0,81 b
CC 3	1,9 a	11,2 ab	0,84 ab
CL 1	2,1 a	7,9 c	0,88 a
CL 3	1,9 a	10,1 bc	0,86 ab
MP	1,7 ab	8,6 c	0,84 ab
SC	1,1 b	13,4 a	0,84 ab
DMS	0,76	2,51	0,06

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p<0,05$).

La TAN_{v-f} del 2012 fue la más baja en promedio, los trigos CC presentaron valores más altos que el resto, en especial el CC 3. Lo mismo se observó al año siguiente, aunque las diferencias fueron más claras aún, ya que los trigos CC tuvieron casi el doble de la TAN_{v-}

f de los trigos CL y cebada, superando los $13 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. No obstante, en la campaña 2014 el mayor valor correspondió a SC. Ese año, tanto cebada como los trigos grupo 3 presentaron mayores TANv-f que los trigos grupo 1 (Tabla 4.10).

El CRA y la temperatura del canopeo fueron registrados en diferentes momentos según la campaña. En 2013 se observó en cebada menor CRA que en trigos, y en SC menos que en MP. En la última campaña, cuando se midió en plena floración y con alta disponibilidad de humedad, el CRA fue más elevado y sólo hubo diferencias significativas entre los trigos del grupo 1 (Tabla 4.10). No obstante, tanto campañas como variedades presentaron similares temperatura del canopeo ($p=0,2406$ y $p=0,7771$, respectivamente) con $23,8^{\circ}\text{C}$ en promedio.

Indicadores en madurez fisiológica

La MS_{mf} y $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$ estuvieron estrechamente relacionadas y tuvieron interacción variedad*campaña*fertilización y son exhibidos en la Tabla 4.11, con sus respectivos contrastes por calidad en la Tabla 2.7 del Anexo II. Si bien las diferencias no fueron amplias, las mayores producciones de MS finales se observaron en la campaña 2014 seguida de 2012. La $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$ también fue bastante estable, pero fue mayor en la campaña más seca, con una media de $21,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Los efectos de la fertilización fueron variables aunque más significativos en la producción de MS_{mf} que en la $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$.

En la 1ª campaña los trigos fertilizados generaron alrededor de 2500 kg ha^{-1} más de MS que la cebada, con diferencias algo menores en testigos. Los trigos CC fueron los de más producción y $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$, mientras que no hubo diferencias significativas entre calidades de trigo (Tabla 2.7 Anexo II). La cebada SC fue inferior a MP, especialmente en el tratamiento testigo. En este año, la fertilización aumentó la MS_{mf} sólo en los trigos CC 1 y CL 3, al tiempo que no causó efectos significativos en la $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$, si bien la mejoró en varios casos.

En el tratamiento fertilizado de la campaña 2013 se destacó MP, sin variaciones importantes entre los trigos. No obstante, los trigos CC cobraron importancia en ambas variables entre los testigos. Entre las cebadas, nuevamente MP presentó un comportamiento notablemente superior a SC (Tabla 4.11). Los contrastes entre grupos no resultaron significativos para MS_{mf} en ninguno de los tratamientos. En $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$ se observó que la cebada fertilizada alcanzó mayor valor que los trigos (Tabla 2.7 Anexo II).

Este año, la fertilización aumentó la producción de las variedades de trigos CL y cebada, mientras no afectó a los trigos CC.

Similar a lo ocurrido en 2012, en la última campaña los trigos originaron más biomasa y con más EUA_{MSmf} que las cebadas, principalmente con agregado de nutrientes. Nuevamente se debe resaltar la pobre producción de SC en este suelo (Tabla 4.11). Además, este año los trigos del grupo 1 alcanzaron mayores valores de $MSmf$ que los del grupo 3 con EUA_{MSmf} levemente superiores (Tabla 2.7 Anexo II). Se observó respuesta a la fertilización de los trigos en producción de $MSmf$, pero no fue significativa en cebada, incluso disminuyó la MS de SC. Los trigos CC fertilizados presentaron altas EUA_{MSmf} y significativamente mayores que las respectivas parcelas testigo (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Materia seca en madurez fisiológica ($MSmf$) y eficiencia de uso de agua para producción de $MSmf$ (EUA_{MSmf}) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Variedad	$MSmf$ (kg ha ⁻¹)		EUA_{MSmf} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
CC 1	9429 ab (A)	7893 ab (B)	22,2 a (A)	18,7 a (A)
CC 3	9529 a (A)	8457 a (A)	22,5 a (A)	20,0 a (A)
CL 1	7921 bc (A)	8007 ab (A)	17,4 b (A)	18,3 a (A)
CL 3	8936 ab (A)	7343 ab (B)	19,7 ab (A)	16,9 ab (A)
MP	6579 cd (A)	6943 b (A)	17,4 b (A)	18,2 ab (A)
SC	6050 d (A)	5215 c (A)	15,8 b (A)	13,6 b (A)
2013				
CC 1	6406 b (A)	6814 a (A)	21,3 b (A)	21,9 a (A)
CC 3	7069 ab (A)	7329 a (A)	23,6 b (A)	23,5 a (A)
CL 1	7603 ab (A)	5142 bc (B)	23,8 b (A)	17,2 b (B)
CL 3	6548 b (A)	4914 bc (B)	20,4 b (A)	16,6 b (A)
MP	8539 a (A)	6193 ab (B)	29,5 a (A)	22,3 a (B)
SC	6964 b (A)	4537 c (B)	23,8 b (A)	16,3 b (B)
2014				
CC 1	10065 ab (A)	8229 ab (B)	25,5 a (A)	20,3 ab (B)
CC 3	9613 bc (A)	7277 bc (B)	24,4 ab (A)	18,1 ab (B)
CL 1	11451 a (A)	9130 a (B)	22,4 ab (A)	21,1 a (A)
CL 3	9463 bc (A)	7870 abc (B)	21,1 ab (A)	18,6 ab (A)
MP	8409 c (A)	7549 abc (A)	20,6 b (A)	18,7 ab (A)
SC	5455 d (A)	6650 c (A)	13,3 c (A)	16,4 b (A)
<i>DMS</i>	1525		4,6	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre variedades y mayúsculas entre fertilizado y testigo ($LSD p < 0,05$).

El rastrojo que dejaron las distintas variedades de trigo y cebada se representó en la Figura 2.9 del Anexo II, junto con el IC, ambas variables no presentaron interacción entre factores. La mayor MSr se midió en 2014 con una media de 5340 kg ha^{-1} ($p=0,0002$), y en dicho año el IC fue el más bajo con $0,37$ ($p=0,0152$). El CL 1 y CC 3 dejaron en general más MSr que los demás, si bien no se diferenciaron estadísticamente de MP y CC 1. Asimismo, CL 3 y SC fueron los que menor volumen de rastrojo dejaron con 4170 y 3370 kg ha^{-1} respectivamente (Figura 2.9 Anexo II). La fertilización solo aumentó en promedio 350 kg ha^{-1} la MSr ($p=0,062$).

Las diferencias en IC fueron opuestas a las de MSr , ya que el CL 3 fue la variedad de mayor IC alcanzando $0,44$ seguido de SC. Por el contrario, el CL 1 tuvo el menor IC con $0,36$ (Figura 2.9 Anexo II). El efecto de la fertilización fue significativo incrementando el IC general de $0,38$ a $0,42$ ($p=0,0001$).

Tal como se realizó en el Paleustol (Figura 4.10), en la Figura 4.13 se presenta el biplot correspondiente al ACP de las variables fisiológicas y el rendimiento de los cereales en el Ustipsammet. La CP 1 explicó el $49,3 \%$ de la variabilidad de los datos estandarizados, separando a SC de MP y a CL 3 de los demás trigos. Estuvo determinada por el rendimiento, que en este caso se correlacionó positivamente con la MSf y el $IAFf$, y en dirección negativa participó el $AFEf$. El CL 3 tuvo en general los mayores $IAFf$, MSf y rendimiento en grano y SC los menores. En tanto que MP y los otros trigos estuvieron en una posición intermedia. Asimismo, las cebadas presentaron alta $AFEf$. La CP 2 explicó 33% de la variabilidad y separó principalmente a los trigos CC de los CL y cebada. Las variables que determinaron esta CP fueron la $TANv-f$ en dirección positiva, y el $IAFf$, $AFEf$ e IC en sentido contrario. Los trigos CC se asociaron a elevadas $TANv-f$, mientras que el CL 3 y las cebadas tuvieron los mayores IC. El CL 1 presentó escasa relación con las variables de este ACP.

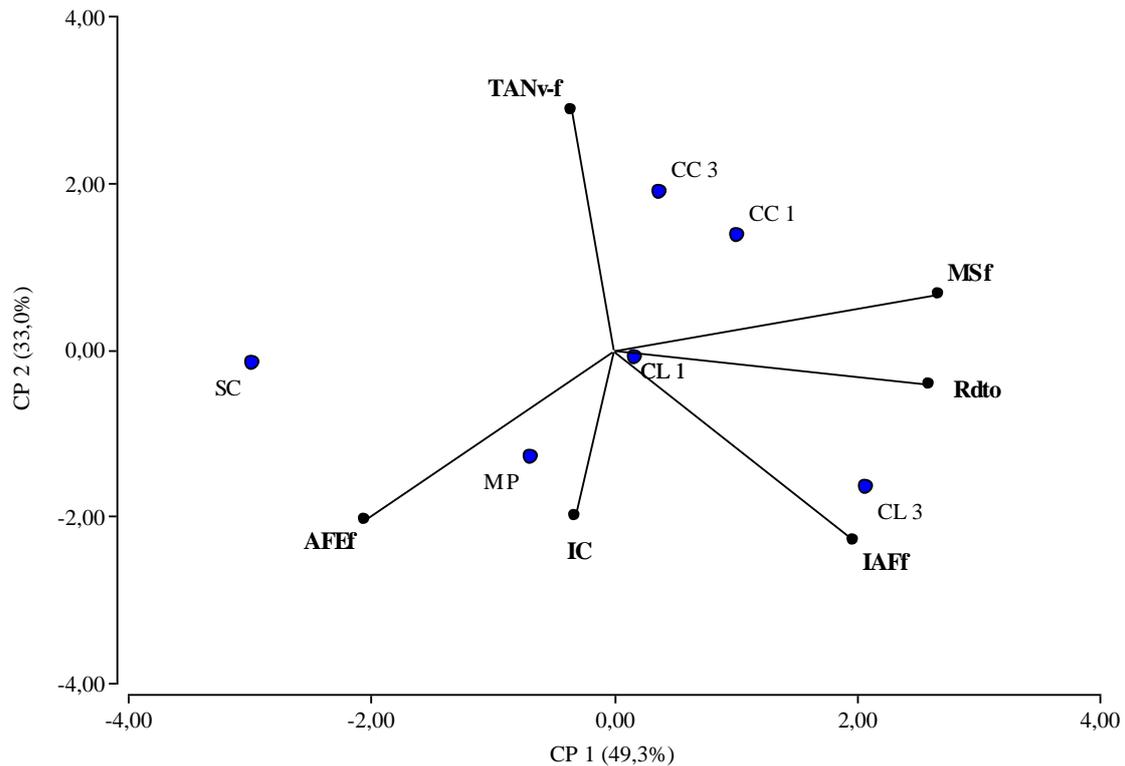


Figura 4.13. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de variables fisiológicas en el Ustipsammet. Las variables fueron: Rendimiento (Rdto), índice de área foliar (IAFf), materia seca en floración (MSf), área foliar específica en floración (AFEf), tasa de asimilación neta (TANv-f) e índice de cosecha (IC).

Rendimiento, EUA, componentes del rendimiento

El rendimiento en grano, EUA y granos por m² de las variedades en el Ustipsammet, se muestran para cada campaña en la Tabla 4.12. Los respectivos contrastes entre grupos figuran en la Tabla 2.8 del Anexo II. La interacción triple entre variedad, campaña y fertilización fue significativa para estas variables. A diferencia del Paleustol, las diferencias entre años fueron reducidas, con los más elevados rindes y números de granos m⁻² en 2012 y por el contrario, las mayores EUA en 2013. El mayor PMG en cambio, se alcanzó en 2014 y el menor en 2013. El ANOVA de este componente del rendimiento no presentó interacciones significativas, ni fue afectado por la fertilización ($p=0,7274$). Ambos componentes del rendimiento presentaron correlación significativa con el mismo, aunque con r muy distintos; 0,89 el número de granos y 0,21 el PMG.

Los resultados de la campaña 2012 mostraron al trigo CL 3 y los CC con los más altos rindes y EUA. Esto ocurrió tanto en fertilizados como testigos, si bien los CC disminuyeron más su producción en el tratamiento testigo respecto al CL 3. Este último

superó los 4000 kg ha⁻¹ en el tratamiento fertilizado. Por otra parte, el CL 1 y las variedades de cebada tuvieron rendimientos significativamente inferiores. Los resultados de número de granos estuvieron en correspondencia con el rinde (Tabla 4.12). Dada la amplia diferencia entre los trigos CL, los contrastes entre grupos de calidad fueron significativos. Asimismo, en el tratamiento fertilizado, los trigos rindieron entre 740 y 1200 kg ha⁻¹ más que la cebada, ambos con más granos m⁻² (Tabla 2.8 Anexo II). La fertilización, aumentó el número de granos y rendimiento de los trigos CC y CL 1 y también la EUA de los primeros. No obstante, los efectos en las otras variedades no fueron estadísticamente significativos.

Los cultivos con menores rindes en 2012, CL 1 y SC, lograron las mismas producciones en el tratamiento fertilizado de la campaña 2013 pero con más número de granos y de menor peso. Los trigos CC fertilizados, fueron los que más disminuyeron el rendimiento respecto a la campaña anterior, aunque también mantuvieron el número de granos por m². Se evidenció entonces una importante disminución del PMG en este año. Entre los fertilizados, nuevamente, el CL 3 fue el cultivar más rendidor, junto a CL 1 y la cebada MP. Esta última rindió más que la campaña anterior, registrando la mayor EUA de todos los tratamientos en el Ustipsammet. En general, la EUA de este año fue alta en el tratamiento fertilizado, y si bien hubo diferencias estadísticas, los valores de los cultivares no fueron tan dispares (Tabla 4.12). Los contrastes no muestran diferencias entre calidades de trigo pero las cebadas fueron más eficientes en el uso de agua que los trigos grupo 1. El ordenamiento de los cultivares en el tratamiento testigo fue muy distinto al fertilizado. Aquí, los CC rindieron más que los demás, ya que no cambiaron el rendimiento y número de granos con la disponibilidad de nutrientes, como sí ocurrió con los otros cultivares (Tabla 4.12). Tampoco hubo diferencias entre calidades de trigo, que superaron a las cebadas principalmente por la baja producción de SC (Tabla 2.8 Anexo II).

En el último año, todas las variedades, con excepción de SC, respondieron considerablemente a la fertilización, con diferencias de alrededor de 1000 kg ha⁻¹ en rendimiento. Otra vez el CL 3 se destacó en rendimiento, junto con la cebada MP y el CC 3 en el tratamiento fertilizado (Tabla 4.12). Así los trigos grupo 3 presentaron más rendimiento que los grupo 1, aunque las diferencias en EUA y granos por m² no fueron estadísticamente significativas (Tabla 2.8 Anexo II). Por otro lado SC volvió a tener el menor rinde, notablemente distinto a MP. Ambas cebadas presentaron el más bajo números de granos. En los testigos, las diferencias entre variedades fueron menores, de

modo que no hubo contrastes significativos en $Rd_{to0\%}$ y EUA, con promedios de 2500 kg ha^{-1} y 6 kg $ha^{-1} mm^{-1}$ respectivamente (Tabla 2.8 Anexo II). Entre ellos, MP presentó el mayor rinde y EUA aunque con número de granos moderado y alto PMG (47 g).

Tabla 4.12. Rendimiento en grano ($Rd_{to0\%}$), eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) y granos por m^2 (granos m^{-2}) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Variedad	$Rd_{to0\%}$ (kg ha^{-1})		EUA (kg $ha^{-1} mm^{-1}$)		granos m^{-2}	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012						
CC 1	3890 a (A)	3212 b (B)	9,2 a (A)	7,6 ab (B)	10266 a (A)	8458 b (B)
CC 3	3821 a (A)	3216 b (B)	9,0 a (A)	7,6 ab (B)	9349 ab (A)	8069 bc (B)
CL 1	3068 b (A)	2501 c (B)	6,7 b (A)	5,8 c (A)	8435 b (A)	6941 cd (B)
CL 3	4066 a (A)	3824 a (A)	8,9 a (A)	8,8 a (A)	10309 a (A)	10011 a (A)
MP	2591 b (A)	2694 c (A)	6,7 b (A)	7,0 bc (A)	5806 c (A)	5958 d (A)
SC	2880 b (A)	2551 c (A)	7,5 b (A)	6,7 bc (A)	6914 c (A)	6078 d (A)
2013						
CC 1	2915 b (A)	2679 ab (A)	9,7 bc (A)	8,6 ab (A)	9464 ab (A)	8511 a (A)
CC 3	2843 b (A)	2807 a (A)	9,5 bc (A)	9,0 a (A)	9230 ab (A)	8502 a (A)
CL 1	3016 ab (A)	1896 cd (B)	9,4 c (A)	6,4 cd (B)	9950 a (A)	5857 bc (B)
CL 3	3424 a (A)	2212 bc (B)	10,7 ab (A)	7,5 bc (B)	10057 a (A)	6531 b (B)
MP	3284 ab (A)	1987 cd (B)	11,3 a (A)	7,2 c (B)	8412 bc (A)	5130 cd (B)
SC	2824 b (A)	1539 d (B)	9,7 bc (A)	5,5 d (B)	7840 c (A)	4489 d (B)
2014						
CC 1	3323 b (A)	2514 abc (B)	8,5 ab (A)	6,2 ab (B)	8572 ab (A)	6548 ab (B)
CC 3	3521 ab (A)	2239 bc (B)	8,9 a (A)	5,6 b (B)	8555 ab (A)	5478 bc (B)
CL 1	3370 b (A)	2569 abc (B)	7,5 bc (A)	6,1 ab (B)	8947 ab (A)	6848 a (B)
CL 3	3852 a (A)	2698 ab (B)	8,6 ab (A)	6,4 ab (B)	9542 a (A)	6497 ab (B)
MP	3710 ab (A)	2838 a (B)	9,1 a (A)	7,0 a (B)	7849 b (A)	6047 abc (B)
SC	2673 c (A)	2203 c (A)	6,6 c (A)	5,5 b (A)	6424 c (A)	5123 c (B)
<i>DMS</i>	480		1,3		1260	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre variedades y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD $p < 0,05$).

En el promedio de las campañas, la cebada presentó mayor PMG que los trigos con diferencias entre variedades (MP 43,6 g y SC 39,7 g). Asimismo, los trigos grupo 3 tuvieron mayor tamaño de granos que los trigos grupo 1 con medias de 37,8 g y 35,5 g respectivamente.

El NEM en el Ustipsamment varió alrededor de 350 en todas las campañas, con el mayor valor en 2012, seguido de 2013. El NGE tuvo pequeñas variaciones entre campañas, siendo mayor en 2014 (Figura 2.10 Anexo II). De todos modos, hubo importantes

diferencias entre variedades en estas características. Como en el Paleustol, las cebadas presentaron bajo NGE en relación a los trigos. En 2012 las cebadas superaron las 400 espigas m^{-2} mientras los trigos rondaron las 365, algo más los CL con menor NGE. En 2013, MP, CL 1 y CC 1 produjeron los mayores NEM, con valores similares al año anterior. Sin embargo el NGE de CL 1 fue reducido en comparación a los demás trigos. El NEM en la campaña 2014 de las variedades de cebada, CL 3 y CC 1 fue el más bajo, aunque fue compensado por elevados NGE. En cambio, el CL 1 mantuvo más de 370 espigas por m^2 en las tres campañas, modificando el NGE. La fertilización no afectó el NGE pero incrementó el NEM.

Parámetros de calidad de grano

El PH y la proteína de las variedades de trigo en el Ustipsammet presentaron interacción campaña*variedad y se muestran en la Figura 4.14. El PH en este suelo siempre superó los 76 kg hl^{-1} , dándose los mayores valores en la campaña 2014. Esta propiedad no fue influenciada por la aplicación de nutrientes ($p=0,93$). El CL 1 tuvo siempre el PH más alto y por el contrario, el CC 1 estuvo dentro de los más bajos. El trigo CC 3, en cambio, mostró buenos PH en las tres campañas, mientras que el CL 3 tuvo un valor apreciable sólo en la última campaña.

Los valores de proteína se mantuvieron bastante estables en las tres campañas, alcanzando más de 10,5 % en todos los casos. Los trigos de grupo 1 tuvieron alrededor de dos puntos más de proteína que el grupo 3 del mismo ciclo, aunque en 2013 las diferencias fueron menores. En dicho año, ambos trigos CC concentraron más proteína que el CL 1 (Figura 4.14). El efecto de la fertilización en el porcentaje de proteína fue significativo en las campañas 2012 y 2013, principalmente en esta última cuando aumentó en 1 punto (campaña*fertilización $p<0,0001$). Asimismo, el CC 1 fue la variedad que más aumentó la proteína con fertilización (variedad*fertilización $p=0,0142$), por el contrario, no afectó la proteína del CL 3.

Con los datos estandarizados de calidad de cebada en el Ustipsammet se realizó un ACP, cuyo biplot se muestra en la Figura 4.15. Las dos primeras componentes explicaron el 74 % de la variabilidad total de los datos. La CP 1 explicó el 44,8 % de la variabilidad, separando los casos principalmente por campañas, de modo que la campaña 2013 se ubicó a la izquierda de 2012 y 2014. En esta CP la variable de mayor proyección positiva fue el calibre, con moderada participación de la capacidad germinativa y proteína. De esta

manera, la cebada de la campaña 2013 presentó bajo calibre, menor al 80 % requerido para maltería, aunque promedió el 75 %, por lo que fue mejor que el del Paleustol el mismo año. En 2013 además se dio la menor capacidad germinativa, que de todos modos siempre superó el 96 %. En 2012 y 2014 el calibre fue alto, superando los requisitos de las malterías. Los casos de 2014 se separaron levemente en esta dirección, debido a que SC fertilizado presentó el calibre más bajo con 84,3 %.

Por otro lado la CP 2 explicó el 28,8 % de la variabilidad de los casos, y estuvo definida por el PH en sentido positivo y por la proteína en sentido negativo. Los tratamientos de la campaña 2012 se diferenciaron del resto por su mayor concentración de proteína. Estos sobrepasaron por poco 13 % de proteína, por lo cual, a pesar de su buen calibre, se cotizaron como forrajeras. Además, las variedades de este año también se distanciaron verticalmente porque MP presentó un PH de 59, el más bajo de este suelo. En la campaña 2013 se separaron los tratamientos fertilizados de testigos por su mayor contenido proteico. Los 4 casos del año 2014 fueron los únicos aptos para maltería, ya que además de buen calibre, concentraron entre 11 y 12 % de proteína. Además, presentaron los mayores PH con valores de 67 y 68 kg hl⁻¹.

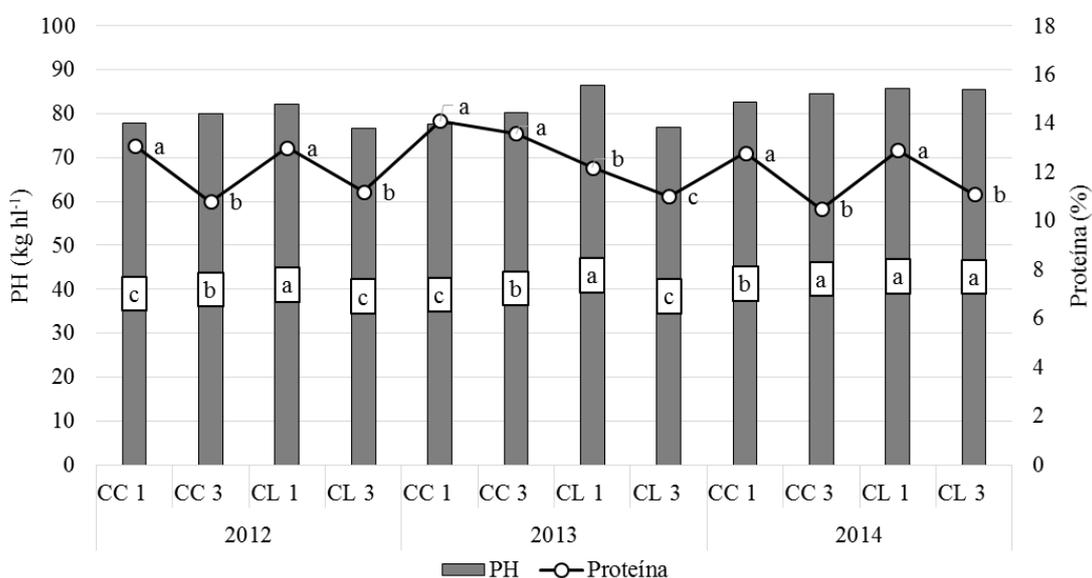


Figura 4.14. Peso hectolítrico (PH) y proteína de las variedades de trigo en las tres campañas en el Ustipsammet.

Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades dentro de cada campaña (LSD $p < 0,05$).

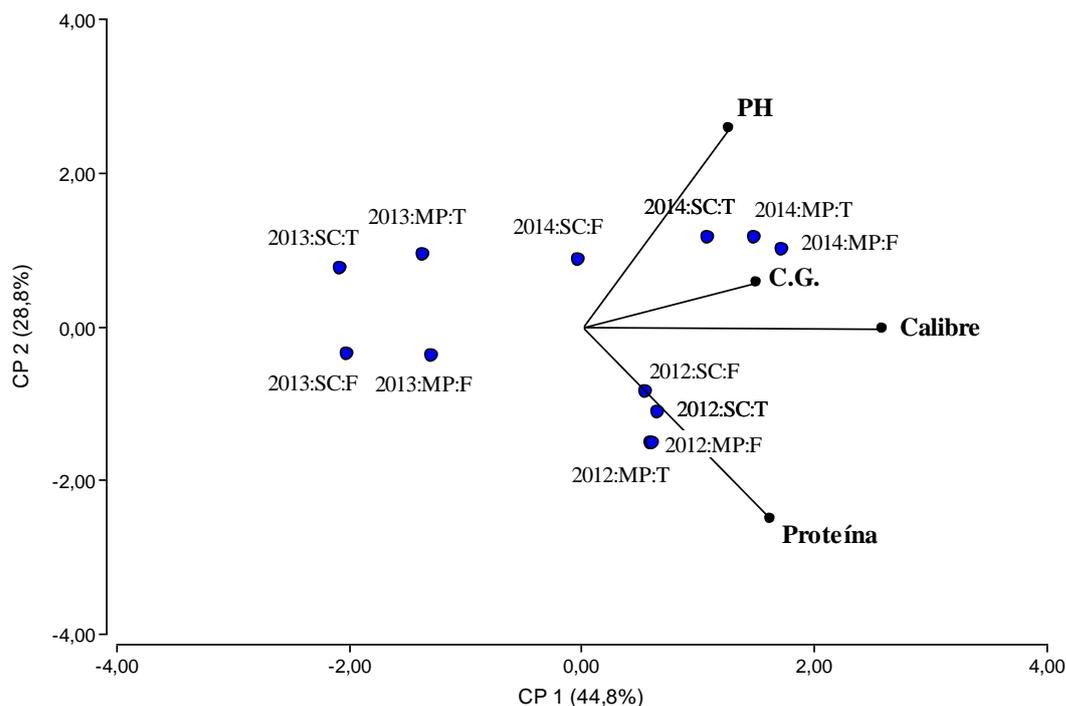


Figura 4.15. Gráfico biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de calidad de cebada en el Ustipsammet. Las variables fueron: Proteína (%), capacidad germinativa (C.G.), peso hectolítrico (PH) y calibre (sobre zaranda de 2,5 mm).

Índices económicos

Los precios finales de las variedades de trigo y cebada en el Ustipsammet se exhiben en la Figura 2.11 del Anexo II. En la campaña 2012 ocurrió lo mismo que en el Paleustol, con precios de 220 u\$s en cebada (forrajera) y pocos dólares por encima para trigo. En este suelo la diferencias entre grupos de calidad de trigo fue de 8-10 u\$s en favor del grupo 1. En 2013, los precios de los trigos fueron mayores al Paleustol ya que bonificaron por proteína dado que el PH fue superior a 75 kg hl⁻¹. Ambos trigos CC cotizaron a 238 u\$s debido a su alta concentración de proteína, mientras que el CL 1 alcanzó 231 u\$s, 8 u\$s más que el CL 3. Este año se dio la mayor bonificación de fertilizados respecto a testigos con 5 u\$s promedio. Como se aclaró anteriormente, el precio del trigo descendió en 2014 oscilando entre 140 y 150 u\$s tn⁻¹. Los trigos 1 superaron en 6 u\$s la cotización de los del grupo 3. No obstante, la cebada de este año cotizó como cervecera por lo que ambas variedades obtuvieron un precio promedio de 185 u\$s.

Las diferencias en PEA y MB entre variedades cambiaron en cada campaña y según fertilización (Tabla 4.13). En la 1ª campaña los mejores índices económicos del tratamiento fertilizado los tuvieron los trigos CC y el CL 3. El CL 1 no se diferenció de las cebadas en PEA aunque sí mejoró su MB. De esta manera, en los contrastes

presentados en la Tabla 2.9 del Anexo II, las cebadas resultaron menos rentables que los trigos. Cuando no se fertilizó las diferencias de PEA entre variedades no fueron tan notables dado que disminuyó significativamente la PEA de los CC, de modo que no se diferenciaron de las cebadas. Sin embargo, el CL 3 mantuvo la mayor PEA en contraste con el CL 1 que tuvo la más baja. El MB del CL 3 testigo fue el más alto en todas las campañas con $567 \text{ u\$s ha}^{-1}$, seguido de los trigos CC como en el tratamiento fertilizado. Los menores MB correspondieron al CL 1 y ambas cebadas, por lo que los contrastes fueron favorables a los trigos grupo 3 (Tabla 2.9 Anexo II). La fertilización disminuyó el MB del CL 3 y cebada, si bien no modificó el de los demás trigos.

En la campaña 2013, nuevamente los trigos tuvieron mejores PEA y MB que las cebadas, tanto fertilizados como testigos (Tabla 2.9 Anexo II). Asimismo, MP tuvo mayor PEA que SC. El trigo CL 3 fertilizado alcanzó el mayor MB, pero los CC fueron superiores tanto en PEA como MB en el tratamiento testigo (Tabla 4.13). La PEA en general fue mayor en el tratamiento fertilizado, como también ocurrió con el MB de los trigos CL que se incrementó en $135 \text{ u\$s ha}^{-1}$ respecto al testigo (Tabla 4.13).

Los índices económicos de los trigos en la campaña 2014 fueron los más bajos, debido a la caída de precios. El impacto en cebada fue menor al cotizar como cervecera. MP logró las mayores PEA y MB tanto en el tratamiento fertilizado como testigo. Se diferenció del resto en alrededor de $150 \text{ u\$s ha}^{-1}$. SC, en cambio tuvo márgenes similares a los trigos. Salvo CL 1 y SC, los demás aumentaron la PEA con la fertilización. El MB en cambio no fue influenciado significativamente por el agregado de nutrientes. (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada variedad en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Variedad	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)		MB (u\$ ha ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
CC 1	2,14 a (A)	1,75 ab (B)	436 a (A)	423 b (A)
CC 3	2,00 a (A)	1,67 bc (B)	375 a (A)	390 b (A)
CL 1	1,55 b (A)	1,32 d (A)	275 b (A)	295 c (A)
CL 3	1,97 a (A)	1,97 a (A)	377 a (B)	567 a (A)
MP	1,49 b (A)	1,54 bcd (A)	125 c (B)	286 c (A)
SC	1,66 b (A)	1,47 cd (A)	181 c (B)	258 c (A)
2013				
CC 1	2,34 a (A)	2,03 a (B)	324 b (A)	377 a (A)
CC 3	2,27 a (A)	2,11 a (A)	302 b (B)	397 a (A)
CL 1	2,19 a (A)	1,46 b (B)	342 ab (A)	220 b (B)
CL 3	2,43 a (A)	1,63 b (B)	409 a (A)	258 b (B)
MP	1,82 b (A)	1,15 c (B)	129 c (A)	73 c (A)
SC	1,56 c (A)	0,89 d (B)	67 c (A)	13 c (A)
2014				
CC 1	1,28 b (A)	0,92 b (B)	69 b (A)	86 bc (A)
CC 3	1,29 b (A)	0,79 b (B)	64 b (A)	40 c (A)
CL 1	1,13 b (A)	0,92 b (A)	88 b (A)	120 b (A)
CL 3	1,24 b (A)	0,93 b (B)	119 b (A)	115 bc (A)
MP	1,69 a (A)	1,30 a (B)	259 a (A)	245 a (A)
SC	1,21 b (A)	1,00 b (A)	91 b (A)	141 b (A)
<i>DMS</i>	0,25		78	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre variedades y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD $p < 0,05$).

A modo de síntesis, se presentan en la Figura 4.16 los biplot correspondientes al ACP de cada suelo con los datos estandarizados de rendimiento, EUA e índices económicos. En ambos, las dos primeras componentes explicaron más del 96 % de la variabilidad total de los datos. Para el Paleustol (Figura 4.16a), la CP 1 comprendió el 63,5 % de la variabilidad y separó el CC 1 y cebadas de los trigos CC 3 y CL. Las variables rendimiento, EUA y PEA contribuyeron a la generación de variabilidad entre los cereales en esta componente. El trigo CC 1 y los cultivares de cebada se correlacionaron positivamente con dichas variables en el promedio de los tres años. Por otra parte, la CP 2 explicó el 33 % de la variabilidad de los datos en el Paleustol y estuvo definida por el precio final y MB. En este eje se separaron los trigos del grupo 1 de los del grupo 3 y las variedades de cebada se separaron entre sí. El CC 1 se asoció a alto MB, mientras el CL 1 presentó el mejor precio, en cambio los trigos grupo 3 no se destacaron en resultados económicos. La

cebada MP fue la más alejada de los índices económicos, SC tuvo MB y PEA mayores a MP, fundamentalmente por los resultados del año 2013 y por lograr calidad cervecera en 2014.

En el Ustipsamment (Figura 4.16b), el 80,7 % de la variabilidad de los datos se explicó con la CP 1, que diferenció los trigos CC y CL 3 de las cebadas y CL 1. En esta componente se proyectaron en dirección positiva las variables: PEA, MB, rendimiento y EUA. Cabe destacar que en este suelo existió mayor correlación entre MB y rendimiento que en el anterior. Aquí los trigos CC y el CL 3 se relacionaron a mayores rindes y resultados económicos respecto a cebada y CL 1. Entre estos últimos, la cebada SC fue la más distante a las variables mencionadas. La CP 2 explicó mucho menos variabilidad que la CP 1 (16,5 %), siendo las observaciones mejor separadas en este eje, el CL 1 de CL 3 y MP. El precio final fue la variable de mayor participación en esta componente, la cual no se correlacionó con el resto de las variables. De este modo, el CL 1 y en menor medida el CC 1 se asociaron a los mayores precios en el Ustipsamment, al igual que en el Paleustol.

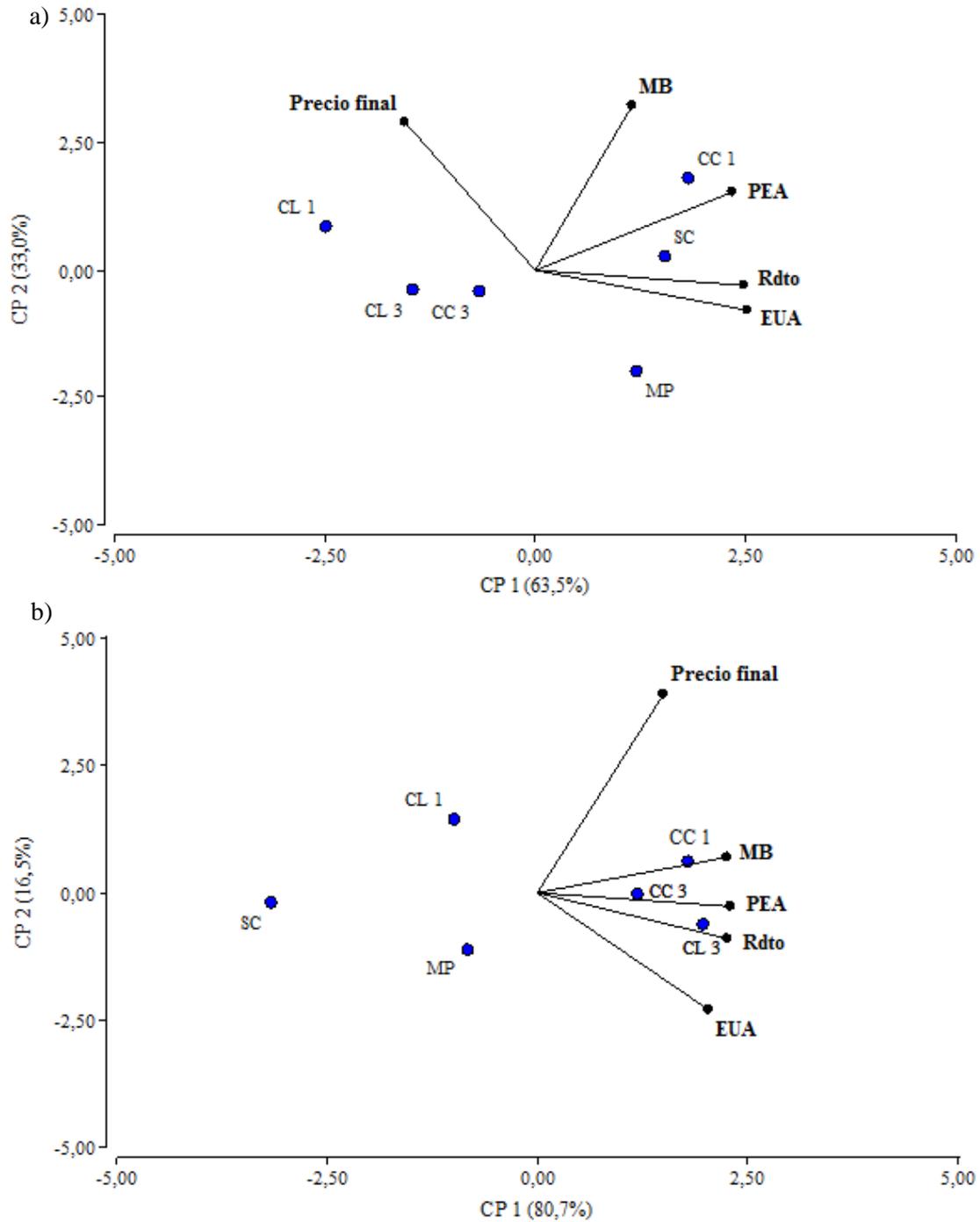


Figura 4.16. Gráficos biplot del análisis de componentes principales obtenido con los datos estandarizados de producción e índices económicos en a) Paleustol y b) Ustipsamment. Las variables fueron: Rendimiento en grano (Rdto), eficiencia de uso de agua (EUA), precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB).

4.4 Discusión

4.4.1 *Análisis económico de los cultivos*

La producción de cereales con mercados diferenciados, tal como cebada, o con atributos de calidad como los trigos del grupo 1 de calidad industrial, no produjo mejoras evidentes de la rentabilidad en la RSP. Se ha señalado que los resultados económicos dependen tanto de la producción física de los cultivos como del precio alcanzado por los mismos (Molden *et al.*, 2010). No obstante, las bonificaciones por proteína en trigo no fueron suficientes para compensar la menor producción de las variedades con alto contenido proteico y PH, respecto a trigos del grupo 3 de calidad industrial. Asimismo, el precio de cebada cervecera relativo a cebada forrajera o trigo no todos los años fue ventajoso. La mayor diferencia en la cotización de cebada se produjo en 2014, cuando el grano destinado a maltería se pagaba 40 u\$s más que el forrajero (Tabla 4.4). Las relaciones de precios entre ambas especies son poco previsible ya que el mercado de cereales estuvo sometido a una gran volatilidad, por causas internas y externas, por ejemplo la restricción a la exportación de trigo, pan y harina de trigo durante la segunda mitad del año 2013 (Bragachini *et al.*, 2017). De tal forma que el precio del trigo cayó en 2014, y en cebada en 2013 y 2014.

Por otra parte, en el caso de la cebada, fue poco probable obtener granos que cumplan con todos los requisitos de calidad exigidos por las malterías y alcanzar así un mejor precio. Los inconvenientes más comunes fueron bajo calibre y/o elevada concentración proteica, siendo las condiciones climáticas de las campañas el factor más influyente en los mismos. De esta manera, fue en 2014, con condiciones hídricas favorables durante todo el ciclo, cuando el mayor número de tratamientos logró cumplir con los estándares de calidad. Cabe recordar que estas condiciones tienen menos de 10 % de probabilidad de ocurrir en la RSP (Figura 4.3). Entonces, la producción de cebada cervecera en la RSP, está supeditada a una mayor flexibilización de las exigencias de las malterías, tal que disminuya el riesgo comercial, el cual se suma al riesgo climático inherente.

La cebada tampoco sobresalió en volumen de producción frente a trigo de modo que cotizando como forrajera pueda ser más competitiva, a excepción de la campaña seca en el Paleustol. El precio de cebada forrajera suele estar por debajo del precio del trigo, y es altamente dependiente del volumen de producción nacional. Sin embargo, si la demanda

de cebada aumentara y, por lo tanto si elevara su cotización, se convertiría en una buena opción en el Paleustol, donde demostró mejor competitividad que en el Ustipsamment.

En cuanto al trigo, las variedades del grupo 1 tuvieron un precio superior a los del grupo 3, sin embargo la diferencia fue de sólo 7 u\$s en promedio. Esta bonificación no fue suficiente para compensar el menor rinde de las variedades del grupo 1 por lo cual, sólo fueron ventajosas económicamente cuando asemejaron al rendimiento del grupo 3. De esta manera, el CL 1, fue el trigo de peores resultados económicos en el Ustipsamment, mientras se igualó al CL 3 en el Paleustol, donde la brecha de rendimiento fue menor. El CC 1 resultó más conveniente ya que su alto porcentaje de proteína no perjudicó su rendimiento relativo al CC 3 en ninguno de los suelos. Tampoco fue superado significativamente por el CL 3 en el Paleustol, en consecuencia, allí el CC 1 generó frecuentemente los mayores valores de MB y PEA.

El hecho de que los resultados económicos de los cereales sean considerablemente dependientes del rendimiento, reafirma la necesidad de incrementar la EUA de los cultivos para mejorar la sustentabilidad, que incluye tanto el beneficio económico como ambiental (Passioura y Angus, 2010). Por otra parte, indica la dificultad de lograr mayores rentabilidades por el uso de materiales con calidad diferenciada y pone en duda, si el esquema de bonificaciones actual es adecuado para las condiciones agro-ecológicas de esta región. No obstante, si bien el sistema de bonificación ofrece poco incentivo a la producción de trigo de calidad, la realidad indica que en campañas de rindes elevados, con trigos de baja proteína en general, los trigos del grupo 3 son difíciles de colocar en el mercado local. Dicha peculiaridad se favoreció durante los años en que se impusieron restricciones a la exportación, que coincidieron con nuestros ensayos. Asimismo, la progresiva caída en el contenido proteico de los trigos argentinos (Molfese, 2016) y la falta de segregación del grano exportado, disminuye su precio al venderse como un commodity (Cuniberti y Mir, 2016; Pierbattisti, 2016). Por lo tanto, la producción de trigos de baja proteína implica un riesgo para el productor y perjuicio a la cantidad y valor de las exportaciones que no se ve reflejado en los índices económicos de este estudio. Es por ello que se ha remarcado la necesidad de organizar un sistema de segregación por nivel de proteína y/o grupos de calidad, que permita satisfacer la demanda de la industria y exportación, garantizando homogeneidad del producto al tiempo que mejoraría la rentabilidad de productores y acopiadores (Bragachini *et al.*, 2017; Cuniberti, 2016; Otamendi, 2004). Por ejemplo, Brasil, principal comprador del trigo argentino, requiere granos de trigo fuerte, correctores de los suyos, que dadas sus condiciones agroecológicas

son de calidad deficitaria (Abbate, 2016; Scholz, 2016). Por otro lado, la industria galletitera nacional requiere harinas de bajo gluten (Cuniberti y Menella, 2004). Los trigos no aptos para panadería también pueden utilizarse en la producción de bioetanol o en la fabricación de alimento balanceado para ganado (Bragachini *et al.*, 2017). Una vez ordenada la oferta y demanda de trigo, sería ventajoso conocer qué ambiente ofrece las mejores condiciones para producir determinada calidad, tal como se realizó en este estudio.

4.4.2 Efecto del suelo y ambiente sobre la productividad y calidad de los cultivos

Los dos suelos sobre los que se realizaron los ensayos brindaron distinta disponibilidad de humedad y nutrientes a los cultivos, a pesar de estar bajo las mismas condiciones meteorológicas. De esta forma, las importantes variaciones de las precipitaciones entre campañas afectaron el crecimiento de los cereales en el Paleustol pero en mucho menor medida en el Ustipsamment. Fernández (2007) en un estudio de 9 años en la RSP sobre un Paleustol halló que el ambiente, dado sólo por la fluctuación interanual de las condiciones climáticas, explica el 56 % de la variabilidad en el rendimiento de los cereales. Trabajos recientes en la región pampeana indican que el ambiente es el principal determinante de la calidad industrial del trigo, más allá del genotipo (Mir *et al.*, 2016; Molfese y Astiz, 2016). No obstante, la inestabilidad del rendimiento, EUA y calidad de los cereales puede ser atenuada en el suelo con influencia de napa, como se observó en este ensayo.

Quiroga *et al.* (2007) estimó requerimientos de 380-400 mm para trigo en la RSP, valores que coinciden con los máximos UC reportados por Fernández (2007) en condiciones similares. En coincidencia, Cossani *et al.* (2012) registraron en ambiente mediterráneo que el rendimiento de cebada y trigo no aumentaba significativamente con consumos de agua mayores a 400 mm. Dichos UC también se correspondieron con los mínimos UC registrados en este ensayo en los años 2012 y 2014 en los que las producciones fueron altas. En 2013 en cambio, la lluvia total y su distribución mensual fueron inferiores a la media de la región (Figuras 4.1 y 4.3), con 220 mm en el ciclo de los cereales y la humedad en la parte superior del perfil cercana a PMP entre Z6 y Z9 (Figura 4.7). Bajo estas condiciones, el Ustipsamment contó con las ventajas dadas por su profundidad que permite acumular agua en el perfil explorado por las raíces, su estabilidad interanual en contenido de AU a la siembra (Figura 4.2) y la menor fuerza de retención de agua en

condiciones de humedad cercanas a PMP (Figura 2.4) (Dardanelli *et al.*, 2004; Taboada *et al.*, 2002). Al respecto, Turner (2004) reportó en Australia mayor EUA de trigo en suelos arenosos respecto a arcillosos utilizando modelos de simulación. Sin embargo, en el Ustipsamment fue particularmente importante la influencia de napa a partir de los 120 cm del perfil (Figura 4.7), profundidad a la que acceden estos cereales, como fue comprobado en la evaluación de raíces de este ensayo y es apoyado por la bibliografía (Thorup-kristensen, 2009; Villar, 2001; White y Kirkegaard, 2010).

Por el contrario, el déficit hídrico de 2013 se tornó más crítico en el Paleustol, dada la menor capacidad de retención de agua por la limitación del manto calcáreo al metro de profundidad y la elevada fuerza de succión que deben realizar los cultivos para extraerla (Figura 2.4). En consecuencia, en dicha campaña, el rendimiento y EUA de los trigos fue más elevado en el Ustipsamment, en más de 1000 kg ha⁻¹ y 3 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Es decir que, mientras en el Paleustol el rendimiento de los cereales en la campaña 2013 cayó en 2600 kg ha⁻¹ respecto a las húmedas, sólo fue de 500 kg ha⁻¹ menos en el Ustipsamment. Este año además de haber mayor producción de MS en el suelo arenoso, el IC también fue considerablemente superior al del Paleustol (0,35 y 0,41), debido al mayor número y peso de los granos. Estos resultados pueden relacionarse a una equilibrada distribución del agua a lo largo del ciclo de los cultivos en el Ustipsamment, que tuvo lugar probablemente gracias al aporte no contabilizado de la napa (Figura 4.7). Passioura (1977) indicó que el UC ideal para trigo se distribuye 2/3 desde emergencia a antesis y 1/3 en llenado de granos, proporciones que se mantuvieron los tres años en el suelo con napa (Figura 4.5). El UC_{e-f} se relaciona con el número de granos (Entz y Fowler, 1990; Frederick y Camberato, 1995) y este componente fue muy superior en los tratamientos fertilizados del Ustipsamment, lo cual evidencia la influencia de la napa ya que por la disminución de humedad del perfil se estimó el mismo UC_{e-f} en ambos suelos. Igualmente, la mayor fracción de UC_{f-mf} en el Ustipsamment, se correlaciona positivamente con el IC y PMG (Debaeke y Aboudrare, 2004; Passioura y Angus, 2010; Turner, 2004).

Los parámetros de calidad en ambos cereales también fueron más estables en el Ustipsamment. Mientras en las dos campañas húmedas las diferencias fueron mínimas entre suelos, en 2013 el efecto de las condiciones ambientales sobre el llenado del grano disminuyó drásticamente el peso de los mismos en el Paleustol. Como resultado, los granos de trigo producidos en el Paleustol presentaron PH reducidos, que son castigados en la comercialización, y bajo calibre en cebada cervecera, ambos con alta concentración proteica. Guttieri *et al.* (2001) hallaron que el estrés hídrico severo disminuyó el PH de

trigo. Se ha observado correlación positiva entre el PH y duración del llenado de granos y también con PMG, de modo que cuando el PMG es muy bajo, como ocurrió en este caso, el PH también cae (Fernández, 2007; Polidoro *et al.* 2004). Cabe resaltar que en cebada no hubo una notoria disminución del PH, por lo que cumplió con el requisito del mercado forrajero, si bien quedó descartada para maltería. El aumento de la concentración proteica al disminuir el tamaño del grano, también fue observada en trigo y cebada en numerosos trabajos (Dreccer *et al.*, 1997; Quiriban *et al.*, 2015; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Este efecto también suele ocurrir cuando en alguna etapa del llenado ocurre estrés térmico (García *et al.*, 2016; Savin, 2010; Prasad *et al.*, 2008). Si bien se registraron altas temperaturas en noviembre, no fueron claramente superiores a las otras campañas, y su efecto debió tener impacto en ambos suelos (Figura 2.2 Anexo II). Sin embargo, en el Paleustol el PMG de los trigos cayó 36 % respecto al mayor valor obtenido en 2014, y sólo 19 % en el Ustipsammet. Además, en este último tanto el PH como la proteína estuvieron dentro de los rangos normales, similares a los obtenidos en las otras campañas. El menor PMG en el Ustipsammet pudo ser ocasionado por limitación de fuente en el llenado de granos, dado que se fijó similar número de granos que en las otras campañas pero con menor producción de MS (Tablas 4.11 y 4.12). En el Paleustol, conjuntamente con cierta limitación del llenado por la escasa producción de MS_f, la menor disponibilidad hídrica de los trigos alrededor de floración, pudo provocar bajo tamaño potencial del grano. Se ha comprobado que las limitaciones en disponibilidad de asimilados en pre y post-antesis temprana restringen el tamaño de los carpelos florales, y el número de células del endosperma con la consecuente limitación del tamaño potencial de grano (Calderini *et al.* 2001; Gladow *et al.*, 1982). La cebada en el suelo arenoso presentó siempre calibre ligeramente mayor que en el Paleustol, dado probablemente por el menor número de granos en 2012 y 2014, y por la mejor situación hídrica en 2013, que pudo determinar una mejor relación fuente-destino. Al respecto, algunos investigadores en nuestro país postulan que la limitación por fuente puede disminuir el tamaño potencial del grano de cebada en mayor medida que en trigo (Alvarez Prado *et al.*, 2013; Miralles *et al.*, 2011). Además varios estudios muestran la disminución del calibre de cebada cuando aumenta la disponibilidad de N, en distintas condiciones de rendimiento potencial (Alzueta, 2014; Cortese *et al.*, 2013; Ron *et al.*, 2013).

El bajo contenido de MO del Ustipsammet y su propensión al lixiviado de N, produjo limitación en la cantidad de nutrientes suministrados a los cultivos. Lo cual quedó demostrado por el escaso contenido de N-NO₃⁻ a la siembra (Tabla 4.3), por la alta

respuesta a la fertilización de la producción de MS, rendimiento y EUA en las tres campañas, y por la amplia diferencia entre testigo y fertilizado en porcentaje de N en biomasa (datos no presentados). En este suelo, el aumento del rendimiento con el agregado de nutrientes fue más que proporcional al de MS ya que se incrementó sustancialmente el IC. El NEM fue el principal componente de rendimiento afectado por la fertilización, debido al aumento de macollos fértiles tal como fue hallado en trigo pan y cebada por Alzueta (2014). De esta manera, en varios casos los cultivos incrementaron en más de 1000 kg ha⁻¹ la producción, incluso en la campaña seca, lo que evidencia la escasa provisión de nutrientes que brinda este tipo de suelo. Acorde con estos resultados, Quiroga *et al.* (2010) encontraron respuesta al agregado de N en sitios con alta retención de agua, aún con bajas precipitaciones. Por otra parte, los mismos autores mediante un estudio en 38 sitios de la RSP determinaron que, ante excepcionales condiciones hídricas, el 56 % del rendimiento de cebada era explicado por el contenido de nitratos a la siembra en cultivos sin fertilizar (Quiroga *et al.*, 2006). Podría decirse entonces que en el Ustipsamment con presencia de napa los nutrientes limitaron el rendimiento de los cereales en mayor medida que el agua. Además, la fertilización generó un plus de proteína en grano en dicho suelo. El aumento del porcentaje de proteína fue más alto y generalizado para todas las variedades en 2013, debido probablemente al menor lavado de N que permitió la absorción post-antesis conjuntamente con el menor PMG respecto a las otras campañas (Triboi y Triboi-Blondel, 2002). En cambio en las campañas húmedas el N absorbido quizás no fue suficiente para elevar el contenido de proteína (Calviño, 2016). No obstante, el MB en pocas ocasiones fue significativamente más alto en el tratamiento fertilizado respecto al testigo, es decir que la mayor producción apenas compensó el costo de los fertilizantes o no alcanzó a hacerlo. Ron *et al.* (2013) en el SO bonaerense también encontró respuestas erráticas de la rentabilidad de cebada a la fertilización, y observó que la dosis óptima económica disminuía significativamente si se toma en cuenta la calidad comercial además del rendimiento. Por esta razón deberían ajustarse las dosis de fertilización de modo que los resultados económicos sean más favorables. Particularmente en este caso puede haber ocurrido que los 100 kg ha⁻¹ de FDA que se aplican al voleo hayan significado un costo excesivo y sea más eficiente aplicar menos dosis en la línea de siembra. Además, el P disponible (18 ppm) no es limitante para la producción de estos cereales, por lo cual no sería necesaria su aplicación anual en ninguno de los suelos. Finalmente, la fertilización contribuye a mejorar la sustentabilidad de la agricultura en este suelo dado los contundentes resultados en fijación de C y

producción de granos. No obstante deberían ajustarse las dosis recomendadas según las propiedades del suelo para hacer más eficiente esta práctica. Si bien el MB de los tratamientos fertilizados no es mayor, debe valorarse la reposición de nutrientes respecto del tratamiento testigo. Por otro lado, en el Paleustol la fertilización no produjo ganancias de rendimiento y sólo aumentó moderadamente (0,6 %) la concentración proteica de los trigos CL y cebada. Lo cual indica que el N liberado por la mineralización de la MO fue suficiente para alcanzar la producción potencial de este suelo incluso en las campañas húmedas.

De esta manera, la fertilización en el Paleustol sólo produjo disminuciones del MB, al aumentar los costos. Además, tampoco se logró aumentar la producción de MS y EUA_{MS} con el agregado de nutrientes, por lo que no fue una práctica con efectos positivos relevantes en la sustentabilidad del sistema.

Como resultado de estas diferencias nutricionales entre suelos, en las campañas en las que las precipitaciones fueron abundantes, 2012 y 2014, la producción de los cereales en el Paleustol fue 1500 kg ha^{-1} más alta que en el Ustipsamment, mientras que la EUA fue de 9,5 y $7,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ respectivamente. Estos valores están en el rango hallado por otros investigadores en la RSP para ambos cereales (Fernández, 2007; Quiroga *et al.*, 2006), mientras que son ligeramente superiores a los reportados por Tanaka *et al.* (2007) en el Norte de las Grandes Planicies con menores precipitaciones en el ciclo. Díaz Zorita *et al.* (1999) demostraron que en la RSP la disponibilidad de nutrientes fue el factor limitante en la producción de trigo cuando no existe déficit hídrico, por lo que el rendimiento se correlaciona positivamente con el contenido de MO. En el Paleustol, la disponibilidad temprana de agua y nutrientes favoreció el crecimiento vegetativo, la rápida cobertura del suelo y la competencia con malezas por parte de los cultivos, por lo cual es probable que una menor fracción de la evapotranspiración correspondiera a la evaporación directa del suelo, respecto al suelo arenoso, mejorando así la EUA (Debaeke y Aboudrare, 2004; Passioura y Angus, 2010). Nuestros resultados muestran claramente que en los años húmedos, la actividad fotosintética del canopeo fue mayor en el Paleustol, donde el IAF_f , MS_f , TCC_{v-f} y EUA_{MS_f} fueron prácticamente el doble que en el Ustipsamment. Asimismo, el IAF_f de las distintas variedades en el Paleustol alcanzó los valores indicados por Abbate *et al.* (2004) (entre 3,7 y 6) para reducir a menos del 10 % la contribución de la evaporación al consumo hídrico total del trigo. De esta manera, el NEM fue el componente del rendimiento de los cereales que más se destacó en el Paleustol. En un estudio con trigo pan realizado en la RSP, el NEM también fue el

componente del rendimiento más afectado por el índice ambiental, dado en tal caso principalmente por la variación interanual de las precipitaciones, mientras el NGE fue modificado levemente (Fernández, 2007).

Aunque ambas campañas contaron con precipitaciones excepcionales para esta zona, en el Paleustol se obtuvieron rindes 800 kg ha^{-1} más altos en 2014 que en 2012. Esto pudo deberse a que en 2014 hubo mayor disponibilidad de agua a la siembra (Figura 4.2) y durante los primeros estadios de los cultivos, además de temperaturas mínimas elevadas (Figura 2.1 Anexo II) que beneficiaron el crecimiento temprano en el suelo fino. De esta manera, se obtuvo abundante MS_f en dicho suelo, aunque, no se produjeron más NEM, respecto al 2012, sino más NGE. Los altos valores de NGE y PMG, pueden haberse producido por temperaturas más favorables al momento de fijación y llenado de granos, al ocurrir 10 días más temprano, así como mayor disponibilidad de fotoasimilados en dicho estadio (Dhillon y Ortiz-Monasterio, 1993). Menéndez y Satorre (2007) señalan que el peso potencial de los granos disminuye en la Región Pampeana Argentina al retrasar la fecha de antesis. En correspondencia con los mayores valores de PMG, el UC_{f-mf} fue superior en 74 mm este año respecto al 2012 (Figura 4.5), (Debaeke y Aboudrare, 2004; Turner, 2004).

Cabe resaltar que en años húmedos, en el Paleustol se logró mayor producción de granos, sin perjuicio de la calidad, en cuanto a concentración proteica y PH, respecto al Ustipsamment. Esto puede suceder por el mayor almacenaje de N en la biomasa, disponible para su posterior translocación al grano, y posiblemente por mejores condiciones para la absorción post-antesis de N en el primer suelo, dada su mayor retención de NO_3^- y mineralización de nitrógeno orgánico (Oelofse *et al.*, 2015; Triboi y Triboi-Blondel, 2002).

4.4.3 Diferencias entre trigo y cebada y entre sus cultivares en la productividad y calidad

En lo que respecta a las especies y variedades evaluadas, se observaron ciertas diferencias entre ellas en la EUA y producción. Ambas variables estuvieron relacionadas, al no encontrarse discrepancias importantes en consumo de agua. En este sentido, tanto Zhang *et al.* (2010), como Sadras y Lawson (2013) encontraron que el mejoramiento genético de cultivares de trigo seleccionados por alto potencial de rendimiento incrementó conjuntamente la EUA de los mismos, al utilizar menos agua para producir más granos.

Algunas de estas diferencias se hicieron más evidentes en un suelo y/o campaña en particular por lo que se discutirán en el próximo apartado con mayor profundidad.

Los estudios comparativos entre trigo y cebada en diversas regiones muestran resultados contradictorios (Cantero-Martínez *et al.*, 2003; Cossani *et al.*, 2012; Grewal, 2010; Lo Valvo y Miralles, 2013; López-Castañeda y Richards, 1994), aunque suele aceptarse la mayor EUA de cebada ante condiciones adversas. En línea con dichos estudios, en esta tesis se evidenció mejor comportamiento de cebada sólo ante considerable limitación hídrica, como ocurrió en el Paleustol en la campaña 2013. En condiciones moderadas de estrés hídrico, en post-floración, Albrizio *et al.* (2010) señalaron mayor producción de biomasa y mayor aunque no significativa, producción de grano en trigo duro que en cebada. De acuerdo con ello, en el Ustipsamment la performance de cebada fue semejante o inferior a los trigos, si bien existieron diferencias considerables entre las variedades, ya que MP por lo general demostró mejor comportamiento que SC. Salines *et al.* (2016), en un análisis de varias localidades del país (Red Nacional de cebada cervecera) también halló que si bien SC mantiene una difusión importante en el país, ha sido superada por nuevas variedades en rinde, estabilidad y calibre. Esto deja en evidencia el menor rinde potencial de las variedades antiguas respecto a las más modernas, tal como ha sido demostrado para trigo (Abbate *et al.*, 1998; Liang *et al.*, 2014; Lo Valvo *et al.*, 2017; Sadras y Lawson, 2013)

Se ha determinado que la variación del número de granos de cebada esta mayormente asociada al NEM mientras que en trigo tiene más influencia el NGE (Alzueta, 2014; Lo Valvo *et al.*, 2017; Miralles *et al.*, 2011). La baja plasticidad en el NGE constituyó una limitante importante de cebada, ya que por más que alcanzaron similares NEM que los trigos, su número de granos por m² resultó menor. Se ha comprobado la estrecha relación entre número de granos por m² y el Q del período crítico cuando no existen limitaciones hídricas (Cossani *et al.*, 2009; Fischer, 1985; Magrin *et al.*, 1993). En las campañas evaluadas, la anticipación del PC de cebada respecto al trigo no produjo variaciones en el Q, incluso en 2014 fue superior, por lo que este factor no explicaría la diferencia en número de granos entre ambas especies. Igualmente, Magrin *et al.*, 1993 no hallaron diferencias significativas en Q y número de granos al variar la fecha de anéscis en trigo en el mismo año. Por otra parte, la ubicación del PC de cebada podría ser ventajosa en años secos, con temperaturas elevadas y alta demanda atmosférica a fines de octubre y principios de noviembre.

Cabe resaltar, que se observó en cebada mayor tejido dañado después de un episodio de temperaturas muy por debajo de 0°C en etapas vegetativas en relación al trigo. Por otra parte, en ambos suelos las cebadas tuvieron los valores más altos de AFE_f, lo cual las perjudicaría respecto a los trigos en cuanto a la capacidad fotosintética (Songsri *et al.*, 2009). Sin embargo en la TAN_{v-f} las cebadas fueron similares a los trigos CL, aunque inferiores a los CC. El CRA también fue desfavorable para cebada, ya que presentó menor porcentaje tanto en el Paleustol como en la campaña más seca en el Ustipsamment (Tabla 4.10), por lo que puede estimarse que estaba en peor estado hídrico que los trigos y por lo tanto en inferior condición para el crecimiento (Quiriban *et al.*, 2015, Zhang *et al.*, 2010). En general, la cebada produjo menos MS_{mf} que los trigos y dejó menor cantidad de rastrojo, lo cual perjudicaría el balance de C de los suelos. Esto se debe al ciclo más corto de cebada respecto a los trigos CL, y a la notable menor TCC respecto a los trigos CC. Cossani *et al.* (2009) halló mínimas diferencias en MS entre trigo y cebada, incluso cuando el rendimiento de cebada fue mayor. En cambio, la cebada presentó siempre elevado IC, que contrarrestó en parte su menor biomasa para la producción de granos. La menor o similar MS de cebada respecto a trigo, pero mayor IC también coinciden con los resultados reportados por Alzueta (2014) y García *et al.* (2015). En contraposición, López-Castañeda y Richards, (1994), reportaron que la cebada superó tanto en IC como MS a trigo pan en Australia, bajo sequía terminal. El mejoramiento de los genotipos de trigo con posterioridad a dicha investigación y/o las particularidades de la zona de estudio pueden ser los causantes de las discrepancias encontradas respecto al presente estudio. La cebada ha incrementado su superficie en la región pampeana húmeda en parte por ser mejor antecesor que trigo para soja de segunda ya que desocupa antes el lote, permitiendo realizar la siembra más temprano y con mayor disponibilidad de agua y nutrientes (Andrade *et al.*, 2015; Forján *et al.*, 2013; Prystupa y Ferraris, 2011). En este estudio la cebada alcanzó el estado R9.9, 5 a 8 días antes que los trigos, y dejó mayor humedad en el perfil del suelo (Figuras 4.6 y 4.8), aunque no se adelantó tanto la cosecha respecto al trigo, especialmente en el Ustipsamment. Alvarez Prado *et al.* (2013) también hallaron que la cebada libera el lote con sólo 5 días de anticipación al trigo, a pesar de su mayor antelación de floración. Lo cual se explicaría porque la cebada demora más en alcanzar la madurez comercial respecto al trigo dado el mayor porcentaje de humedad de los granos en madurez fisiológica (48 % vs. 39 %). De todos modos, en la RSP la siembra de cultivos de segunda es factible sólo en años poco frecuentes como lo fueron las campañas de 2012 o 2014 en el Ustipsamment, ya que en 2013 la humedad disponible luego de los

cereales de invierno fue escasa y torna riesgoso el abastecimiento en las primeras etapas del cultivo estival.

Otra limitante de la cebada fue la dificultad para lograr granos de la calidad exigida por maltería. Al respecto, ninguna de las dos variedades demostró mayor aptitud para alcanzar los requerimientos de la industria cervecera. No obstante, MP tiende a acumular más proteína que SC, ya que logró los mismos porcentajes con mayor rendimiento. Esta característica debería tenerse en cuenta, ya que en la región es probable que la proteína exceda los límites aceptados por maltería, como se ha observado en estos ensayos. Sería conveniente entonces, explorar otras variedades de cebada con alto potencial de rinde y mayor tamaño de grano, con las que probablemente se obtenga mayor dilución del N. Trabajos recientes en otras regiones argentinas han mostrado la variabilidad existente en dichos caracteres en cebada y su interacción con el ambiente (Moreyra *et al.*, 2013; Salines *et al.*, 2016). También, la campaña 2014 en la que se logró la calidad cervecera, coincidió con un anticipo en la fecha de anthesis respecto a los otros años (Tabla 4.5). En este caso, el llenado de grano con menor temperatura pudo haber favorecido su tamaño (García *et al.*, 2016; Savin, 2010; Prasad *et al.*, 2008). Por lo tanto, se deberían evaluar fechas de siembra más tempranas, en combinación con genotipos, para determinar si un adelanto del período crítico tiene influencia, especialmente en el calibre de cebada y como se afecta el rendimiento (García *et al.*, 2015). Por otra parte, las muestras de cebada obtenidas alcanzaron siempre PH superior a 59 kg hl⁻¹ (grado 2) y la mayoría más de 62 kg hl⁻¹, por lo cual no presentaron limitaciones para el mercado forrajero en ninguna de las circunstancias evaluadas.

Los trigos CC tuvieron muy buen comportamiento en los dos suelos, su UC fue apenas inferior al de los trigos CL y similar a cebada a pesar de su menor ciclo de crecimiento y abundancia de raíces. La menor partición de asimilados hacia el sistema radical les permite destinarlos a la producción de MS y acumulación de reservas para la producción de granos, por lo que tendrían mayor rendimiento potencial que los trigos CL (Aziz *et al.*, 2017; Passioura, 1983). A pesar de la menor proporción de raíces, los CC tampoco resultaron inferiores en la captación de humedad ante las condiciones hídricas desfavorables de la campaña 2013. En dicha oportunidad se observó que consumieron más agua en la capa superficial del suelo a floración, en relación a los trigos CL y cebada (Figura 4.7). De este modo, la EUA de los trigos CC fue de las más elevadas tanto para producción de grano como MS. De manera similar, el mejoramiento genético en Australia derivó en trigos con menor densidad radical, pero mayor eficiencia de absorción de N y

EUA (Aziz *et al.*, 2017; Sadras y Lawson, 2013). Si bien se ha señalado el mejor comportamiento de cultivares CC en ambientes con limitantes hídricas (Debaeke y Aboudrare, 2004), en esta tesis también alcanzaron rendimientos similares a los CL en las campañas más favorables. Una de las ventajas de estos cultivares fue escapar a las heladas de julio, como en 2012, que retrasaron el crecimiento de los trigos CL y cebadas cuando los CC aún no habían emergido. Asimismo, los trigos CC contaron con las mayores TAN_{v-f} y baja AFE_f , lo cual indicaría que presentaron mayor tasa fotosintética por unidad de área foliar que los trigos CL y cebada (Songsri *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Así, estos cultivares manifestaron también las mayores TCC igualando la producción de MS_f y MS_{mf} de los CL, por más que lograran menor IAF_f . En general, la partición de asimilados a los granos de los trigos CC no fue mayor a los CL, presentando similares IC entre ellos. Dado que generaron igual volumen de MS, tampoco hubo diferencias en la MS_r , o sea que no afectan el balance de C. En cuanto a los componentes de rendimiento, los trigos CC produjeron igual número de granos que los trigos CL, ya que en los casos en que originaron menos macollos fértiles, dado el menor período de macollaje, compensaron con mayor NGE. Cabe resaltar que las fechas de anthesis de ambos ciclos de crecimiento fueron semejantes, como es de esperar cuando se siembran en la fecha correspondiente (Tabla 4.5). Debido a ello presentaron similares condiciones de radiación/temperatura (Q) en el período crítico para la definición del número de granos. El PMG y el PH tampoco dependieron del ciclo de crecimiento, sin embargo, fue una constante el mayor PH del CL 1 respecto al CC 1. El comportamiento de los trigos CC reflejaría lo señalado por Lo Valvo *et al.* (2017) respecto a los cultivares modernos, que incrementaron el rendimiento debido al mayor NGE, a través de la mejora en la eficiencia de fructificación sin detrimento del peso de los granos.

En definitiva y en contraste con varias recomendaciones para la región (Brevedan *et al.* 2008; Romano *et al.*, 2010) con este estudio se demostró que con la siembra de trigos CC se pueden obtener similares e incluso superiores rendimientos que los CL en la RSP, logrando también alta calidad panadera. El inconveniente que se podría presentar es el bajo contenido de humedad en la capa superficial del suelo al momento de siembra, dado que se realiza en fechas con poca probabilidad de ocurrencia de precipitaciones.

El menor potencial de rendimiento de los trigos de alta concentración proteica es conocido y fundamentado por la mayor demanda de fotoasimilados que conlleva la producción de proteína respecto a los hidratos de carbono (Andrade, 1995), como también por la correlación negativa entre C y N debido a la senescencia del aparato fotosintético

producido por la re-movilización del N en post-floración (Cox *et al.*, 1985a; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). No obstante, en este estudio, las diferencias en producción entre grupos de calidad de trigo fueron evidentes sólo entre los CL. Mientras los CC no se diferenciaron significativamente, el CL 3 produjo en la mayoría de los años más rendimiento que el CL 1, aunque la brecha fue más amplia en el Ustipsammet. Si bien, en ensayos comparativos de rendimiento Romano *et al.* (2010) hallaron diferencias de 600 kg ha⁻¹ entre ambos cultivares CL, en este caso las diferencias fueron generalmente menores a 400 kg ha⁻¹. El hecho de que no se hayan encontrado diferencias entre los CC demuestra que existe variación en el potencial de rendimiento de los genotipos pertenecientes al mismo grupo, al tiempo que hay posibilidades para incrementar el rendimiento manteniendo elevada proteína (Cox *et al.*, 1985a). Para lograr este objetivo se ha indicado la necesidad de realizar mejoramiento genético en favor de alto índice de cosecha de N, a través de elevada removilización de N hacia el grano desde otros órganos de la planta y de mayor absorción de N en post-antesis (Cox *et al.*, 1986; Triboi y Triboi-Blondel, 2002).

Las variables fisiológicas medidas en floración y madurez fisiológica relacionadas a eficiencia fotosintética, tasa de crecimiento o eficiencia de captación de recursos no evidenciaron diferencias entre las dos calidades de trigo. Cuando se hallaron diferencias en estas características entre los cultivares de CL, las mismas fueron poco coherentes entre sí y no se trasladaron a diferencias en rendimiento. En coincidencia, Triboi y Triboi-Blondel (2002) señalaron poca ganancia en rendimiento por la modificación de estos procesos básicos de asimilación de C al estar regulados por genes altamente conservados. En cambio se observó en el CL 3 una mayor partición a espigas, dado el más elevado NGE y PMG que el CL 1. En definitiva, el CL 3 tuvo mejor eficiencia de conversión de MS a grano, lo cual coincide con las teorías mencionadas de Andrade (1995) y Triboi y Triboi-Blondel (2002).

En cuanto a la calidad, se observó claramente la tendencia a acumular mayor proteína en grano de las variedades pertenecientes al grupo 1. Cabe resaltar, que las dos variedades utilizadas se han destacado en estabilidad del índice de calidad en los análisis de la RET en los años 2011, 2012 y 2013 (Fraschina *et al.*, 2016b). En las campañas húmedas en ambos suelos dichos trigos presentaron alrededor de 2 puntos más de proteína que los del grupo 3. Aunque en 2013, cuando se produjo concentración de proteína, las diferencias entre grupos de calidad fueron menores, especialmente entre los trigos CC. Entonces, contrario a lo que se especulaba, el trigo CC 1 demostró elevados niveles de proteína sin

perjuicio del rinde, lo que lo benefició en los índices económicos. A diferencia de la proteína, los trigos seleccionados fueron más dispares dentro de los grupos de calidad en cuanto al PH. Si bien el trigo CL 1 tuvo los mayores valores de PH en todos los ambientes, el CC 1 no se diferenció del grupo 3 en esta propiedad. Fraschina *et al.* (2016a), señalaron la baja correlación del índice de calidad con PH, por lo cual algunos cultivares pertenecientes al grupo 1 podrían no presentar altos PH o estar más influenciado por el ambiente. El bajo PH del CC 1 puede relacionarse a la forma y tamaño del grano, como a su mayor rendimiento potencial y capacidad de los destinos. El CC 1 en general produjo elevado NGE, por lo tanto, llenaría una mayor proporción de granos con menor tamaño potencial dentro de la espiga (García *et al.*, 2016; Miralles y Slafer, 2007). No obstante, sólo en la situación hídrica más desfavorable (Paleustol 2013) el PH del CC 1 fue tan bajo para ser castigado comercialmente. Entonces una ventaja del CL 1 respecto al CC 1 fue su mayor PH y estabilidad del mismo frente a condiciones extremas. En este sentido, Triboi y Triboi-Blondel (2002) expresan la dificultad de lograr tanto alto PH como porcentaje de proteína dada la correlación negativa entre fijación de C y removilización de N (senescencia).

4.4.4 Influencia de las condiciones climáticas y tipo de suelo en las diferencias de índices productivos, económicos y ambientales entre trigo y cebada y sus cultivares.

El comportamiento de las variedades de cebada y trigo fue distinto según la campaña y el suelo principalmente. El caso más evidente fue el de cebada que, como se ha mencionado, presentó mejor producción relativa a trigo en el Paleustol que en el Ustipsammet con napa. En este último suelo, la cebada consumió entre 30 y 60 mm menos de agua que los trigos CL, en sintonía con los resultados de Cossani *et al.* (2012). Si bien se pensó que la abundancia de raíces sería una característica condicionante del UC y EUA en el suelo profundo, los resultados no lo manifestaron. Se observó que el volumen de raíces fue apenas superior en el trigo CL respecto a cebada por debajo de 120 cm de profundidad (Figura 4.4). López-Castañeda y Richards (1994), no hallaron diferencias en profundidad de raíces entre ambas especies hasta 150 cm de profundidad. Por el contrario, los trigos CC tuvieron menor crecimiento radical que los CL pero no evidenciaron amplias diferencias de consumo de agua. Por lo tanto, probablemente el menor UC de cebada fue consecuencia del menor crecimiento aéreo, y por lo tanto menor evapotranspiración, frente a trigo. Esto está en relación con las variables fisiológicas medidas en floración, ya

que en el Ustipsamment, en general las cebadas presentaron menor TCC_{v-f} , MS_f y EUA_{MS_f} que los trigos independientemente de las condiciones meteorológicas. Mientras las diferencias en el Paleustol dependieron de la campaña y variedad, con mejor desempeño de MP en condiciones favorables. La cebada produjo menos MS_{mf} principalmente en los años húmedos, además no respondieron a la fertilización dichos años por lo que las diferencias con los trigos se incrementaron en las parcelas fertilizadas (Tablas 4.11 y 2.7 Anexo II). El incremento en rendimiento en grano con el agregado de N no fue más alto en cebada, tal como fue hallado por (Cossani *et al.*, 2012), aunque en contraposición con lo señalado por Alzueta (2014) y Albrizio *et al.* (2010), al compararla con trigo pan y trigo candeal (*Triticum durum*), respectivamente. Estos autores indicaron mayor EUN para generar rendimiento en cebada, sin embargo, en ambos casos el trigo presentó mayor concentración de N en grano, lo que no se correspondió con nuestros resultados, en los que cebada tuvo similar concentración proteica que los trigos grupo 1. La magra respuesta a la fertilización de cebada coincide en parte con Delogu *et al.* (1998), quienes indicaron que este cereal requiere menos dosis de N que trigo para optimizar su rendimiento. En base a nuestros resultados parecería que la cebada es menos eficiente que el trigo cuando el ambiente es propicio. Debido a la menor utilización de agua y nutrientes, y poca producción de MS de cebada, principalmente en el Ustipsamment, este cultivo desaprovecharía recursos y retorna menos material vegetal al sistema, lo cual es una desventaja desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental por su efecto en el balance de C, ciclado de nutrientes, agregación del suelo, incremento en el nivel de las napas y contaminación (Caviglia *et al.*, 2013; Noellemeyer y Six, 2014; Passioura y Angus, 2010). Asimismo, el ACP en este suelo con napa demostró alta correlación de la MS_f con el rendimiento en grano (Figura 4.13), entonces, a pesar del alto IC de cebada, su producción de granos fue baja en comparación a trigo. En la región pampeana húmeda Alzueta (2014) también halló una mejor correlación de la MS que del IC con el rendimiento en estos cereales. De esta manera, la cebada pudo igualar o superar el MB del trigo sólo cuando cotizó como cervecera en 2014. En esa oportunidad MP tuvo la PEA y MB más elevados, al presentar un rendimiento semejante a los trigos con un precio superior.

En el Paleustol, la cebada presentó un rendimiento en grano ligeramente menor que trigo en las campañas con alta disponibilidad hídrica, pero demostró alta estabilidad bajo las distintas condiciones ambientales. Mientras el rendimiento del trigo en la campaña 2013 cayó en 3000 kg ha^{-1} respecto a las húmedas, sólo fue de 1600 kg ha^{-1} menos para cebada.

Estos resultados en el Paleustol sugieren que esta especie puede tener mayor EUA que el trigo ante condiciones adversas. Por el contrario, Cossani *et al.*, (2012, 2009) en ambiente mediterráneo no percibieron ventajas consistentes de cebada sobre trigo tampoco ante baja disponibilidad de agua. Cabe resaltar que a diferencia del mencionado estudio, en esta tesis se utilizaron cultivares de menor ciclo de crecimiento (primaverales comúnmente utilizados en Argentina) y se contó con una distribución de precipitaciones más favorables, así como agua almacenada a la siembra. En el presente ensayo, la diferenciación con el trigo sucedió especialmente en la etapa de macollaje, ya que además de producir significativamente más MSf, generó NEM al nivel de las campañas húmedas. También el PMG de cebada se redujo menos que el de trigo en la campaña seca, respecto a los valores más altos encontrados en el Paleustol (2014), debido probablemente a la menor limitación por fuente en este cereal. Al respecto, Álvarez-Prado *et al.* (2013) determinaron mayor respuesta en peso del grano en cebada al aumentar la fuente respecto a trigo. Una particularidad de este suelo en 2013, fue que las exiguas precipitaciones provocaron períodos de tiempo con alto potencial mátrico y resistencia a la penetración de las raíces. Por las determinaciones fisiológicas realizadas, la cebada parece menos afectada por estas condiciones (Tabla 2.2 Anexo II). En este sentido, Jamieson *et al.* (1995) observaron que el déficit hídrico potencial crítico en el suelo fue menor para cebada que trigo. En coincidencia, Grewal (2010), comprobó mayor crecimiento aéreo, consumo de agua y EUA en cebada respecto a trigo en suelos sódicos, donde también se restringe el crecimiento de raíces y absorción de agua. Asimismo, Lo Valvo y Miralles (2013) mediante ensayos en macetas determinaron que ante restricciones hídricas el rendimiento de cebada fue menos afectado que el de trigo, principalmente por mayor número de granos, si bien la reducción de biomasa aérea fue similar para ambas especies. Entonces, aunque suele generalizarse la mayor EUA de cebada frente a trigo, aquí sólo fue comprobada en las condiciones particulares del Paleustol en la campaña 2013, mientras bajo condiciones más favorables los trigos igualaron o superaron su producción. Los mejores resultados de cebada en el Paleustol que en el Ustipsamment también coinciden con los estudios de Quiroga *et al.*, (2006) quienes demostraron en cebada mayor rinde y EUA en suelos de alta proporción de MO y disponibilidad de nutrientes. Igualmente, Johnston *et al.* (2009) atribuyen los mayores rendimientos de cebada en suelos de alto contenido de MO a los efectos en la estructura de los mismos y al suministro más tardío de N en su ciclo.

Por otra parte, en el suelo de textura más fina donde se generan volúmenes elevados de MS en años húmedos se observaron enfermedades foliares y vuelco en cebada, por lo cual, es necesaria la elección de variedades resistentes a estas adversidades (Passioura y Angus, 2010).

Los índices económicos de cebada en el Paleustol fueron similares a los de trigos, constituyendo una mejor opción en la campaña seca o cuando alcanzó la calidad adecuada para maltería, y su precio fue mayor.

Por lo expuesto, la cebada puede ser una alternativa exitosa frente a trigo en los suelos con limitantes en períodos de sequía como el Paleustol, debido a que su mayor EUA en esas condiciones puede generar más producción. No obstante en el Ustipsamment la conveniencia de producir cebada está supeditada a lograr calidad de maltería y que se paguen bonificaciones interesantes por ello. Teniendo en cuenta que estos requisitos se cumplieron sólo en un año cuyas condiciones ambientales tienen poca probabilidad de repetirse, sumado a la baja EUA y fijación de C, la cebada no sería una alternativa más sustentable que el trigo en este suelo. De igual manera, Andrade *et al.* (2015) indicaron que se pierde productividad al reemplazar trigo por otros cultivos invernales como cebada, canola o arveja en la región pampeana húmeda, no obstante, estos serían mejores antecesores para soja de segunda, permitiendo obtener mayores ingresos con dicha oleaginosa y mantener la intensificación del uso de la tierra.

Los trigos CC tuvieron buen comportamiento en ambos suelos aunque relativamente mejor en el Paleustol donde no fueron superados significativamente por los CL. En este suelo, los trigos CC, con menor desarrollo radical, pueden verse favorecidos por la mayor disponibilidad de agua y nutrientes por unidad de profundidad, respecto al Ustipsamment. Dichas condiciones les permitieron alcanzar sus altas TCC con anticipación. Visto de otra manera, en el Paleustol los trigos CL pierden su ventaja de profundización radical para alcanzar humedad y nutrientes oportunamente, debido a la limitación por el manto calcáreo.

En cuanto a los grupos de calidad, en el Ustipsamment el CL 3 presentó estabilidad y alta producción en las 3 campañas mostrando principalmente elevado IC (0,44) en relación al resto, en contraste, el CL 1 tuvo un rendimiento marcadamente menor, con el IC más bajo (0,36). Además allí, ambos trigos del grupo 1 tuvieron menor PMG que los del grupo 3 lo cual puede estar dado por el mayor requerimiento de N en relación al C para la producción de grano (Cox *et al.*, 1986) observaron mayor translocación del N de la biomasa al grano en cultivares de trigo de mayor concentración proteica. Entonces,

aunque los trigos del grupo 1 produjeron similar o mayor MS que sus pares del grupo 3, una mayor removilización de N en llenado de granos pudo anticipar la senescencia y disminuir la eficiencia fotosintética con la consecuente menor producción de asimilados (Cox *et al.*, 1986, 1985a; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Por otra parte, Cox *et al.* (1985b) y Gaju *et al.* (2011) observaron asociación entre elevado rendimiento y absorción de N post-antesis, especialmente a baja disponibilidad de N, mientras que las diferencias fueron menos notorias ante mayor disponibilidad de N. Podría especularse entonces, que el CL 3 tuvo la capacidad de capturar más N del suelo que las otras variedades, durante el llenado de grano en el Ustipsamment. De esta manera mantuvo la eficiencia fotosintética y producción de fotoasimilados, generando granos más grandes. Los mencionados autores adjudican esta capacidad a la mayor exploración del perfil por las raíces o a su mayor eficiencia de absorción de N. No obstante, en esta tesis no se realizaron las mediciones requeridas para aseverar estas suposiciones. Respecto al número de granos, (Gaju *et al.*, 2011) sostienen que en ambientes de baja disponibilidad de N, la capacidad de los cultivares de producir granos viables con baja concentración proteica es un rasgo asociado a elevado rendimiento. En correspondencia, en 2013 las diferencias en este componente entre ambos grupos fueron de menor magnitud que en las campañas húmedas, probablemente por la mayor concentración de N en suelo y la posibilidad de absorción post-antesis con menor desarrollo radical. Al respecto, Calviño (2016), postula que existe menos brecha de rendimiento entre grupos de calidad a medida que las condiciones ambientales son más limitantes. Estos resultados podrían estar más bien relacionados a la disponibilidad de nutrientes, ya que en el Paleustol, a pesar del mayor rinde promedio alcanzado en los años húmedos, las diferencias entre grupos, tanto en IC como en producción de granos, fueron menos marcadas que en el Ustipsamment, principalmente en el caso de los CL. Coincidiendo con estos resultados, Ferraris y Mouségne (2008) observaron que los cultivares “tipo Baguette” superaron en rendimiento a los “no Baguette” en condiciones de muy baja o muy alta disponibilidad de N (<60 o >115 kg N ha⁻¹), pero dicha relación se invertiría en rangos medios de disponibilidad de N. Considerando las teorías descritas anteriormente, las condiciones más favorables para el rendimiento de los trigos de calidad en el Paleustol pudieron deberse a i) la mayor generación de MS_f, la cual es el principal reservorio de N para su translocación al grano ii) la mayor obtención de N del suelo durante el ciclo debido a la progresiva mineralización de la MO en contraposición con el lavado que ocurre en los suelos arenosos. De esta manera, puede deducirse que en el Paleustol es factible generar granos

de alta concentración proteica con menor detrimento del rendimiento respecto a los trigos grupo 3 que en el Ustipsamment.

La fertilización en cambio, no produjo efectos consistentemente diferentes en la producción y calidad entre una u otra variedad de trigo CL. La aplicación en macollaje generó aumentos en la producción de MS e IC en el Ustipsamment sin interacción con variedad. Asimismo, en línea con la bibliografía citada, el CL 1 destinó algo más de este N al incremento de proteína que el CL 3, aunque la diferencia fue leve (0,4 vs 0,2 puntos porcentuales). Debería estudiarse si dosis más altas de N en el Ustipsamment pueda tener algún efecto en la eficiencia de conversión del CL 1, y disminuya la brecha de rendimiento con el CL 3, asemejándose así a lo ocurrido en el Paleustol. Por otra parte, el CC 1, demostró elevada eficiencia en el uso de N del fertilizante, ya que tuvo respuesta en rendimiento similar al CC 3, pero también fue la variedad que más aumentó la proteína. Esta elevada eficiencia de absorción y/o utilización del N por parte del CC 1 podría explicar el mayor rinde respecto al CL 1 (Cox *et al.*, 1986, 1985b; Gaju *et al.*, 2011; Triboi y Triboi-Blondel, 2002).

Como se mencionó anteriormente, a diferencia del Ustipsamment, la fertilización no produjo mejoras relevantes en la producción de los cereales en el Paleustol. Sin embargo, dado que en la campaña más húmeda en el Paleustol los trigos de grupo 3 presentaron niveles de proteína muy bajos, alrededor de 9 %, debería considerarse la aplicación postergada de N, especialmente en años de alto potencial de rendimiento y genotipos de baja partición de N a grano (Cox *et al.*, 1986). Se ha demostrado que dicha práctica en encañazón proporciona mejoras en la concentración proteica de los granos (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010).

La RSP ofrece ventajas para producir granos de trigo de calidad incluso en años húmedos utilizando las variedades del grupo 1, respecto a otras subregiones productivas (Molfese, 2016; Cuniberti, 2016). Dentro de esta subregión (V Sur) los suelos finos con altos contenidos de MO y capacidad de mineralización permiten en años benignos obtener rendimientos elevados manteniendo los estándares de calidad exigidos por la industria y sin recurrir a elevadas dosis de fertilizantes. Mientras que los suelos arenosos profundos otorgan estabilidad de producción tanto en rendimiento como calidad.

Bajo la misma condición climática, la elección del genotipo de trigo fue más determinante que el suelo y la fertilización para lograr la calidad de grano deseada, y es una herramienta accesible para la mayoría de los productores.

Puede decirse que en el Ustipsammet con aporte de napa, el MB y la PEA fueron más dependientes de la producción física de granos que del precio o calidad. En el Paleustol en cambio, fue más probable mejorar estas variables con granos de calidad y por ende mejor precio (Figura 4.16).

4.5 Conclusiones

La producción de cereales con mercados diferenciados, tal como cebada, o con atributos de calidad como los trigos del grupo 1 de calidad industrial, no produjo mejoras evidentes de la rentabilidad en las condiciones del ensayo. En cebada, se debió a que no superó el rendimiento de trigo en la mayoría de los casos, a la dificultad de lograr todos los requisitos de calidad para maltería y a las fluctuaciones de su precio relativo al trigo. Igualmente, los trigos del grupo 1, presentaron en general similar o menor rinde que el grupo 3, entonces debido al bajo porcentaje de bonificaciones por calidad no alcanzaron mejoras consistentes de los índices económicos. No obstante, muchas veces los requerimientos de calidad de los molinos son más exigentes que los determinados en las normas de comercialización. Además, los trigos de baja proteína presentan riesgos de comercialización no contemplados en los índices económicos que hacen menos conveniente su elección frente a los de mayor calidad.

Las condiciones ambientales y el suelo interaccionaron en el rendimiento de los cereales invernales. De esta forma, en el Paleustol se obtuvieron producciones muy elevadas en años húmedos en contraste con el bajo rendimiento de la campaña desfavorable. El Ustipsamment con napa en cambio, brindó rendimientos moderados pero estables, al igual que en calidad. Allí la fertilización fue un factor que aumentó la producción de forma trascendental bajo distintas condiciones climáticas, por lo que debería fomentarse su práctica para mejorar la sustentabilidad de la producción de cereales en esos suelos.

Los parámetros de calidad de cebada cervecera sólo se cumplieron ante elevada disponibilidad hídrica, lo cual ocurre con sólo 10 % de probabilidad en esta región. No hubo variaciones sustanciales de calidad entre suelos, variedades o tratamientos de fertilización. En base a los resultados hallados, puede concluirse que el cultivo de cebada es más riesgoso que el de trigo mientras no haya una cotización más estable o predecible de cebada forrajera. Asimismo, la cebada fue menos productiva que el trigo en el Ustipsamment.

Las características cualitativas de las variedades de trigo fueron muy estables en la RSP, a través de las campañas, suelos y tratamientos de fertilización, alterándose solo ante condiciones muy limitantes, como ocurrió en 2013 en el Paleustol. Entonces, la elección del genotipo de trigo es más determinante que el suelo y la fertilización para lograr la calidad de grano deseada, y es una herramienta accesible para la mayoría de los productores. Dentro de cada grupo de calidad existieron diferencias entre cultivares en

cuanto a potencial de rendimiento, sanidad, y PH que deben tenerse en cuenta al momento de su elección.

Por otra parte, los trigos CC demostraron igual potencial de rinde que los CL, por lo cual constituyen una excelente alternativa para incorporar a las rotaciones, otorgando mayor flexibilidad en la fecha de siembra.

En cuanto al efecto ambiental, se determinó que cebada produce por lo general menor volumen de rastrojo que trigo. Además, al tener bajos rendimientos respecto al trigo en el Ustipsamment, utiliza una menor proporción de agua y nutrientes, lo cual puede acarrear perjuicios ambientales a largo plazo, además de pérdidas económicas. Estos factores deberían considerarse al momento de incorporarla a las rotaciones.

En la RSP, los suelos de textura más fina y moderado contenido de MO, son los más adecuados para la producción de cebada y trigo de calidad. Debido a que allí la EUA, rendimiento y PEA de estos cereales comparados con los trigos del grupo 3 son similares, y a que en años favorables se produce mayor volumen de grano sin perjuicio de la calidad respecto al Ustipsamment. Además, con las variedades adecuadas del grupo 1 puede obtenerse mejor MB en los años de bajos rendimientos en base a las bonificaciones por calidad.

CAPÍTULO V

OLEAGINOSAS INVERNALES

5.1 Introducción

La incorporación de oleaginosas invernales a las rotaciones puede mejorar la eficiencia de uso de agua y nutrientes al seleccionar secuencias de cultivos que tengan distintos patrones de desarrollo radical y, por lo tanto, exploren diferentes sectores del perfil del suelo (Anderson *et al.*, 2003; Copeland *et al.*, 1993; Grant *et al.*, 2002; Moroke *et al.*, 2005). Asimismo, la diversificación de cultivos es una forma de disminuir el riesgo económico (Quiroga *et al.*, 2001; Tanaka *et al.*, 2002) y el impacto de enfermedades y malezas (Angus y Herwaarden, 2001).

En la RSP son escasos los productores que realizan cultivos extensivos “alternativos” a los commodities de mayor difusión en el país (MAGyP, 2017). Esto puede estar relacionado con el gran riesgo climático y económico, al que tampoco escapan los cultivos tradicionales, al que se suma la falta de insumos, de conocimiento sobre su manejo y acceso al mercado. En el capítulo II se ha mencionado que los sistemas agrícolas de la región de planicie con tosca incluyen mayor proporción de cereales invernales en la rotación que en la planicie medanosa. No obstante, no se conoce el grado de adaptación de algunas oleaginosas invernales en ambas subregiones.

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es una oleaginosa que crece desde fines de invierno hasta mediados de verano con antecedentes de buen comportamiento en la RSP (Covas, 1965; Lang, 2011) y en otras regiones semiáridas del mundo (Dordas y Sioulas, 2008; Koutroubas *et al.*, 2009). Actualmente, la mayor producción de Argentina se localiza en provincias del norte, aunque también hubo experiencias exitosas en los valles irrigados de la Patagonia Norte (MAGyP, 2017; Rivas y Matarazzo, 2009). Su sistema radical profundo, espinas xerófitas y su habilidad para ramificar y compensar pérdidas de plantas y flores son atributos que le otorgan resistencia a la sequía y calor, además de permitirle utilizar los nutrientes que se encuentran a mayor profundidad en el perfil del suelo, resultando un cultivo adecuado para sistemas agrícolas de bajos insumos (Elfadl *et al.*, 2009; Grant *et al.*, 2002; Yau y Ryan, 2010). El principal uso del aceite es para consumo humano, reconocido por su alta calidad debido a sus elevados niveles de ácidos grasos “buenos” tales como el linoleico y oleico (Rivas y Matarazzo, 2009). En la actualidad, existen genotipos con altos porcentajes de ácido oleico, con una composición de ácidos grasos muy similar a los girasoles alto oleico y que ofrecen oportunidades en el mercado externo.

Otra oleaginosa, de ciclo invierno-primaveral, de la que poco se conoce en la RSP es la colza (*Brassica napus* L.). Esta especie, es la segunda semilla oleaginosa más producida a nivel mundial, luego de la soja. El consumo de aceite de colza está en constante crecimiento debido a su uso para alimentación humana y para la producción de biocombustibles. Este aceite tiene muy bajos niveles de ácidos grasos saturados por lo que se convierte en un producto de primera calidad y que cubre las exigencias de mercado de la mayoría de los países consumidores (Iriarte y Valetti, 2008).

La colza ha demostrado buen comportamiento en las regiones trigueras (centro-sur y SE bonaerense) (Takashima *et al.*, 2013). Rondanini *et al.* (2012) en una evaluación a nivel mundial, concluyó que el rendimiento de colza es al menos el 40-50 % del rinde de trigo y que dicha proporción aumenta en ambientes pobres para el cereal. Asimismo, en comparación con otros cultivos invernales, la colza tiene la ventaja de crecer también durante el otoño, por lo que puede aprovechar el balance positivo entre precipitaciones/ETP de dicho momento y el N mineralizado con temperaturas moderadas de suelo. Adicionalmente, en los últimos años el cultivo de colza ha recobrado importancia en la región pampeana por sus ventajas frente al trigo como antecesor de cultivos estivales de segunda, en cuanto a fecha de siembra, disponibilidad de agua y nutrientes (Andrade *et al.*, 2015; Restovich *et al.*, 2012)

A diferencia de la mayoría de los cultivos oleaginosos que se producen en época estival, tanto la colza como el cártamo acceden al mercado en otra época del año, incrementando el abastecimiento de la industria sin superponerse con las demás especies oleaginosas. En estos cultivos el parámetro de calidad más importante es el porcentaje de aceite en grano, con el cual se pueden obtener bonificaciones o rebajas en el precio.

En la RSP es poca la información disponible sobre la producción de cultivos no tradicionales. Existen algunas publicaciones referidas al cultivo de cártamo (Covas, 1965; Lang, 2011, Quiroga *et al.*, 2001), pero no hay antecedentes del cultivo de colza en la región. Por lo tanto, se ha recurrido al testimonio de productores y a investigaciones de otras zonas del país para lograr sentar las bases de manejo en la RSP. Asimismo, los resultados de estos ensayos serán de utilidad en el desarrollo del cultivo de estas oleaginosas en la RSP.

5.2 Materiales y Métodos

Durante las campañas 2012/13, 2013/14 y 2014/15 se realizaron ensayos con cártamo y colza en secano en los dos suelos descritos en el capítulo II. En cada suelo se evaluaron un genotipo de cártamo y dos de colza invernal (con bajo requerimiento de vernalización) que variaron levemente en la duración del ciclo (Tabla 5.1). La elección de los genotipos se basó en las recomendaciones y usos en la región. Cabe resaltar que la disponibilidad de materiales de cártamo en el país es muy reducida.

Cada material constituyó un tratamiento y se dispusieron en un diseño en bloques completos al azar, con 4 repeticiones. Para cártamo la unidad experimental estuvo conformada por 13 surcos separados a 35 cm con 25 m de largo, mientras que cada cultivar de colza se sembró en 4 surcos separados a 0,52 m, con 20 m de largo. Cada año se rotaron las parcelas respetando los bloques, de modo que el cártamo se sembró sobre trigo CC y la colza sobre cebada. Además, cada unidad experimental fue dividida en 2 subparcelas para ubicar los tratamientos: fertilizado (Tabla 5.2) y testigo (sin agregado de nutrientes). De este modo quedó conformado un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas por la fertilización.

Tabla 5.1. Descripción de las variedades de cártamo y colza utilizadas durante el ensayo.

Cultivo	Empresa	Variedad	Tipo	Ciclo
Cártamo	Cal West	CW 88-OL	variedad	
Colza	High Tech	Lilian (2012)	Doble haploide	Precoz a intermedio
		Primus (2013 y 2014)	Híbrido	
Colza	High Tech	Sitro	Híbrido	Intermedio a corto

El ensayo se sembró en directa y el manejo se realizó de acuerdo a las recomendaciones para la región, siendo igual en ambos suelos. En la Tabla 5.3 y 5.4, figura la fecha de siembra y el detalle de las aplicaciones de agroquímicos de cada campaña, para cártamo y colza respectivamente.

Tabla 5.2. Momento de fertilización, tipo de fertilizante y dosis de nutrientes para cártamo y colza.

Cultivo	Estado fenológico	Fertilizante y dosis	Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
			N	P	S
Cártamo	Siembra	100 kg FDA (18-20-0)	18	20	
	Elongación	80 kg urea (46-0-0)	36,8		
	Total		54,8	20	0
Colza	Siembra	100 kg SPT (0-20-0)		20	
	Roseta	100 kg cebador ACA (20-9-0-12,5) + 80 kg urea (46-0-0)	56,8	9	12,5
	Botón cubierto	60 kg cebador ACA (20-9-0-12,5) + 80 kg urea (46-0-0)	48,8	5,4	7,5
	Total		105,6	34,4	20

Tabla 5.3. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en cártamo. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea.

Campaña	Herbicidas barbecho/pre-siembra	Fecha siembra	Herbicidas preemergentes	Herbicidas vegetativo	Insecticidas
2012/13	04/05: 3000 cc Glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	21/08 resiembra Ustipsamment: 01/10	22/08: 3000 cc Glifosato (48%) + 850 cc Flurocloridona + 850 cc Metolaclor	10/10: 12 g "Finesse" (Clormurón + Metsulfurón)	05/11: 400 cc Clorpirifós + 100cc Cipermetrina por Chinche roja (<i>Athaumastus haematicus</i>)
2013/14	08/04: 3000 cc Glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	03/09	06/09: 3000 cc Glifosato (48%) + 850 cc Flurocloridona + 850 cc Metolaclor	21/10: 12 g "Finesse" (Clormurón + Metsulfurón) 19/11: 650 cc Haloxifop (12,5%) + 1000 cc aceite mineral	-----
2014/15	30/05: 3000 cc Glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %) + 14/08: 3500 cc Glifosato (48%)	20/08	21/08: 800 cc Flurocloridona + 800 cc Metolaclor	23/10: 5 g Metsulfurón 30/10: 650 cc Haloxifop (12,5%) + 1000 cc aceite mineral	21/08: 30 cc Lambdacialotrina microencapsulada por larva aterciopelada (<i>Chauliognathus scriptus</i>) 28/11: 200 cc de Tiametoxam + Lambdacialotrina por Chinche roja (<i>Athaumastus haematicus</i>)

Tabla 5.4. Fechas de siembra y aplicación de agroquímicos en colza. Las dosis de agroquímicos figuran por hectárea.

Campaña	Herbicidas barbecho/pre-siembra	Fecha siembra	Herbicidas vegetativo	Fungicidas	Insecticidas
2012	22/02: 3000 cc Glifosato (48%) + 400 cc 24D (100 %)	13/03	17/04: 150 cc Clopiralid (40,9%)	12/06: 1000 cc "Opera" (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) por <i>Phoma</i>	03/09: 600 cc Clorpirifós + 40 cc Lambdacialotrina microencapsulada por <i>Plutella xylostella</i>
			25/04: 650 cc Haloxifop (12,5%) + 1000 cc aceite mineral		
2013	18/02: 3000 cc Glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	21/03	09/05: 250 cc Clopiralid (40,9%)	-----	28/08: 800 cc Clorpirifós por <i>Plutella xylostella</i> y pulgón ceniciento (<i>Brevicoryne brassicae</i>) 17/09: re-aplicación Clorpirifós por pulgón ceniciento
2014	28/02: 3000 cc Glifosato (48%) + 500 cc 24D (100 %)	17/03	08/05: 220 cc Clopiralid (40,9%)	13/06: 500 cc "Amistar top" (Azoxistrobina + Difenconazole) por <i>Phoma</i>	11/04: 30 cc Lambdacialotrina microencapsulada por tucuras (<i>Dichroplus spp.</i>) 21/08: 25 cc Cloraniliprole por <i>Plutella xylostella</i>

Para la siembra de cártamo se utilizó una sembradora mecánica de granos finos a 35 cm entre líneas, utilizando una densidad de 22 kg ha⁻¹ (alrededor de 50-60 semillas m⁻²). La colza se sembró de forma manual, en surcos a 0,52 cm de distancia entre sí. En el estado de 2 a 4 hojas se efectuó un raleo para dejar alrededor de 40 plantas m⁻². Los momentos y fertilizantes con los que se agregaron los nutrientes en el tratamiento fertilizado de cada cultivo están descritos en la Tabla 5.2.

5.2.1 Determinaciones

- Probabilidad de excedencia de precipitaciones

La probabilidad de excedencia de precipitaciones se calculó a través de la distribución gamma (Scian, 1995) con el programa Matlab R2014a 8.3.0.532, utilizando los datos de

precipitaciones mensuales históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil, de agosto a enero para cártamo y de marzo a noviembre para colza.

- Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó en cada parcela por el método gravimétrico. Para ello se extrajo la muestra con barreno a intervalos de 20 cm hasta la profundidad de la tosca (100 cm) en el Paleustol y hasta 200 cm en el Ustipsamment. Se realizó un muestreo por bloque en el momento de siembra-emergencia, y uno por parcela en floración y madurez fisiológica, en cada campaña.

Mediante freatrímetros ubicados en el sitio experimental del Ustipsamment, se registró en periodos irregulares la profundidad de la napa.

- Contenido de N-NO₃⁻

Con las muestras de suelo obtenidas en siembra-emergencia de los cultivos, se realizó el análisis de nitratos mediante Nitrachek, utilizando 4 muestras de las profundidades 0-20 cm; 20-60 cm; 60-100 cm. El promedio del contenido de N-NO₃⁻ del perfil en cada campaña se muestra en la Tabla 5.5.

- Estado fenológico

Se registró el cambio de estado fenológico de cada cultivo y/o sus genotipos, cuando fue alcanzado por más del 50 % de las plantas de la parcela. La escala fenológica utilizada para colza fue la elaborada por CETIOM (Francia) y figura en la Tabla 3.1 del Anexo III.

- Densidad

Se contaron las plantas cosechadas en 2,1 m² y 3,12 m², en cártamo y colza respectivamente. Se pasó a hectáreas para obtener la densidad final de cada parcela (pl. m⁻²).

Tabla 5.5. Contenido de N-NO_3^- (kg ha^{-1}) en el perfil del suelo en siembra-emergencia de las oleaginosas invernales en ambos suelos las tres campañas.

		N-NO_3^- (kg ha^{-1})			
		Paleustol		Ustipsamment	
	Profundidad (cm)	Cártamo	Colza	Cártamo	Colza
2012	0-20	5	34	6	5
	20-60	20	17	4	9
	60-100	32	5	11	3
	Total	57	56	21	17
2013	0-20	36	34	19	7
	20-60	14	28	9	8
	60-100	11	16	4	4
	Total	60	78	33	19
2014	0-20	11	24	4	4
	20-60	16	15	4	7
	60-100	14	19	3	5
	Total	41	57	11	16

- Biomasa aérea

En cada campaña en estados vegetativos, floración y madurez fisiológica se determinó la producción de materia seca (MS_v , MS_f , MS_{mf} respectivamente) de cártamo y los dos cultivares de colza. La MS_v y MS_f de cártamo y la MS_v de colza se midieron sólo en los tratamientos fertilizados. Para obtener la biomasa en cada momento se extrajeron muestras de dos surcos por 50 cm lineales por parcela, cortando las plantas con tijera de poda a 2 cm del suelo. Dichas muestras se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante. El resultado se llevó a kg MS ha^{-1} .

- Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE)

En el mismo momento del estado vegetativo y floración en que se muestreó biomasa aérea se extrajeron 5 plantas por parcela fertilizada para determinar área foliar. Las hojas de todas las hojas verdes de cada planta se midieron con un medidor de área foliar Li-Cor modelo LI-3000A. Las mismas hojas se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante para obtener su peso seco. Así, se obtuvo el AFE_f ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) dividiendo el AF de todas las hojas (cm^2) por su peso seco (g) (Songsri *et al.*, 2009).

Por otra parte, se obtuvo el índice de área foliar en estado vegetativo y floración (IAF_v e IAF_f), que indica los m^2 de hoja existentes por m^2 de suelo. Se calculó multiplicando el AF promedio por planta (en m^2) por la densidad de plantas en 1 m^2 .

- Tasa de asimilación neta (TAN)

Con los datos de biomasa y área foliar en estado vegetativo y en floración se calculó la TAN_{v-f} ($g\ m^{-2}\ día^{-1}$) del período:

$$TAN_{v-f} = [(MS_f - MS_v) / (IAF_f - IAF_v)] * [(\ln IAF_f - \ln IAF_v) / t_2 - t_1] \text{ (Sesták et al. 1971)}$$

Donde MS_f ($g\ m^{-2}$) es la materia seca en floración del cultivo, MS_v ($g\ m^{-2}$) es la materia seca en estado vegetativo, IAF_f ($m^2\ m^{-2}$) es el índice de área foliar a floración, IAF_v ($m^2\ m^{-2}$) es el índice de área foliar en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La tasa de crecimiento del cultivo promedio entre estado vegetativo y floración TCC_{v-f} ($g\ m^{-2}\ día^{-1}$) se obtuvo aplicando la fórmula:

$$TCC_{v-f} = [(MS_f - MS_v) / t_2 - t_1]$$

Donde MS_f ($g\ m^{-2}$) es la materia seca en floración del cultivo, MS_v ($g\ m^{-2}$) es la materia seca en estado vegetativo y $t_2 - t_1$ (días) es el período de tiempo transcurrido entre las dos mediciones.

- Abundancia de raíces

En la campaña 2012, en madurez fisiológica de los cultivos, se observó la distribución de raíces en el perfil del cártamo y la variedad “Lilian” de colza, en cada suelo. Se determinó la abundancia de raíces a través de la técnica semicuantitativa descrita por Cárcova *et al.* (2000). Para lo cual se realizó una calicata lindante con una hilera del cultivo. Se descubrieron las raíces removiendo el suelo con un cuchillo y agua a presión utilizando una mochila de pulverización. Luego se colocó una reja en contra de esa pared. La reja tenía 50 cm de ancho y se dividía en cuadros de 5x5 cm, para cada uno de los cuales se estimó la abundancia de raíces mediante una escala de 0 a 5:

0: ausencia raíces

1: raíces escasas

2: raíces moderadas

3: raíces abundantes

4: raíces muy abundantes

5: máxima abundancia observada

Así, para cada perfil de raíces evaluado se obtuvo una grilla de números correspondientes a los valores de abundancia de raíces (del 0-5) de cada cuadro. En cada calicata se evaluaron 3 perfiles de 50 cm de ancho para cada cultivo. La profundidad de observación fue hasta el manto calcáreo en el Paleustol, alrededor de 100 cm, y 190 cm en el Ustipsamment.

- Componentes del rendimiento

En MF de los cultivos se recolectaron al azar 5 plantas por parcela y se contaron los capítulos 1^{ri}os y 2^{ri}os por planta de cártamo y las silicuas por planta de colza. Luego se tomaron 20 capítulos/silicuas y se contaron los granos por unidad, obteniendo un promedio.

- Rendimiento en grano e índice de cosecha

Cuando los cultivos se encontraron en madurez de cosecha se recolectaron manualmente 3 m lineales de 2 surcos centrales de cada parcela, lo que dio una superficie de 2,1 m² en cártamo y 3,12 m² en colza. Las muestras fueron desgranadas con trilladora estática. Luego se pesó la muestra de granos obtenida y se midió el porcentaje de humedad con humidímetro portátil (Tesma Campo) para calcular el rendimiento en kg ha⁻¹ a la humedad comercial de cada cultivo (Rdto) y a 0% de humedad (Rdto_{0%}). La humedad comercial para la que se obtuvo el rendimiento fue de 10 % para cártamo y de 8,5 % para colza “00”/canola.

El índice de cosecha (IC) se calculó como:

$$IC = [Rdto_{0\%}/MSmf].$$

- Peso de mil granos (PMG) y número de granos por m²

Se pesó una muestra por parcela de 500 granos en cártamo y 200 granos en colza, para calcular el PMG (g). El número de granos por m² fue calculado como:

$$\text{Número de granos por m}^2 = [Rdto_{0\%} * 100/PMG].$$

- Cantidad de residuos

En las 3 campañas, se calculó la materia seca de los residuos aportados al suelo (MSr, kg ha⁻¹) restándole el rendimiento a la MSmf:

$$MSr = MSmf - Rdto_{0\%}$$

- Materia grasa

Con las muestras de todos los tratamientos se obtuvo el porcentaje de materia grasa en grano (MG) sobre sustancia seca. Las muestras de ambas oleaginosas fueron analizadas por el método de Butt en el laboratorio de la delegación de MAGyP en Gral. Pico.

- Rendimiento de materia grasa (Rdt_{MG})

Se obtuvo el Rdt_{MG} ($kg\ ha^{-1}$) de cada parcela mediante el siguiente cálculo:

$$Rdt_{MG} = (Rdt_{0\%} * MG) / 100$$

- Uso consuntivo

El uso consuntivo de cada cultivo/genotipo, se obtuvo para los períodos emergencia-floración ($UCe-f$), emergencia-madurez fisiológica (UC) y floración-madurez fisiológica ($UCf-mf$).

El $UCe-f$ se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$UCe-f = AUe + PPe-f - AUf$$

Donde AUe (mm) es el contenido de agua útil en el suelo en emergencia de las plántulas, $PPe-f$ (mm) son las precipitaciones ocurridas entre emergencia y floración, AUf (mm) es el AU en el suelo en floración.

El UC (mm) se obtuvo con la ecuación:

$$UC = AUe + PPe-mf - AUmf$$

Donde $PPe-mf$ (mm) son las precipitaciones ocurridas desde emergencia a madurez fisiológica y $AUmf$ (mm) es el agua útil en el suelo en madurez fisiológica (López y Arrúe, 1997).

Finalmente, el $UCf-mf$ (mm) se calculó mediante la ecuación:

$$UCf-mf = UC - UCe-f$$

- Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a floración (EUA_{MSf} , $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EUA_{MSf} = MSf / UCe-f$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de biomasa aérea a madurez fisiológica (EUA_{MSmf} , $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) se obtuvo con la ecuación:

$$EUA_{MSmf} = MSmf / UC$$

La eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se estimó mediante la ecuación (López y Arrúe, 1997):

$$\text{EUA} = \text{Rdto}_{0\%} / \text{UC}$$

- Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB)

La PEA ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) se calculó como:

$$\text{PEA} = \text{EUA} \times \text{precio}$$

Donde el precio ($\text{u}\$ \text{kg}^{-1}$) es la cotización de mercado de cártamo o colza “00” con las bonificaciones o rebajas correspondientes por contenido de MG.

El MB ($\text{u}\$ \text{ha}^{-1}$) de cada uno de los tratamientos fue calculado para campo propio mediante la sustracción de los costos directos (semilla, fertilizante, plaguicidas, flete, etc.) al ingreso bruto de la producción (Rdto x cotización por unidad).

Los precios de insumos y labores se obtuvieron de las revistas *Agromercado* y *Márgenes Agropecuarios* del mes correspondiente. La cotización de las oleaginosas utilizada en cada campaña figura en la Tabla 5.6. Para obtener el precio final se aplicaron las bonificaciones/descuentos por contenido de MG vigentes en las normas de comercialización IV para cártamo y VIII para colza “00”.

Tabla 5.6. Cotización de cártamo y colza utilizada para el cálculo de la PEA y MB. Mes y fuente en la que se obtuvo.

Campaña	Grano	Cotización ($\text{u}\$ \text{tn}^{-1}$)	Mes	Fuente
2012/13	Cártamo	330	Ene/Feb	Productor (Fava, 2013)
	Colza	460	Dic/Ene	ACA Eduardo Castex Puerto Quequén
2013/14	Cártamo	250	Ene/Feb	Molinos Río de La Plata
	Colza	400	Dic/Ene	Puerto Necochea
2014/15	Cártamo	280	Ene/Feb	Molinos Río de La Plata
	Colza	300	Dic/Ene	ACA Eduardo Castex

5.2.2 Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante Análisis de la Varianza y comparación de medias por el test LSD Fisher ($\alpha=0,05$). Cuando fue necesario se efectuaron análisis de correlación entre variables ($p<0,05$) y Análisis de Componentes Principales (ACP) con

los datos estandarizados. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

5.3 Resultados

5.3.1 Desarrollo fenológico de los cultivos

Las oleaginosas analizadas en este capítulo presentaron distinto ciclo de crecimiento. Mientras la colza es un cultivo otoño-inverno-primaveral, el cártamo se siembra a fines del invierno y extiende su crecimiento hasta la primera parte del verano. De esta manera, los momentos más sensibles para la definición del rendimiento y calidad ocurrieron también en diferentes momentos del año.

Las fechas en las que sucedieron los distintos estados fenológicos del cultivo de cártamo en las tres campañas figuran en la Tabla 5.7. En la campaña 2012, el cultivo se resembró en el Ustipsamment debido a la pérdida de plántulas por heladas, por lo que la fecha de emergencia se registró más de un mes después que en el Paleustol. Dicho retraso causó la reducción de los días de emergencia a floración respecto al Paleustol, aunque las diferencias en el ciclo total fueron de pocos días (Tabla 3.2 Anexo III). En las otras dos campañas, la floración del cártamo ocurrió en la 2ª mitad de diciembre, mientras que alcanzó la madurez hacia fines de enero.

Las colzas invernales sembradas en este ensayo presentan un ciclo de crecimiento largo, entre 8 y 9 meses (Tabla 5.8 y Tabla 3.3 Anexo III). Ambos cultivares transcurrieron su crecimiento vegetativo de abril hasta agosto, momento en que comenzó a elongarse el botón floral. La apertura de flores se inició a principios de septiembre en el cultivar más precoz y a fines de dicho mes en Sitro. El crecimiento de silicuas y granos ocurrió en octubre y noviembre, alcanzando la madurez de cosecha a principios de diciembre o mediados del mismo, dependiendo del genotipo. La escala fenológica utilizada para colza fue la elaborada por CETIOM (Francia) y figura en la Tabla 3.1 del Anexo III. Para este cultivo, no se cuenta con los datos de la campaña 2013 en el Ustipsamment, debido a la pérdida de las parcelas durante los meses de mayo y junio.

Tabla 5.7. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de cártamo en el Paleustol y Ustipsammet, en las 3 campañas. E: emergencia; R: roseta (4 hojas), IE: inicio de elongación; RF: ramificación IF: inicio de floración; MF: madurez fisiológica; y cosecha.

	Campaña	E	R	IE	RF	IF	MF	Cosecha
Paleustol	2012/13	07-sep	05-oct	25-oct	15-nov	17-dic	23-ene	04-feb
	2013/14	01-oct	22-oct	08-nov	25-nov	18-dic	18-ene	24-ene
	2014/15	07-sep	26-sep	19-oct	10-nov	16-dic	15-ene	28-ene
Ustipsammet	2012/13	10-oct	06-nov	21-nov	18-dic	04-ene	18-feb	27-feb
	2013/14	24-sep	20-oct	05-nov	25-nov	18-dic	20-ene	29-ene
	2014/15	05-sep	26-sep	21-oct	10-nov	22-dic	26-ene	10-feb

Tabla 5.8. Fecha en la que se registraron los principales estados fenológicos del cultivo de colza en el Paleustol y Ustipsammet, en las 3 campañas. E: emergencia; B4: inicio de roseta, D1: botón cubierto; F1: inicio de floración; G1: silicuas de 4 cm; G4: coloreado de granos y cosecha.

	Campaña	Cultivares	E	B4	D1	F1	G1	G4	Cosecha
Paleustol	2012	Lilian	20-mar	09-abr	14-ago	12-sep	30-sep	18-nov	03-dic
		Sitro			28-ago	28-sep	10-oct	20-nov	17-dic
	2013	Primus	03-abr	25-abr	20-ago	11-sep	02-oct	22-nov	16-dic
		Sitro			28-ago	30-sep	16-oct	27-nov	26-dic
	2014	Primus	25-mar	23-abr	18-ago	06-sep	26-sep	10-nov	04-dic
		Sitro			26-ago	24-sep	07-oct	20-nov	19-dic
Ustipsammet	2012	Lilian	20-mar	09-abr	14-ago	14-sep	30-sep	21-nov	04-dic
		Sitro			28-ago	30-sep	10-oct	21-nov	20-dic
	2013	Primus	01-abr	02-may					
		Sitro							
	2014	Primus	01-abr	28-abr	21-ago	18-sep	02-oct	10-nov	02-dic
		Sitro			30-ago	28-sep	07-oct	17-nov	09-dic

5.3.2 Condiciones climáticas durante el período de crecimiento del cultivo

En las Figuras 5.1 y 5.2 se presentan las precipitaciones registradas en las tres campañas analizadas durante el ciclo de cártamo y colza respectivamente. Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, las campañas 2012 y 2014 presentaron meses cuyos valores de precipitaciones superaron ampliamente las medias de la región, mientras que 2013 fue

semejante al promedio histórico. No obstante, las precipitaciones de 2014 fueron las más bajas en el mes de diciembre, que es importante para cártamo ya que tiene lugar su floración. Asimismo, enero se caracterizó por presentar escasas precipitaciones en las tres campañas. Por otra parte, las abundantes lluvias de julio/agosto y octubre de 2012 y 2014 pudieron favorecer al cultivo de colza, al ocurrir en momentos críticos de su desarrollo. En 2014, es necesario indicar que ocurrieron precipitaciones de 150 mm a principios de abril, cuando la colza estaba recién emergida.

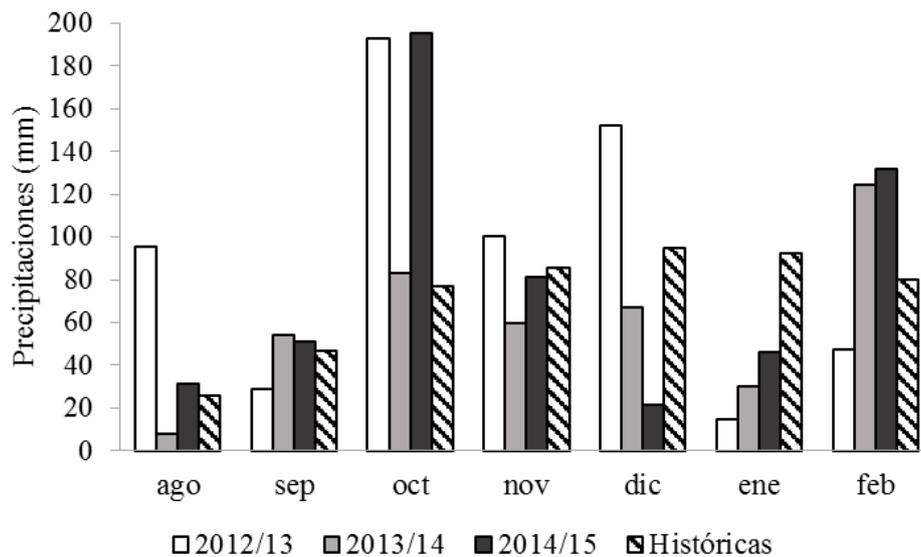


Figura 5.1. Precipitaciones en el ciclo de cártamo en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.

Debido a que ambos cultivos se sembraron después de cereales de invierno, pero en épocas muy distintas, la humedad del suelo a la siembra fue diferente para ellos en los tres años (Figura 5.3). Sin embargo, en el Ustipsamment estuvo siempre por encima de los 150 mm. En el Paleustol, fue generalmente inferior, con el valor más bajo en la siembra de cártamo 2013, cuando fue de 74 mm. En dicho año la siembra de colza en el Paleustol contó con 100 mm más, siendo la mayor diferencia en contenido de AU a la siembra entre las dos especies.

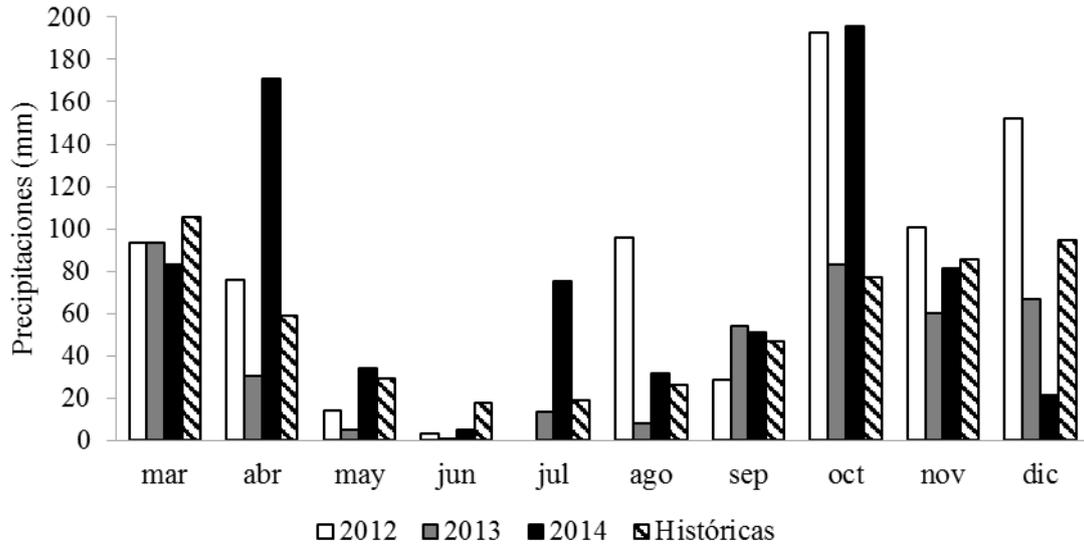


Figura 5.2. Precipitaciones en el ciclo de colza en las tres campañas y precipitaciones históricas (1960-2014) en la EEA INTA Anguil.

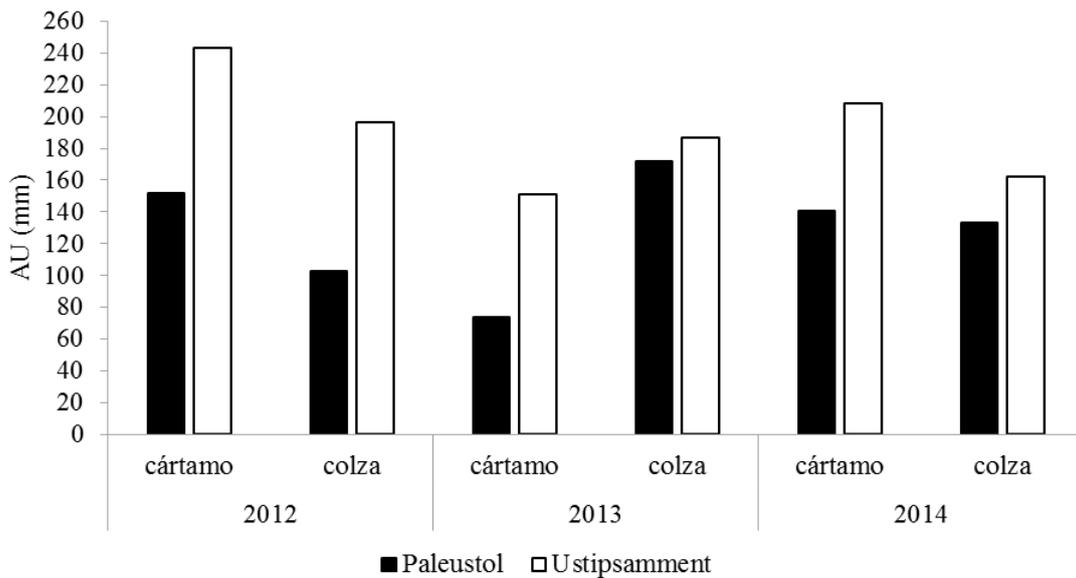


Figura 5.3. Agua útil (AU) a la siembra hasta 1 m de profundidad en el Paleustol y hasta 2 m en el Ustipsammet en cada campaña para cártamo y colza.

En las Figuras 5.4 y 5.5 se muestra la probabilidad de excedencias de precipitaciones en Anguil durante los ciclos de cártamo y colza respectivamente. Para el primero, se observa que lo ocurrido en 2014/15 se asemeja al registro pluviométrico acumulado más probable para dichos meses, correspondiente a 411 mm. Por otro lado, la campaña 2013/14 fue más seca de lo habitual, con 80 % de probabilidad de que se supere dicho valor de precipitaciones. Mientras que la campaña más húmeda 2012/13, sólo tiene 10% de probabilidad de repetirse.

En cuanto a colza, las precipitaciones promedio durante su ciclo corresponden a 450 mm (50 % de probabilidad), valor que no coincidió con ninguna de las campañas evaluadas (Figura 5.5). En los años 2012 y 2014 las precipitaciones excedieron los 600 mm, con 18 y 5 % de probabilidad de ocurrencia respectivamente. En cambio, la lluvia acumulada en el ciclo 2013 (350 mm) tiene 80 % de probabilidad de ser igualada o superada.

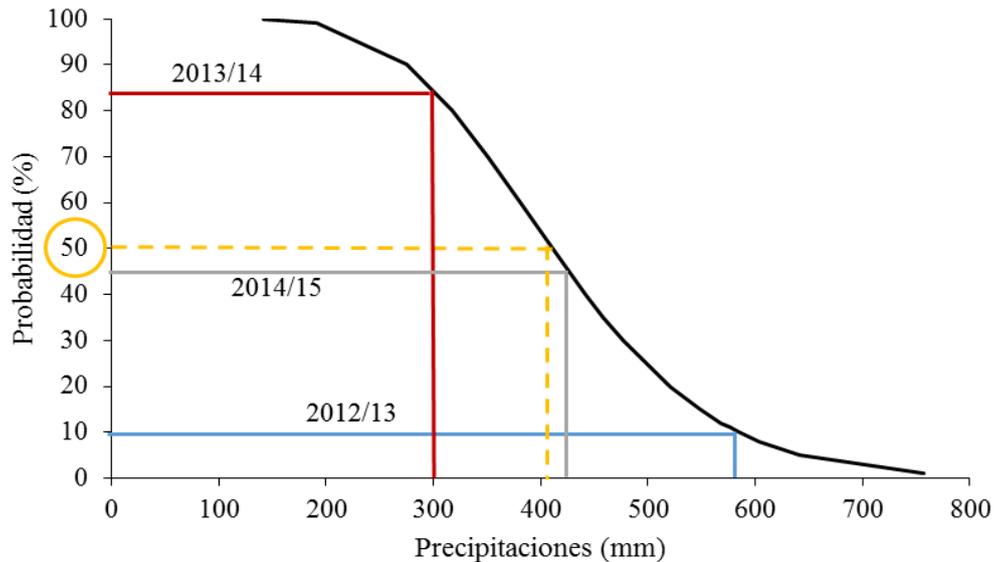


Figura 5.4. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de cártamo (agosto a enero) en Anguil, La Pampa (en base a precipitaciones 1960-2014).

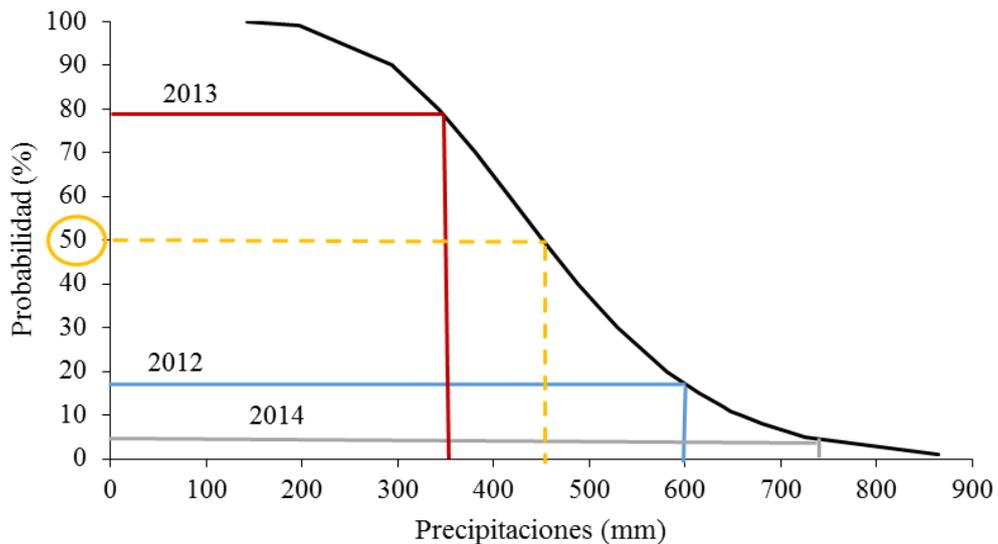


Figura 5.5. Probabilidad de excedencia de precipitaciones durante el ciclo de colza (marzo a noviembre) en Anguil, La Pampa (en base a precipitaciones 1960-2014).

Respecto a las temperaturas, las campañas 2012 y 2013 presentaron mayor cantidad de heladas que la última campaña. En 2012 hubo varios días seguidos con heladas fuertes en el mes de julio, alcanzando hasta 15°C bajo cero a nivel del suelo (Figura 2.1 Anexo II). Dichas temperaturas tuvieron más impacto en la colza del Ustipsamment que en la del Paleustol, y en los tratamientos testigo respecto a los fertilizados (Foto 3.1 Anexo III). A diferencia de la 1ª campaña, en 2013 y 2014, se produjo una helada de 5-6° C bajo cero en abril, antes que la colza alcanzara el estado de roseta, provocando la pérdida de plántulas y área foliar especialmente en el suelo arenoso. En la campaña 2013, una sucesión de heladas intensas en el mes de mayo y la baja disponibilidad de humedad provocaron la pérdida del cultivo en el Ustipsamment. Además, en el mes de septiembre de las campañas 2012 y 2013, se registraron temperaturas de hasta 5°C bajo cero a 1,5 m de altura que pudieron dañar las flores de colza, especialmente de la variedad más precoz. El cártamo también fue afectado por las heladas agronómicas en este mes en el que se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo. La campaña 2012 fue la más perjudicial en este sentido, con heladas de 8°C bajo 0 a 5 cm sobre el suelo (Figura 2.1 Anexo II) que quemaron plántulas, por lo que se debieron resembrar las parcelas del Ustipsamment. En 2013 la siembra y emergencia se postergó por falta de humedad por lo cual se evadió simultáneamente el daño por heladas tardías.

5.3.3 Abundancia de raíces, UC y dinámica de agua en el suelo

En madurez fisiológica de las oleaginosas, campaña 2012/13, se midió la abundancia de raíces en los dos suelos (Figura 5.6). En las Figuras 3.1 y 3.2 del Anexo III se muestra la grilla resultante de la observación en el Paleustol y Ustipsamment, respectivamente. Puede apreciarse que para ambas especies y en los dos suelos, la mayor abundancia de raíces se encontró en los primeros 20 cm de perfil. En el Paleustol los dos cultivos exploraron completamente el perfil hasta la profundidad de tosca. En el Ustipsamment, si bien ambos alcanzaron los 190 cm de profundidad hubo mayor abundancia radical de colza por debajo de los 60 cm.

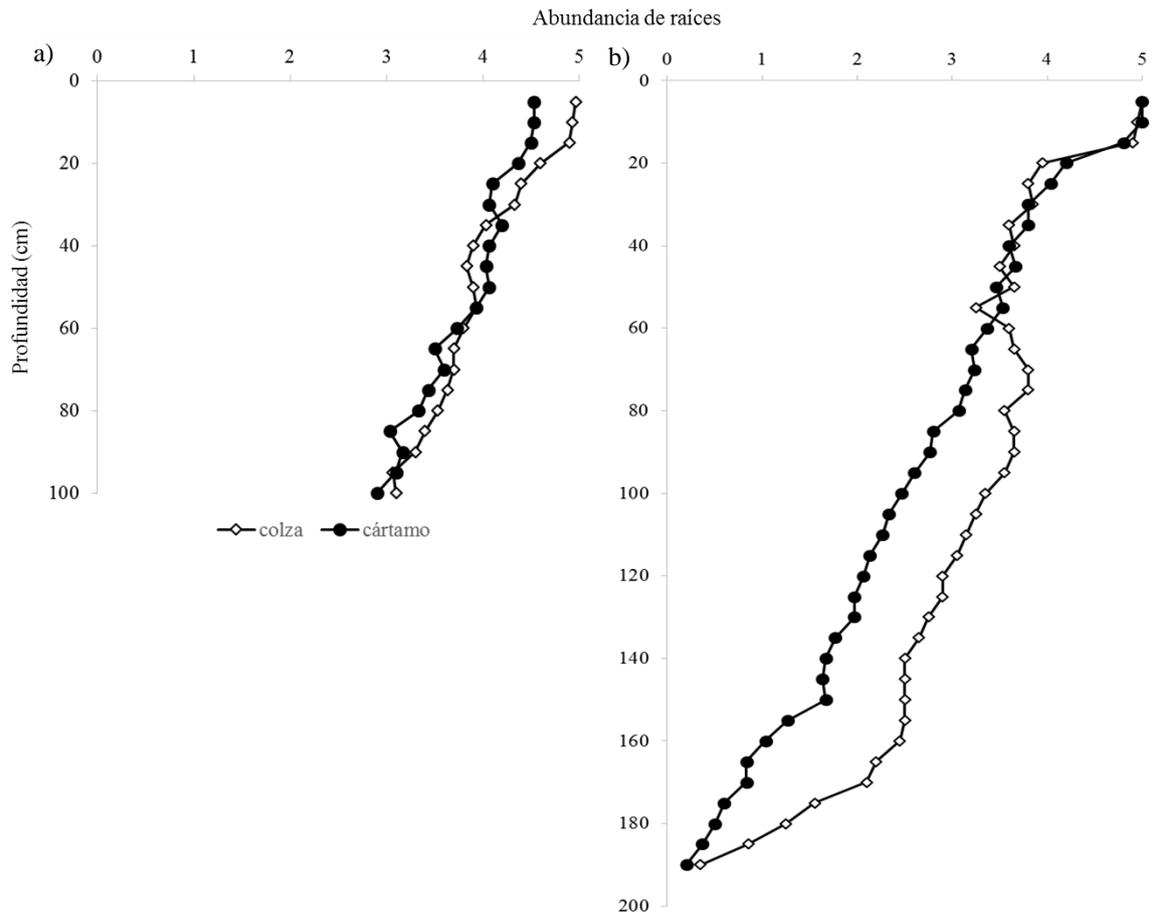


Figura 5.6. Abundancia de raíces (promedio de 50 cm de ancho) de colza y cártamo en a) Paleustol en 100 cm de profundidad y b) Ustipsamment en 200 cm de profundidad.

En la Figura 5.7 se representó el UC de cártamo en cada suelo y campaña. El UC total varió desde 350 mm en 2013 a 640 mm en 2012, siendo similar en los dos suelos en las tres campañas. En cuanto a la distribución del UC entre la etapa vegetativa (UC_{e-f}) y la de fructificación (UC_{f-mf}), se observó que más del 80 % correspondió a la primera en la mayoría de las situaciones. En la última campaña existió una gran diferencia entre suelos en la partición del UC, siendo más equilibrado para el Ustipsamment, con mayor proporción del uso de agua en llenado de grano.

El cultivo de colza presentó un rango de UC similar al cártamo, que fue desde 400 mm en la campaña 2013 en el Paleustol a 600-700 mm en las campañas húmedas en el mismo suelo (Figura 5.8). En el Paleustol la colza consumió en su ciclo unos 60 mm más que en el Ustipsamment. Respecto a los genotipos, los más precoces consumieron entre 16 y 68 mm menos de agua en el total del ciclo que el híbrido Sitro. En la 1ª campaña no se midió el agua del suelo a floración de Lilian por lo cual no se particionó en UC_{e-f} y UC_{f-mf} .

A diferencia del cártamo, en colza el uso del agua estuvo más equitativamente distribuido entre las fases vegetativa y reproductiva. Cabe resaltar una menor proporción de *UC_{f-mf}* en el 2014 en Ustipsammet.

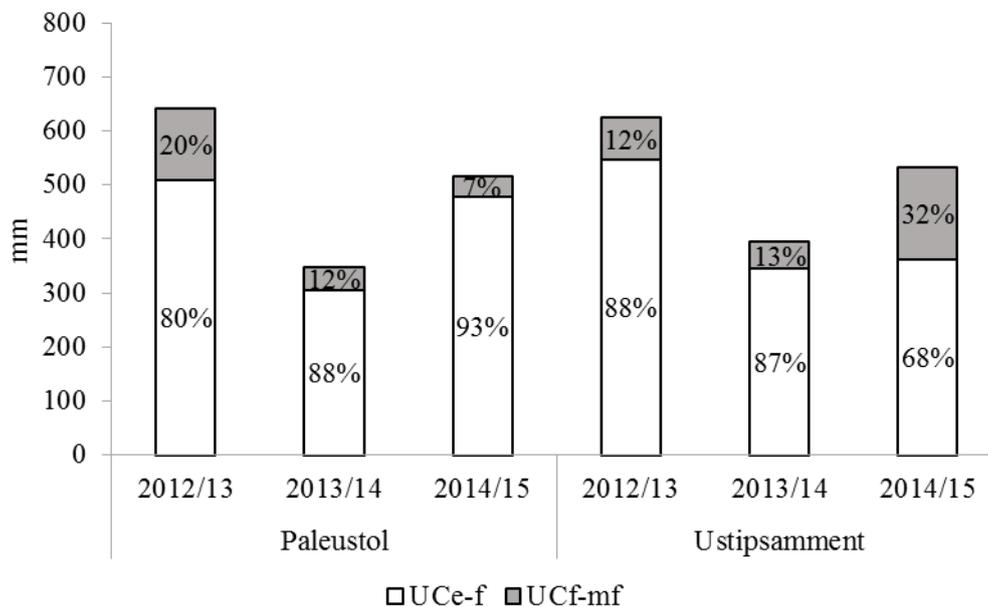


Figura 5.7. Uso consuntivo promedio de cártamo desde emergencia a floración (*UC_{e-f}*) y desde floración a madurez fisiológica (*UC_{f-mf}*), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.

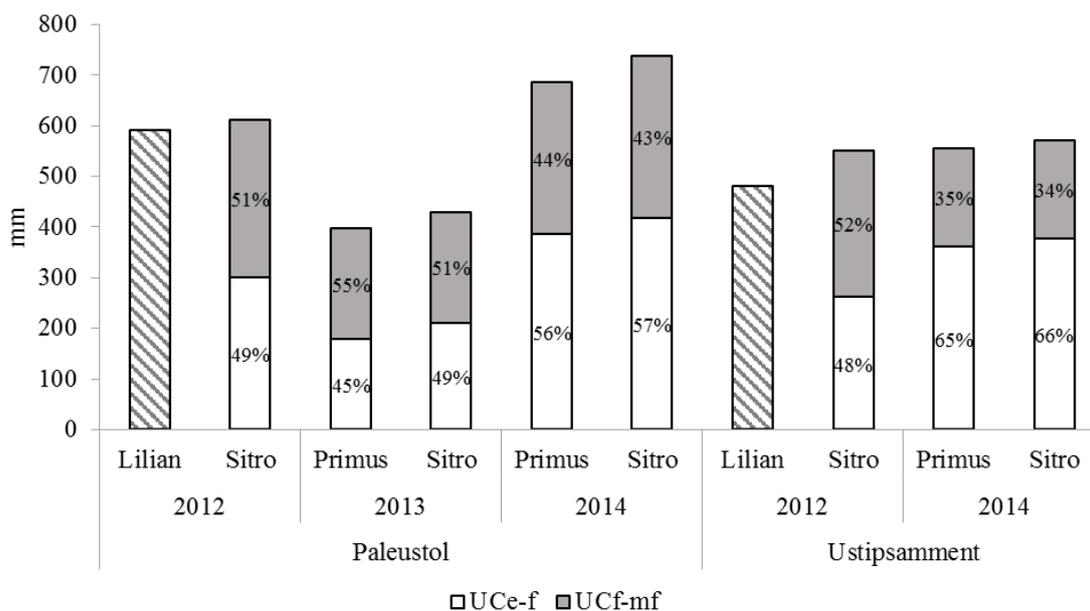


Figura 5.8. Uso consuntivo promedio de los cultivares de colza desde emergencia a floración (*UC_{e-f}*) y desde floración a madurez fisiológica (*UC_{f-mf}*), en cada campaña y en ambos suelos. Se indica el porcentaje que el UC del período representa del UC total.

En las Figura 5.9 y 5.10 se exhibe para cada una de las campañas, el contenido de agua en el perfil del suelo de cártamo y colza respectivamente, en los estados de emergencia, floración y MF. En el 2012 el agua en el suelo a emergencia de cártamo estuvo en capacidad de campo, y fue disminuyendo progresivamente hasta MF, cuando alcanzó PMP en algunos tramos del perfil. El Ustipsamment mantuvo influencia de napa durante todo el ciclo del cultivo, con contenidos de humedad que excedieron la capacidad de campo a partir de los 150 cm. El año siguiente el cultivo se sembró en suelos con contenidos moderados de humedad, especialmente el Paleustol. En floración el perfil estaba cercano a PMP en ambos suelos, con los primeros 20-40 cm recargados por lluvias recientes y con agua disponible por debajo de los 160 cm en el suelo profundo. Desde ese momento a MF las lluvias fueron escasas por lo cual las raíces continuaron extrayendo el agua almacenada dejando el suelo en PMP. Los primeros centímetros se recargaron con lluvias ocurridas los días previos a la medición de humedad. En el Ustipsamment continuó registrándose humedad a los 160 cm. En el 2014, el agua a la siembra estuvo en capacidad de campo, llegando a valores cercanos a PMP en floración en el Paleustol. Por el contrario, en esta etapa el cártamo contó con agua disponible en el Ustipsamment, que consumió hasta alcanzar MF. En el Paleustol la humedad registrada a MF en la capa superficial se debe a la ocurrencia de precipitaciones de 30 mm los días anteriores a la medición, mientras que el resto del perfil no contó con agua disponible.

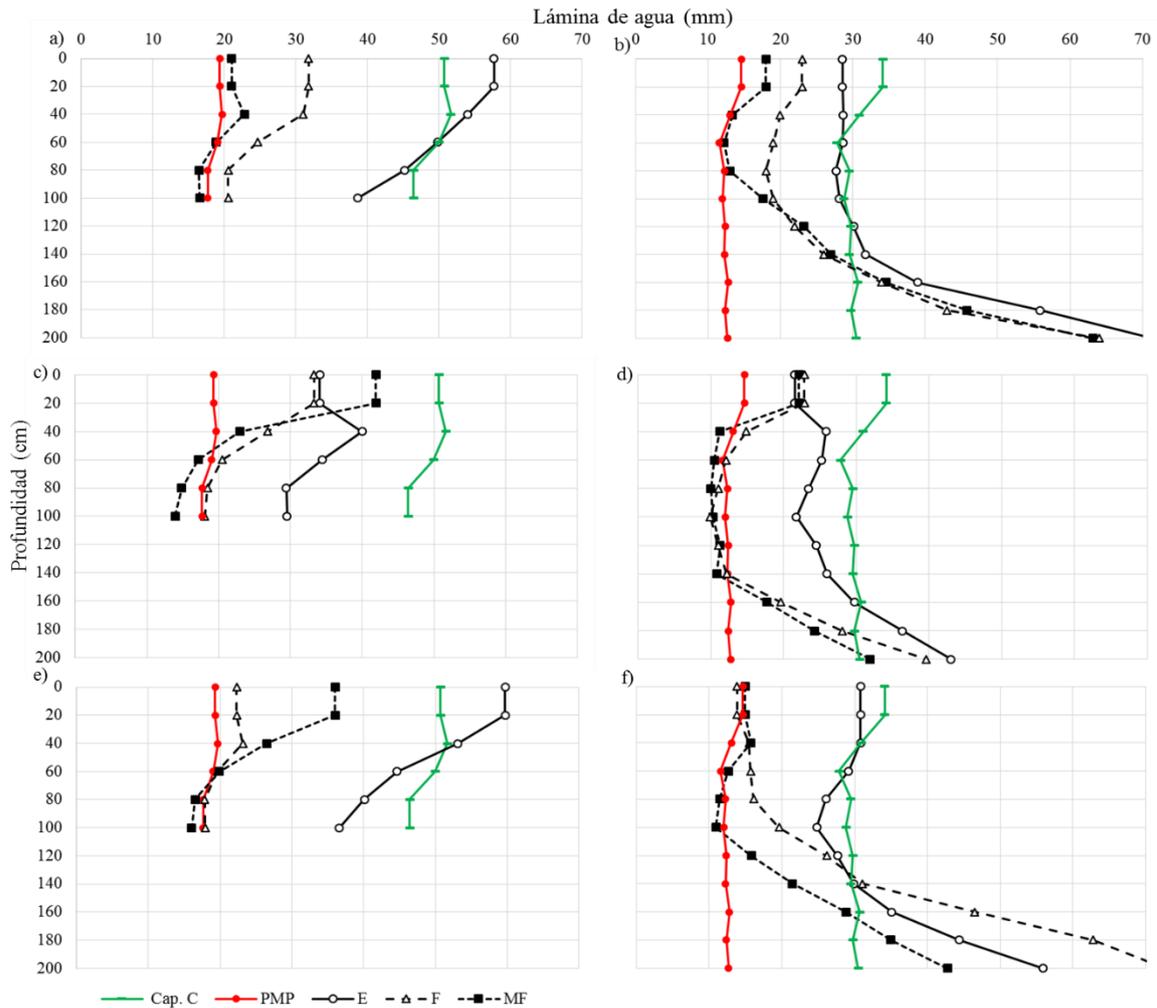


Figura 5.9. Lámina de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (Cap. C), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de emergencia (E), floración (F) y madurez fisiológica (MF) del cultivo de cártamo. En a) 2012/13; c) 2013/14 y e) 2014/15 en Paleustol, y b) 2012/13; e) 2013/14 y f) 2014/15 en Ustipsammet.

En cuanto a la colza, en la campaña 2012 se midió buena disponibilidad de humedad en superficie en el Paleustol, y todo el perfil cargado en el Ustipsammet. En floración, el Paleustol presentó alrededor de 35 mm de agua útil. El Ustipsammet tuvo los primeros 20 cm secos, pero contó con humedad a mayor profundidad. Luego de MF se observó mayor contenido de agua en el perfil en la variedad precoz respecto a Sitro, aunque en ambas estuvo por encima del PMP de los dos suelos. Asimismo, el Ustipsammet estuvo saturado a partir de los 140 cm de profundidad. En el año 2013, el suelo somero se encontraba con todo el perfil por encima de capacidad de campo a la siembra de colza. El cultivar de ciclo más corto contó con unos 40 mm de agua útil a floración, mientras que el más largo recargó la parte superior del perfil con precipitaciones de fines de septiembre, al inicio de floración. Ambos cultivares dejaron poca humedad por debajo de los 40 cm

después de MF, aunque el suelo estuvo a capacidad de campo en los primeros centímetros. Durante el año 2014 la colza tuvo buenas condiciones hídricas en los tres momentos en que se midió la humedad del suelo. En el Ustipsamment se observó influencia de napa a los 160 cm de profundidad. A MF la variedad más precoz, Primus, dejó más humedad en el perfil especialmente en el suelo somero, con 90 mm respecto a los 50 mm de Sitro.

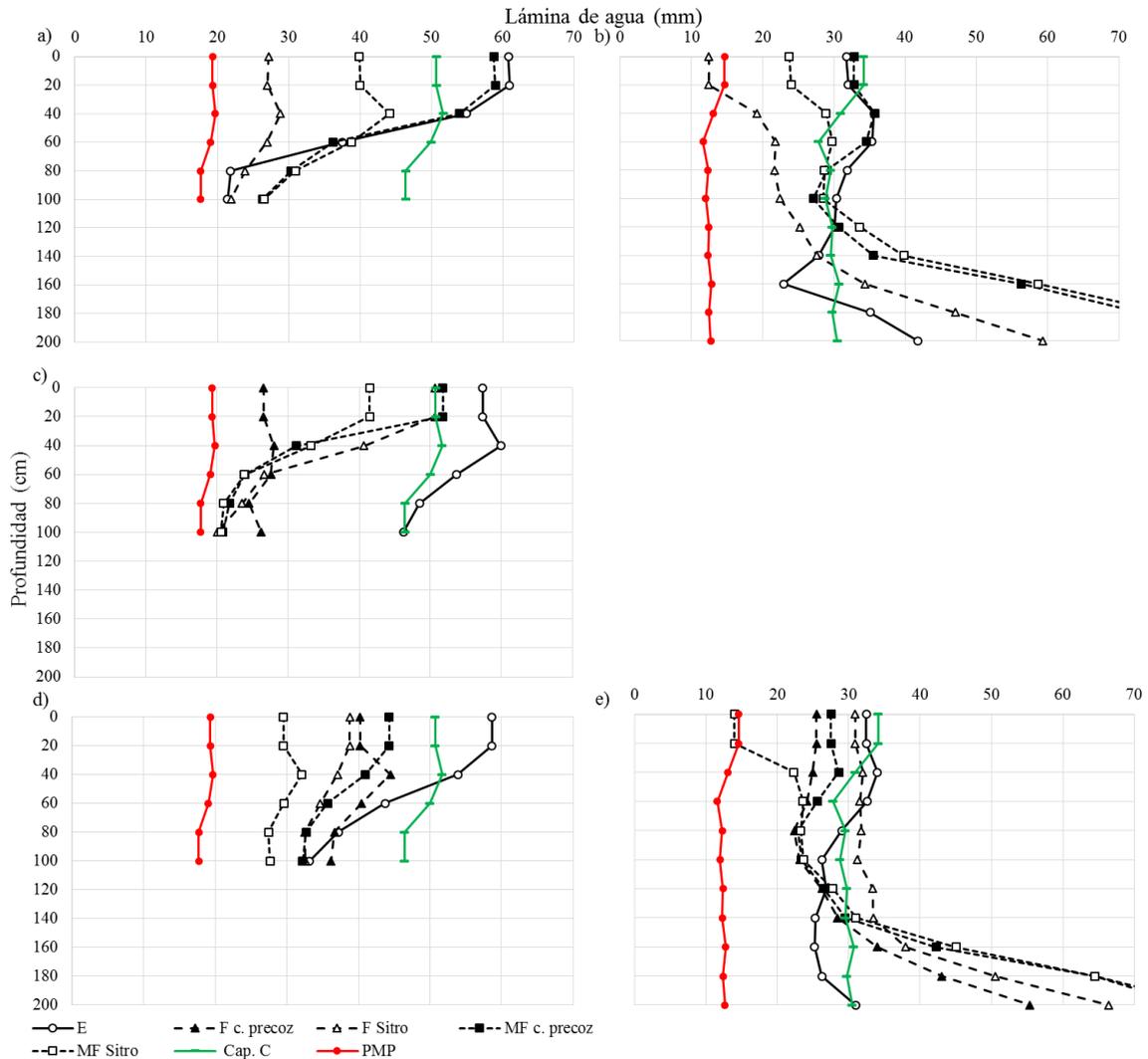


Figura 5.10. Lámina de agua en el perfil del suelo a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y en los momentos de emergencia (E), floración (F) y madurez fisiológica (MF) de los cultivares precoces de colza (c. precoz) y del híbrido Sitro. En a) 2012/13; c) 2013/14 y d) 2014/15 en Paleustol, y b) 2012/13 y e) 2014/15 en Ustipsamment.

5.3.4 CÁRTAMO: Resultados *Paleustol*

Indicadores en floración

En cada campaña se registró en floración el IAF_f, AFE_f, MS_f y EUA_{MS_f} que se muestran en la Figura 3.3 del Anexo III, con su respectivo EE (error estándar). El mayor IAF_f se logró en 2012/13 y 2014/15 con promedios de 1,4 y 1,2 y alta variabilidad entre parcelas, en contraste con el escaso valor alcanzado en 2013/14, con tan sólo 0,4. El AFE_f, varió de 86 cm² g⁻¹ en el año seco, a 139 cm² g⁻¹ el más húmedo. La mayor MS_f y EUA_{MS_f} en el *Paleustol* se dio en la última campaña, en concordancia con la mayor TCC_{v-f} (14,6 g m⁻² día⁻¹). Si bien en 2013/14 se generó la menor biomasa, con TCC_{v-f} de 9 g m⁻² día⁻¹, se destacó la EUA_{MS_f} (16 kg ha⁻¹ mm⁻¹) que fue semejante a la obtenida en 2012/13.

Indicadores en madurez fisiológica

A diferencia de lo ocurrido en floración, en madurez fisiológica la mayor producción de MS_{mf} y MS_r se observó en la campaña 2012/13 (Figura 3.4 Anexo III, p<0.005), de acuerdo con el mayor UC_{f-mf} (Figura 5.7) y duración de la etapa (Tabla 3.2 Anexo III). La EUA_{MS_{mf}} fue similar entre campañas, aunque también fue superior en 2012/13 con 16,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ respecto a 12,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹ en 2013/14 (Figura 3.4 Anexo III). Asimismo, el IC fue en promedio 0,33 en la campaña 2012/13, 0,28 en 2013/14 y 0,27 en 2014/15, nuevamente el valor más alto correspondió a la campaña más favorable. Para ninguna de las variables aquí analizadas existieron diferencias significativas entre tratamientos fertilizados y testigos, ni interacción con la campaña (datos no presentados).

Rendimiento, EUA y componentes del rendimiento

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados productivos del cártamo en las tres campañas en el *Paleustol*. Puede observarse un rendimiento en grano y MG significativamente más alto en 2012/13, que se redujo a casi la mitad en 2014/15 y alcanzó el mínimo en 2013/14. La EUA para producción de granos también fue mayor en la 1^a campaña, mientras no hubo diferencias significativas entre las otras dos, con 3,3 y 3,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹. En cambio, la concentración de MG en grano fue muy semejante en las tres campañas, entre 43 y 44 %. En cuanto a los componentes del rendimiento, el número de granos por m² presentó la

misma tendencia que el rendimiento, mientras que el PMG resultó menor en la última campaña.

Tabla 5.9. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de cada campaña de cártamo en el Paleustol.

Campaña	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ²	PMG (g)
2012/13	3737 a	44,3 a	1534 a	5,4 a	9772 a	35,9 a
2013/14	1235 c	43,7 a	490 c	3,3 b	3145 c	35,8 a
2014/15	2033 b	43,2 a	798 b	3,6 b	5780 b	32,0 b
<i>DMS</i>	<i>379</i>	<i>1,7</i>	<i>181</i>	<i>0,7</i>	<i>1083</i>	<i>1,7</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Es necesario indicar que existió una gran variabilidad entre años en la densidad final de plantas por m² logradas, siendo 11, 14 y 22 plantas m⁻² en las sucesivas campañas. Aunque la campaña 2012/13 presentó la menor densidad de plantas, el número de granos por m² resultó muy superior dada la mayor producción de capítulos primarios y secundarios por planta respecto a las otras campañas, y en menor medida por mayor número de granos por capítulo (Figura 3.5 Anexo III). Por otro lado, en la campaña 2014/15 a pesar de la mayor densidad de plantas el desarrollo de capítulos por planta fue semejante a la campaña seca, lo cual derivó en más elevado número de granos por m² (Figura 3.5 Anexo III y Tabla 5.9).

En cuanto al efecto de la fertilización, se hallaron diferencias significativas en algunas variables con un alfa de 0,10 (Tabla 5.10). El rendimiento de grano y MG, EUA y número de granos por m² fue superior en el tratamiento fertilizado, mientras que el porcentaje de MG y PMG fue semejante para ambos.

Tabla 5.10. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de los tratamientos fertilizado y testigo de cártamo en el Paleustol.

Fertilización	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ²	PMG (g)
Fertilizado	2479 a	44,1 a	1006 a	4,4 a	6637 a	34,5 a
Testigo	2191 b	43,3 a	875 b	3,8 b	5827 b	34,7 a
<i>DMS</i>	<i>255</i>	<i>1,1</i>	<i>121</i>	<i>0,46</i>	<i>721</i>	<i>1,2</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,10$).

Índices económicos

Los índices económicos del cártamo en el Paleustol también fueron más favorables en la campaña de mayores precipitaciones en el ciclo (Tabla 5.11), que además de mayor producción contó con la mejor cotización del cultivo en los tres años (Tabla 5.6). Dado que el contenido de MG fue siempre parecido, el porcentaje de bonificación también lo fue, oscilando entre 20 y 22 %. Debido a ello, los mayores valores absolutos de bonificaciones también se obtuvieron en la 1ª campaña con la mayor cotización.

La fertilización aumentó la PEA de 1,36 a 1,57 ($\alpha=0,10$) aunque no afectó las demás variables económicas.

Tabla 5.11. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña de cártamo en el Paleustol.

Campaña	Precio final (u\$s tn ⁻¹)	PEA (u\$s ha ⁻¹ mm ⁻¹)	MB (u\$s ha ⁻¹)
2012/13	405 a	2,19 a	969 a
2013/14	303 c	0,99 b	8 c
2014/15	337 b	1,21 b	221 b
<i>DMS</i>	<i>10,3</i>	<i>0,27</i>	<i>135</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p<0,05$).

5.3.5 CÁRTAMO: Resultados Ustipsamment

Indicadores en floración

En el Ustipsamment, el mayor IAF_f se observó en 2012/13 y 2014/15, con valores de 1,2 y 1,1 respectivamente, similares a los obtenidos en el Paleustol (Figura 3.6a Anexo III). El AFE_f no varió apreciablemente entre las 2 primeras campañas, alcanzando el máximo con 147 cm² g⁻¹ en la última. La MS_f y EUA_{MS_f} se presentan en la Figura 3.6b del Anexo III. La MS_f fue más alta en 2012/13, con 7300 kg ha⁻¹ a pesar del menor período de emergencia a inicio de floración (Tabla 3.2 Anexo III). En relación a ello, en dicha campaña se registró la mayor TCC_{v-f} (23,4 g m⁻² día⁻¹). La EUA_{MS_f} estuvo entre 10 y 13 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Indicadores en madurez fisiológica

En contraposición con los resultados en floración, en MF la mayor acumulación de MS_{mf} y MS_r ocurrió en 2014/15, así como la más alta $EUA_{MS_{mf}}$, superando a los valores alcanzados en 2012/13 ($p < 0,05$). En correspondencia, se dio el más alto UC_{f-mf} gracias al aporte de la napa. Los valores más bajos de MS se obtuvieron en la campaña seca, aunque estadísticamente no se diferenciaron de 2012/13, cuando el cultivo fue resembrado en octubre (Figura 3.7 Anexo III).

En este suelo el IC de cada año se asemejó al obtenido en el Paleustol, con 0,35 en 2012/13 y 0,27 en los siguientes.

Si bien en los años más húmedos se apreció mayor producción de MS en las parcelas fertilizadas, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (datos no presentados).

Rendimiento, EUA y componentes del rendimiento

El mayor rendimiento del cártamo en el Ustipsamment se logró en la campaña 2014/15 con 2930 kg ha^{-1} que no se diferenció estadísticamente del obtenido en la 1ª campaña (Tabla 5.12). En la campaña seca la producción de granos cayó un 50 %, al igual que el Rdt_{MG} . No hubo diferencias en el porcentaje de MG entre campañas, aunque numéricamente fue más bajo en el año en que se resembró (2012/13). Los valores de EUA de las 3 campañas estuvieron en el rango de los obtenidos en el Paleustol. A diferencia del rendimiento, la EUA en este suelo fue significativamente inferior en 2012/13 respecto a los $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtenidos en 2014/15, mientras la menor EUA fue de $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ en 2013/14. El número de granos por m^2 siguió la tendencia del rendimiento y por el contrario el PMG fue más alto en 2013/14 (Tabla 5.12). Este último fue entre 3 y 5 g mayor que en el Paleustol, dependiendo la campaña.

Respecto a la distribución entre los componentes del número de granos m^{-2} , la densidad fue de 26, 13 y 17 plantas m^{-2} en las sucesivas campañas. En 2012/13 hubo mayor número de capítulos primarios y en 2014/15 mayor proporción de capítulos secundarios por planta. En esta última campaña se encontró más elevado número de granos por capítulo, especialmente en los secundarios (Figura 3.8 Anexo III).

Tabla 5.12. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de cada campaña de cártamo en el Ustipsamment.

Campaña	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ⁻²	PMG (g)
2012/13	2683 a	42,9 a	1048 a	3,9 b	6304 a	39,2 ab
2013/14	1436 b	44,1 a	578 b	3,2 c	3206 b	40,9 a
2014/15	2930 a	44,6 a	1183 a	5,0 a	7075 a	37,7 b
<i>DMS</i>	428	2,0	171	0,6	866	1,9

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD p<0,05).

En la Tabla 5.13 puede apreciarse que la fertilización generó una respuesta promedio en el rendimiento de grano de casi 500 kg ha⁻¹, principalmente por la mejora del número de granos por m². También tuvo un impacto positivo en el rendimiento de MG y EUA. La interacción campaña*fertilización resultó relevante para la EUA, con p=0,072, dado que en la campaña con menos precipitaciones (2013/14) no existieron diferencias entre tratamientos.

Tabla 5.13. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de los tratamientos fertilizado y testigo de cártamo en el Ustipsamment.

Fertilización	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ⁻²	PMG (g)
Fertilizado	2554 a	43,7 a	1017 a	4,4 a	5955 a	39,9 a
Testigo	2096 b	44,0 a	838 b	3,7 b	5102 b	38,6 a
<i>DMS</i>	349	1,6	139	0,5	703	1,5

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD p<0,05).

Índices económicos

En el Ustipsamment también se observaron diferencias importantes del MB según la campaña. El mayor MB de cártamo se obtuvo en la primera campaña junto con el mejor precio final. Si bien el MB en 2014/15 fue mucho menor, las PEAs de ambas campañas fueron similares. En 2013/14 todos los índices económicos fueron los más bajos de los 3 años evaluados (Tabla 5.14). La PEA, al igual que la EUA, mostró interacción campaña*fertilización (p=0.05), de modo que en las campañas húmedas las parcelas

fertilizadas tuvieron PEAs levemente mayores que las del testigo, pero fueron iguales en 2013/14. Sin embargo, el precio final y el MB no fueron afectados por la fertilización.

Tabla 5.14. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada campaña de cártamo en el Ustipsamment.

Campaña	Precio final (u\$ s tn^{-1})	PEA (u\$ $\text{s ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)	MB (u\$ s ha^{-1})
2012/13	395 a	1,54 a	715 a
2013/14	306 c	0,99 b	38 c
2014/15	345 b	1,72 a	454 b
<i>DMS</i>	<i>11,6</i>	<i>0,21</i>	<i>228</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

5.3.6 COLZA: Resultados Paleustol

Indicadores a floración

En la Figura 3.9 del Anexo III se muestran los promedios por campaña de IAF f , AFE f , MS f , y EUA $_{MSf}$ para el tratamiento fertilizado del cultivar Sitro. En el suelo somero, el IAF f fue mayor a 3 en la campaña 2012 pero descendieron a 1,9 y 2,4 en las siguientes. Contrariamente, el AFE f fue menor en la última campaña con 185 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. La MS f fue semejante en las dos campañas húmedas, con más de 9000 kg ha^{-1} , significativamente mayor a la obtenida en 2013. La MS f resultó mayor en las parcelas fertilizadas ($p < 0,0001$) mientras que no hubo diferencias significativas entre cultivares en este parámetro, ni en EUA $_{MSf}$ ($p > 0,1$). Las mayores TAN $v-f$ y TCC $v-f$ se registraron en 2014 (datos no presentados).

Indicadores en madurez fisiológica

La producción más alta de MS mf ocurrió en 2014, aunque en la campaña seca se obtuvo la mayor EUA $_{MSmf}$, con 12,7 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ (Figura 5.11). La MS r e IC presentaron interacción campaña*fertilización, de modo que en 2014 la MS r fue más alta en parcelas testigo que a la vez tuvieron menor IC (0,19 y 0,31 en testigo y fertilizado, respectivamente). En todas las variables medidas en MF hubo interacción cultivar*fertilización (Tabla 3.4 Anexo III). Si bien en el tratamiento fertilizado no hubo diferencias entre cultivares, en las testigo el cultivar más largo (Sitro) presentó mayor

MS_{mf} , $EUA_{MS_{mf}}$ y MSr , observándose respuesta negativa a la adición de nutrientes en estas variables. El IC, en cambio, fue siempre mayor en el cultivar precoz respecto a Sitro, sin embargo, las diferencias sólo fueron significativas en 2012 con valores de 0,58 y 0,28 para Lilian y Sitro (campaña*cultivar $p=0,0014$).

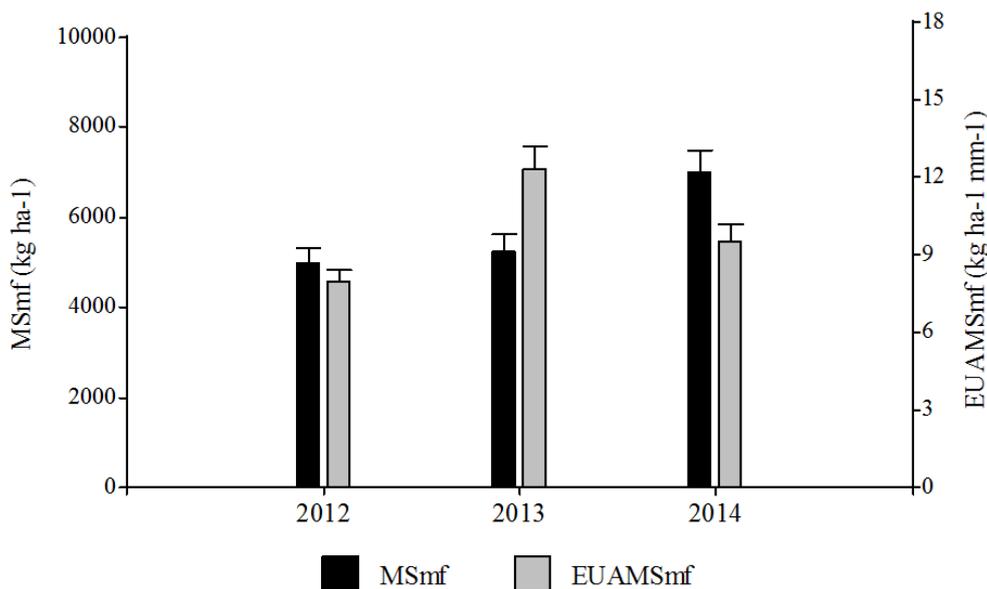


Figura 5.11. Materia seca (MS_{mf}) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS ($EUA_{MS_{mf}}$) en madurez fisiológica de colza en el Paleustol. Las barras indican EE.

Rendimiento, EUA y componentes del rendimiento

Para las variables rendimiento de grano y MG y EUA existió interacción (campaña*cultivar*fertilización), y los resultados se muestran en la Tabla 5.15. Se observa que el cultivar precoz tuvo mejores resultados que Sitro en la campaña 2012 y en el tratamiento fertilizado de 2014. Sin embargo, no hubo diferencias entre ellos en la campaña más seca, en la cual el cultivar precoz alcanzó resultados semejantes a las campañas húmedas, y el cultivar de mayor ciclo exhibió mejor comportamiento. Por otra parte, el efecto de la fertilización sólo se observó en 2014 para el cultivar precoz, cuando aumentó el rendimiento en 1000 kg ha⁻¹, conjuntamente con el Rdt_{MG} y la EUA.

El número de granos por m² siguió la misma tendencia del rendimiento, con el que tuvo una correlación altamente significativa ($p<0,0001$ y $r=0,93$). Los componentes del número de granos por m² se representaron en la Figura 3.10 del Anexo III para el cultivar Sitro fertilizado. Se produjeron 190 a 225 silicuas por planta, con los valores más altos en 2012. El número de granos por silicua en cambio, fue más alto en 2014 con 22 granos.

Las mayores diferencias entre campañas se dieron en la densidad final de plantas, que fue menor en 2014 con un promedio de 13 plantas m^{-2} en comparación a las 28 y 23 plantas m^{-2} de 2012 y 2013, respectivamente. La fertilización sólo aumentó los granos por silicua, en la campaña 2012 (campaña*fertilización $p=0,03$).

Por otro lado, el PMG no se relacionó con el rendimiento ($p>0,72$), y fue menor en 2012 que en las campañas siguientes ($p=0,0001$). Además, el cultivar de mayor ciclo tuvo PMG promedio de 4,3 g frente a 3,9 g del ciclo corto ($p<0,0001$).

El contenido de MG osciló entre 41 y 43,7 %, correspondiendo los mayores valores a las campañas húmedas 2012 y 2014. No hubo diferencias entre cultivares y únicamente en la 1ª campaña el tratamiento testigo presentó significativamente más MG que el fertilizado (campaña*fertilización $p=0,003$).

Tabla 5.15. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}) y eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) de cada cultivar de colza en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Cultivar	Rdto (kg ha ⁻¹)		Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012						
Precoz	2477 a (A)	2480 a (A)	952 a (A)	1008 a (A)	3,8 a (A)	3,9 a (A)
Sitro	1735 b (A)	1730 b (A)	659 b (A)	685 b (A)	2,6 b (A)	2,6 b (A)
2013						
Precoz	2328 a (A)	2138 a (A)	880 a (A)	807 a (A)	5,4 a (A)	5,0 a (A)
Sitro	2230 a (A)	2164 a (A)	848 a (A)	825 a (A)	4,8 a (A)	4,7 a (A)
2014						
Precoz	2325 a (A)	1392 a (B)	917 a (A)	547 a (B)	3,1 a (A)	1,9 a (B)
Sitro	1567 b (A)	1637 a (A)	592 b (A)	642 a (A)	1,9 b (A)	2,1 a (A)
<i>DMS</i>	<i>364</i>		<i>143</i>		<i>0,75</i>	

Dentro de cada campaña, letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD $p<0,05$).

Índices económicos

Los resultados económicos de colza en el Paleustol figuran en las Tablas 5.16 y 5.17. El precio final fue en disminución en las sucesivas campañas, no cambió con el cultivar, y fue afectado por la fertilización sólo en la 1ª campaña, cuando la bonificación por MG del tratamiento testigo fue más alta. Por su parte, la PEA presentó interacción campaña*cultivar, alcanzando los mayores valores en 2013 y los menores en 2014, tal

como en EUA. Asimismo, tanto en PEA como MB, el cultivar precoz superó de manera significativa al más largo en 2012. El MB también fue disminuido por la fertilización en las dos primeras campañas, aunque en 2014 las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 5.16).

Tabla 5.16. Precio final y margen bruto (MB) de los tratamientos fertilizado y testigo de colza en cada campaña en el Paleustol.

Campaña	Precio final (u\$ s tn $^{-1}$)		MB (u\$ s ha $^{-1}$)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012	453 a (A)	462 a (B)	243 b (B)	538 a (A)
2013	392 b (A)	393 b (A)	362 a (B)	511 a (A)
2014	297 c (A)	299 c (A)	112 b (A)	180 b (A)
<i>DMS</i>	4,8		115	

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre campañas y mayúsculas entre fertilizado y testigo ($LSD p < 0,05$).

Tabla 5.17. Productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de ambos cultivares de colza en cada campaña en el Paleustol.

Campaña	PEA (u\$ s ha $^{-1}$ mm $^{-1}$)		MB (u\$ s ha $^{-1}$)	
	Precoz	Sitro	Precoz	Sitro
2012	1,78 a (A)	1,18 b (B)	544 a (A)	237 b (B)
2013	2,05 a (A)	1,86 a (A)	441 a (A)	432 a (A)
2014	0,74 b (A)	0,65 c (A)	165 b (A)	127 b (A)
<i>DMS</i>	0,27		115	

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre campañas y mayúsculas entre cultivares ($LSD p < 0,05$).

5.3.7 COLZA: Resultados Ustipsamment

Indicadores a floración

Los resultados de las variables medidas en colza Sitro en floración en el Ustipsamment, se presentan en la Figura 3.11 del Anexo III. En general, estos indicadores tomaron valores más bajos que en el Paleustol. El IAF f fue de 1,8 en promedio en 2012 y tan sólo 0,3 en 2014. La MS f de las parcelas fertilizadas tomó valores de 4600 y 3600 kg en 2012 y 2014 respectivamente, siendo superiores a las parcelas testigo ($p=0,0002$). La EUA_{MSf}

también fue mayor en 2012, con $18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Figura 3.11b Anexo III), aunque las mayores TAN_{v-f} y TCC_{v-f} se registraron en 2014 (datos no presentados).

Indicadores en madurez fisiológica

En la Figura 3.12 (Anexo III) se graficó la MS_{mf} , MS_r y $\text{EUA}_{\text{MS}_{mf}}$ de los dos cultivares de colza, fertilizados, en cada campaña en el Ustipsamment. En el año 2012, la producción de MS de Sitro fue mayor que en el Paleustol, y se diferenció significativamente del cultivar más corto. En 2014, en cambio se generó menor biomasa, con un promedio de 4700 kg ha^{-1} , sin diferencias entre cultivares. Es necesario resaltar, que esta última campaña el cultivo de colza en el Ustipsamment fue poco productivo debido en parte por el dañado de heladas y plagas, como *Plutella* y larvas de un díptero barrenador, que no fueron eficazmente controladas, provocando vuelco y secado anticipado de plantas. La pérdida de repeticiones y considerable variabilidad entre muestras no permitió la realización de análisis estadísticos.

La fertilización mejoró apreciablemente estas tres variables en el Ustipsamment ($p < 0,05$), de tal manera que en 2012, la MS_r promedio que dejaron las parcelas fertilizadas fue de 4800 kg ha^{-1} , casi 1600 kg más que las testigo.

El IC fue de 0,32 en 2012, sin diferencias por cultivar o fertilización ($p > 0,1$) y de sólo 0,15 en 2014.

Rendimiento, EUA y componentes del rendimiento

En la Tabla 5.18 se comparan los resultados de producción de colza obtenidos en las dos campañas, sólo para los tratamientos fertilizados ya que no se obtuvieron repeticiones de las parcelas testigo en 2014. Puede observarse que en 2012, la EUA y el rendimiento de grano y MG, triplicaron a los obtenidos en 2014. Al igual que en el Paleustol, se halló una estrecha relación del rendimiento con el número de granos ($r = 0,99$, $p < 0,0001$), aunque también fue significativa con el PMG ($r = 0,67$, $p = 0,0067$). Las densidades logradas fueron de 23 y 11 plantas m^{-2} en 2012 y 2014 respectivamente. Además, en 2012 las plantas tuvieron más elevado número de silicuas por planta, mientras los granos/silicua se mantuvieron en alrededor de 20 (Figura 3.13 Anexo III).

En lo que respecta a las variedades, en la Tabla 3.5 (Anexo III) se muestran los resultados analizados para cada campaña. En el año de mayores rendimientos, el ciclo intermedio

alcanzó mejores resultados, mientras que en 2014, si bien hubo una leve ventaja del ciclo corto, no se detectaron diferencias significativas entre ambos.

Además, en 2012 se analizó estadísticamente el efecto de la fertilización, y los resultados fueron significativamente superiores para el tratamiento fertilizado en todas las variables con excepción de contenido de MG y PMG (Tabla 3.6 Anexo III).

Tabla 5.18. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) del tratamiento fertilizado de colza en las campañas 2012 y 2014 en el Ustipsamment).

Campana	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ⁻²	PMG (g)
2012	2315 a	41,4 a	882 a	4,1 a	48188 a	4,5 a
2014	751 b	41,2 a	285 b	1,2 b	17201 b	4,0 b
DMS	336	0,68	128	0,68	7211	0,11

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

Índices económicos

Los resultados económicos fueron visiblemente más favorables en 2012, tanto por la mejor cotización del cultivo como por los resultados productivos, incluso en 2014 los MB fueron negativos (Tabla 5.19). El precio final fue algo superior en el cultivar ciclo corto, sin embargo, en 2012 los mejores resultados económicos fueron obtenidos con Sitro. La fertilización tuvo efectos en la PEA en 2012 ($p=0.0087$), aumentándola de 1,25 a 1,87 u\$s ha⁻¹ mm⁻¹. En 2014, como se mencionó, no hay datos económicos ya que las parcelas testigo tuvieron notables dificultades de implantación.

Tabla 5.19. Precio final, productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de ambos cultivares de colza en cada campaña en el Ustipsamment.

Cultivar	Precio Final (u\$ $s\ tn^{-1}$)	PEA (u\$ $s\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)	MB (u\$ $s\ ha^{-1}$)
2012			
Precoz	455 a	1,38 b	170 b
Sitro	450 a	1,74 a	432 a
<i>DMS</i>	5,5	0,2	142
2014			
Precoz	296 a	0,40 a	-230 a
Sitro	293 b	0,33 a	-269 a
<i>DMS</i>	3,5	0,07	55

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

5.3.8 Comparación de ambas oleaginosas

En la Tabla 5.20 se muestran los resultados del análisis de varianza para EUA, PEA y MB de colza y cártamo en cada suelo. La interacción cultivo*campaña fue significativa en todas las variables. En la campaña 2012 en el Paleustol, el cártamo fue más ventajoso tanto en EUA como en índices económicos, el MB fue muy superior a pesar de que su precio fue 50 u\$ s más bajo. En el Ustipsamment, no hubo diferencias significativas entre cultivos en EUA y PEA, aunque sí en MB. Cabe resaltar la amplia diferencia en MB de dicha campaña, principalmente en el Paleustol. En la campaña siguiente, con bajas precipitaciones, la colza logró mejores resultados que el cártamo en el Paleustol, ya que este último apenas cubrió los costos de producción. Sin embargo, mientras la crucífera ni siquiera completó el ciclo en el suelo arenoso, el cártamo alcanzó EUA de 3,2 kg $ha^{-1}\ mm^{-1}$ y MB promedio de 32 u\$ $s\ ha^{-1}$ (Tablas 5.12 y 5.14). En la última campaña, que fue la más húmeda para colza pero cercana al promedio en cártamo, nuevamente se diferenciaron claramente los suelos. En el suelo somero ambos cultivos se comportaron de manera similar, con cierta superioridad no significativa del cártamo que presentó mejor precio. Mientras que en el Ustipsamment, la colza alcanzó una muy baja producción y MB negativo, cuando el cártamo obtuvo los mejores resultados productivos de las 3 campañas (Tabla 5.12).

Tabla 5.20. Eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) de cártamo y colza en cada campaña en el Paleustol y Ustipsamment.

	Cultivo	EUA (kg ha ⁻¹ mm ¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ¹)	MB (u\$ ha ⁻¹)
2012/13				
Paleustol	cártamo	5,2 a	2,19 a	969 a
	colza	3,2 b	1,48 b	390 b
	2013/14			
	cártamo	3,5 b	0,99 b	8 b
	colza	5,0 a	1,95 a	436 a
	2014/15			
	cártamo	3,1 a	1,21 a	221 a
	colza	2,7 a	0,82 b	146 a
	<i>DMS</i>	<i>1,1</i>	<i>0,24</i>	<i>134</i>
2012/13				
Ustipsamment	cártamo	3,9 b	1,54 a	715 a
	colza	3,5 b	1,56 a	301 b
	2014/15			
	cártamo	5,0 a	1,72 a	454 a
	colza	0,9 b	0,26 b	-194 b
	<i>DMS</i>	<i>0,90</i>	<i>0,34</i>	<i>170</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$).

5.4 Discusión

5.4.1 *Análisis económico de los cultivos*

Al comparar ambas oleaginosas puede observarse que el cártamo ofreció mayor estabilidad de producción y precio que la colza (Tabla 5.20). No obstante, el MB de ambos cultivos fue muy variable, en parte debido a que el año con menor rinde para cada cultivo coincidió con su precio más bajo. La colza contó con elevada cotización en los primeros años del estudio, sin embargo, fue cayendo en las sucesivas campañas. En la actualidad se ha estabilizado alrededor del precio del 2014, superando modestamente al del girasol (Jovicer, 2018). Asimismo, la cotización del cártamo suele basarse en la mencionada oleaginosa estival, con la ventaja que se cosecha con anterioridad, momento en el cual suele estar valorizado.

En este contexto, una desventaja de la crucífera es la escasa posibilidad de mejorar el precio por contenido de MG en grano, ya que como se demostró en este estudio, en ningún caso superó el 43 % de la base de comercialización. Estos valores de MG coinciden con los resultados en la red de canola en el SE de la región pampeana argentina. Por el contrario, los granos de cártamo contaron siempre con bonificaciones del 20 % o mayores sobre el precio pizarra. De esta manera, si continuaran en vigencia las cotizaciones de la última campaña, el cártamo alcanzaría mejor precio final. Asimismo, la colza tuvo mayores costos de producción al incluir fungicidas foliares y mayores dosis de fertilizantes.

Ambas oleaginosas son ampliamente producidas en otros países, en especial la colza/canola, y en el nuestro cuentan con la ventaja de ser cosechadas en un momento en que la industria aceitera se encuentra ociosa, dado que aún no ha ingresado el grueso de la producción de granos de oleaginosas estivales. No obstante, al presente, no se ha desarrollado en Argentina una demanda estable, el número de empresas compradoras es escaso, lo cual influye negativamente en el precio y dificulta su comercialización, que además suele basarse en contratos (Fava, 2013, comunicación personal; Valetti e Iriarte, 2012). Ello, más los problemas tecnológicos que aún persisten, especialmente para lograr una buena implantación de ambos cultivos, han llevado a la reducción del área de siembra en la Argentina y prácticamente su desaparición en La Pampa (Calzada, 2016; MAGyP, 2017).

De todos modos, los resultados del presente trabajo comprobaron que, existen posibilidades de lograr buenos resultados productivos y económicos en la RSP con las oleaginosas invernales, siempre y cuando se tenga en cuenta el tipo de suelo, las probabilidades de precipitaciones, se ajusten ciertas prácticas de manejo y se siga explorando la variabilidad genética disponible, principalmente en el cultivo de colza (Iriarte y López, 2017; Takashima *et al.*, 2013). No obstante, se debe tener en cuenta que la variabilidad interanual en el rendimiento de colza no es exclusiva de regiones con reciente incursión en el cultivo, sino que también ocurre en países europeos con larga experiencia en el mismo (Rondanini *et al.*, 2012).

5.4.2 Efecto del suelo y ambiente sobre la productividad y calidad de los cultivos

Al igual que los otros cultivos evaluados, el suelo y la campaña tuvieron efectos diferenciales en la producción de cártamo y colza. En líneas generales, el comportamiento de la colza fue bueno y relativamente estable en el Paleustol, mientras fue mucho más variable en el Ustipsamment. En este último, el principal inconveniente fue el establecimiento del cultivo. Los suelos de textura gruesa poseen baja capacidad de retención de humedad por cm de profundidad, este en particular menos de 1 mm cm^{-1} , por lo cual requiere de lluvias regulares para abastecer a los cultivos en sus primeras etapas de crecimiento, especialmente aquellos de semilla pequeña y lento crecimiento inicial como el caso de la colza. De esta manera, a pesar de contar con mayor contenido de AU en profundidad en el Ustipsamment, la implantación fue más difícil que en el Paleustol, especialmente en el año seco. Por otra parte, este cultivo es conocido por su alta demanda de nutrientes y su baja eficiencia de absorción y utilización de N (Rathke *et al.*, 2006; Schulte auf'm Erley *et al.*, 2011), lo cual se manifestó en la menor TCC_{v-f} , producción de MS_f y EUA_{MS_f} en el suelo arenoso respecto al Paleustol. En las oleaginosas invernales la menor disponibilidad de N en el suelo arenoso se vio reflejado en la mayor relación C/N del rastrojo respecto al Paleustol, tal como en los cereales. Asimismo, el impacto de las heladas fue mayor en el primero, y en el tratamiento testigo respecto al fertilizado (Foto 3.1 Anexo III). En este ensayo la fertilización mejoró el crecimiento con mínimos cambios en el desarrollo, razón por la que difiere de Rathke *et al.*, (2006) quienes mencionan mayor susceptibilidad al daño por heladas otoñales en plantas fertilizadas debido principalmente a la aceleración de la elongación del tallo. La deficiencia nutricional de esta crucífera también se manifestó en los considerables incrementos en

producción de MS y de granos con el aporte de nutrientes en el Ustipsamment (Tabla 3.6 Anexo III). En relación a esto, las fallas de implantación en 2014 en el Ustipsamment, cuando llovieron 150 mm en el momento que la colza estaba apenas emergida, pueden estar relacionadas al lavado de nitrógeno (Rathke *et al.*, 2006). Adicionalmente, esta especie requiere importantes cantidades de S, por lo que suele sugerirse el aporte de N y S en relación 7:1, especialmente en suelos arenosos de bajo contenido de MO. En tanto que en suelos sin deficiencias de S esta proporción suele sobreestimar la necesidad de S, generando un gasto innecesario (Canola Council, 2018). De acuerdo con lo observado en este ensayo podría considerarse inviable la siembra de colza en un suelo de características semejantes al Ustipsamment sin un adecuado manejo nutricional, tal que las plantas alcancen un tamaño y desarrollo adecuado a comienzos del período con heladas a la vez que se cubra el surco rápidamente para evitar la aparición de malezas de difícil control (Rathke *et al.*, 2006).

Por otra parte, una característica que resultó ventajosa para la colza en el Ustipsamment fue su amplia exploración radical, como se observó en este ensayo (Figura 5.6), y otros estudios (Johnston *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2011). Ello le permitió abastecerse de agua en profundidad en 2012, cuando los perfiles de ambos suelos contaban con niveles moderados de humedad en floración del cultivo (Figura 5.10).

En el Paleustol, la colza presentó menores inconvenientes, alcanzando todas las campañas rindes promedios de 2000 kg ha⁻¹ y MB positivo. Dicho nivel de producción es un buen indicador, superando al promedio mundial y nacional, de 1900 y 1456 kg ha⁻¹ respectivamente (Rondanini *et al.*, 2012). Se debe destacar, que este rendimiento se mantuvo incluso en 2013 cuando el UC fue 30 % inferior al registrado en las otras campañas. Allí se midió la más alta EUA para este cultivo, con alrededor de 5 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Este valor, se corresponde con los valores medios observados para dicho rango de precipitaciones en el sudeste de la región pampeana argentina (Takashima *et al.*, 2013). Cabe resaltar que las precipitaciones de la mencionada campaña fueron en 100 mm inferiores a las más probables, de 450 mm, por lo cual es un cultivo factible en este tipo de suelo de la RSP siempre y cuando se cuente con suficiente AU en el perfil a la siembra, como ocurrió en este caso (Figura 5.3). Grewal (2010), demostró que la colza tiene resistencia a la salinidad similar a la cebada, lo cual indica que sería capaz de obtener agua a elevado potencial mátrico. En cambio, Dreccer *et al.*, (2018), hallaron que la canola fue el cultivo más sensible al estrés hídrico en Australia, comparándola con cereales y leguminosas invernales. De todos modos, en ninguno de los momentos

medidos la humedad del suelo se encontró en PMP (Figura 5.10). En este suelo, en 2014, el rendimiento de colza fue bajo en relación a las abundantes precipitaciones. Esta particularidad también fue advertida por productores de la planicie con tosca (Piorno, 2015, comunicación personal). Los altos valores de MS y bajo IC en esta campaña indican un excesivo desarrollo vegetativo, y deficiencias en partición. Estos resultados pudieron ser consecuencia de i) el mayor porcentaje de $UCe-f$ en relación a $UCf-mf$ (Figura 5.8) producto de la evapotranspiración de la abundante biomasa (Turner, 2004) ii) la menor radiación solar recibida en el período crítico para la definición del número de granos; 40 días desde inicio de floración (Takashima *et al.*, 2013; Weymann *et al.*, 2015), respecto a las campañas anteriores (Figura 2.3 Anexo II), iii) el relativamente bajo $IAFf (<3)$ para interceptar la radiación (Diepenbrock, 2000). También, la densidad de plantas a cosecha quedó por debajo de la recomendada en esta campaña. A pesar de la cuantiosa ramificación, la falla de plantas logradas no alcanzó a ser compensada de modo de acercarse al número de granos m^{-2} obtenido en campañas previas. A bajas densidades de planta los individuos producen mayor proporción de ramas de bajo orden que presentan menor potencial de producción de semillas que las ramas principales (Diepenbrock, 2000). Por otra parte, tal como fue hallado por Gomez y Miralles (2011), el PMG tuvo poca influencia en el rinde en este cultivo, por lo cual no es esperable que subsane fallas importantes en los componentes del rendimiento fijados con anterioridad.

En el suelo somero la fertilización no tuvo efectos relevantes sobre la producción de colza, ni produjo un aporte extra de rastrojo, ocasionando únicamente una considerable disminución del MB. Por lo tanto a diferencia del Ustipsamment, esta práctica no es necesaria en el Paleustol o bien, deberían evaluarse dosis menores de N y S.

El caso del cártamo se asemejó más al resto de los cultivos evaluados, dado que la estabilidad del rendimiento fue mayor en el Ustipsamment respecto al Paleustol, si bien en este último se midió el rinde más alto en la campaña húmeda. El suelo arenoso ofrece la posibilidad de una amplia exploración radical, que fue bien aprovechada por esta especie, que presenta un desarrollo radical profuso. En nuestro estudio se midió que la raíz del cártamo alcanzó 1,8 m de profundidad, lo que es respaldado por la bibliografía donde se citan valores de 1,6 m (Kar *et al.*, 2007; Merrill *et al.*, 2002) hasta 2,2 m (Johnston *et al.*, 2002).

En base a lo observado, el cártamo podría considerarse más adecuado para el Ustipsamment que la colza. Probablemente la velocidad de profundización radical del cártamo fue mayor, ya que alcanzó igual profundidad a MF con un ciclo de crecimiento

más breve y menor ramificación lateral o “abundancia”. Además, la dinámica de la lámina de agua del perfil (Figura 5.9), demuestra el importante consumo de agua y nutrientes del suelo. En relación a esto, es importante señalar que el rendimiento del cártamo testigo (sin aplicación de nutrientes) en el Ustipsamment fue similar al del Paleustol, en contraste con lo hallado en colza. Esto puede deberse a que su crecimiento desplazado hacia la época estival pudo favorecer la absorción de nutrientes, principalmente N, derivados de la mineralización de la MO del suelo. Debido a la mayor absorción de agua en el Ustipsamment especialmente en el período post-floración, el PMG fue mayor que en el Paleustol. Sin embargo, hubo solo leves diferencias en concentración de MG, tal vez por los pocos días de diferencia en la amplitud del mencionado período.

Si bien resultó más estable el rendimiento de cártamo en el suelo profundo, el comportamiento en el suelo de textura más fina, resultó mejor de lo que se esperaría en un perfil somero. Al respecto, Quiroga *et al.* 2001 en un estudio de 30 sitios de la RSP, sin influencia de napa, encontraron que el rendimiento de cártamo se relacionó positivamente con la capacidad de retención de agua del suelo en los primeros cm y el porcentaje de MO. Dichos autores, adjudicaron este resultado al mejor suministro de agua y nutrientes de estos suelos. A su vez, Díaz-Zorita *et al.* (1999) obtuvieron resultados semejantes para trigo.

En la campaña 2012/13, se obtuvo un rendimiento excepcional en el Paleustol, dado que las abundantes lluvias y su adecuada distribución permitieron que el cártamo no sufra estrés hídrico a pesar del perfil limitado a 1m por el manto calcáreo (Figura 5.9). Por otra parte, la escasa diferencia entre suelos en la campaña seca (2013/14) puede deberse a que entre floración y madurez fisiológica el cártamo pudo extraer humedad retenida a elevado potencial mátrico en el Paleustol (Bassil y Kaffka, 2002). La mayor ventaja del Ustipsamment, se observó en la última campaña, que a su vez fue la más representativa de las precipitaciones de la zona en el ciclo del cártamo. En cuanto a su distribución, en dicho año hubo lluvias muy abundantes en octubre, pero fueron exiguas en diciembre y enero. En esta condición, se hizo notoria la disponibilidad de agua en profundidad y la influencia de napa en el Ustipsamment. Lo cual se reflejó en mayor producción de MS, capítulos secundarios, número de granos, rendimiento y porcentaje de MG respecto al Paleustol, donde la caída del agua del suelo por debajo del 50 % de la capacidad de campo desencadenó el proceso de estrés hídrico (Carcova *et al.*, 1998; Foulkes *et al.*, 2001).

En coincidencia con otros estudios, la respuesta en rendimiento de cártamo a la fertilización con dosis moderadas de N fue significativa en ambos suelos (Dordas y

Sioulas, 2008; Elfadl *et al.*, 2009). No obstante, la diferencia con el testigo fue mayor en el Ustipsamment, donde también hubo cierto incremento de la producción de MS_{mf} en las campañas húmedas. Cabe resaltar que la dosis de nutrientes utilizadas en cártamo fueron las mismas que en cereales de invierno, lo que representó la mitad del N agregado para colza. La aplicación de nutrientes causó mermas no significativas del MB en el Paleustol e incrementos, igualmente no significativos en el Ustipsamment. Por este motivo, la fertilización es una práctica que podría mejorar la producción de cártamo, especialmente en años húmedos y suelos de baja MO. De manera similar, Elfadl *et al.* (2009) hallaron respuestas significativas en rendimiento de cártamo con dosis de 40 y 80 kg N ha⁻¹, aunque estos tratamientos no se diferenciaron del testigo cuando hubo altas concentraciones de N residual en el suelo. También, Yau y Ryan (2010), resaltaron la capacidad de este cultivo para aprovechar el N mineral en profundidad.

5.4.3 Diferencias entre cártamo y colza y entre sus cultivares en la productividad y calidad

Estas dos oleaginosas invernales tuvieron algunos inconvenientes en común tal como, la dificultad de implantación y logro del cultivo. Varios autores presentaron las mismas dificultades con estos cultivos en regiones semiáridas templado-frías (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2009; Elfadl *et al.*, 2009; Johnston *et al.*, 2002; Koutroubas *et al.*, 2009; Lenssen *et al.*, 2007). El daño de las plántulas por heladas es uno de los principales problemas. En este sentido, la colza invernal tiene la ventaja de sembrarse con anterioridad a la fecha media de 1ª helada, mientras la siembra del cártamo se realiza cuando aún no se alcanzó la fecha media de última helada (Belmonte *et al.* 2017). La colza también puede verse favorecida por sembrarse en meses de mayores precipitaciones en la RSP (Figura 5.2). Sin embargo, el pequeño tamaño de la semilla y lenta tasa de crecimiento inicial la hizo muy vulnerable en el suelo arenoso, donde el cártamo presentó mejor desempeño a lo largo de las tres campañas. Otra dificultad que presentan ambas especies es la poca disponibilidad de herbicidas selectivos para realizar un eficaz control de malezas (Johnston *et al.*, 2002; Lenssen *et al.*, 2007). En otros países se cuenta con híbridos de canola tolerantes a herbicidas como glifosato, triazinas e imidazolinonas (Zhang *et al.*, 2016). Mientras que en Argentina se han difundido recientemente híbridos primaverales con resistencia a este último grupo de herbicidas. Si bien para cártamo se dispone de más herbicidas residuales que para colza, suele verse perjudicado por el poco desarrollo de

IAFf, lo cual lo hace poco competitivo con las mismas. En cambio, se observó mayor habilidad competitiva de la colza siempre y cuando cuente con disponibilidad de agua y nutrientes (Rathke *et al.*, 2006), como se demostró por el más rápido cierre de surco en el Paleustol en comparación con el Ustipsamment (Foto 3.1 Anexo III). De todos modos, no se recomienda la siembra de colza en lotes de alta infestación con malezas pertenecientes a la misma familia (Iriarte y Valetti, 2008). Por otra parte, ambos cultivos requirieron en algún momento la intervención para el control de plagas, principalmente la colza, con *Plutella xylostella* y enfermedades foliares. En cártamo, dada la época de implantación se debe estar atento a la presencia de insectos de suelo, tales como isocas cortadoras (*Agrotis spp.*) y larva aterciopelada (*Chauliognathus scriptus*). El control de plagas y malezas puede resultar dificultoso e incluso poco eficaz en una zona con poco conocimiento del manejo del cultivo. Además, el incremento en el número de intervenciones con agroquímicos, respecto a los cereales de invierno, disminuiría la sustentabilidad de estos cultivos, debido a los mayores costos e impacto ambiental.

Superando las adversidades descritas, se demostró que ambas oleaginosas pueden lograr buen desempeño en la RSP, en años con precipitaciones normales e incluso inferiores a las normales. La EUA de ambas varió entre 3 y 5 kg ha⁻¹ mm⁻¹, dependiendo de la campaña y suelo. Similares rangos de EUA fueron presentadas para colza y cártamo por Takashima *et al.* (2013) e Istanbuluoglu *et al.*, (2009), respectivamente. Además, las mismas EUA, aunque con menores UC, fueron registradas en suelos profundos y con mayores contenidos de MO de las Grandes Planicies de Norteamérica (Anderson *et al.*, 2003; Johnston *et al.*, 2002). El rendimiento de la colza invernal resultó inferior al mencionado en estudios con híbridos semejantes en Europa (Diepenbrock, 2000; Rathke *et al.*, 2006; Schulte auf'm Erley *et al.*, 2011) y el SE bonaerense (Iriarte y López, 2017; Takashima *et al.*, 2013). Sin embargo, se corresponde con los valores de 50 % respecto al rinde de trigo en ambientes propicios para el cereal, indicado por (Rondanini *et al.*, 2012). Los resultados de producción de cártamo de este ensayo están de acuerdo con estudios en secano proveniente de regiones con relativamente poca historia de cultivo (Dordas y Sioulas, 2008; Elfadl *et al.*, 2009; Koutroubas *et al.*, 2009; Yau y Ryan, 2010). Sin embargo, los altos rendimientos de esta compuesta en 2012/13 estuvieron por encima de los logrados por los productores en lotes comerciales (Fava, 2013, comunicación personal). Esto destaca la brecha existente entre rendimientos potenciales y reales, especialmente para cultivos de los que se cuenta con poca experiencia en la RSP.

El período de mayor influencia en el rendimiento de colza ocurre en floración y formación de semillas (Champolivier y Merrien, 1996; Diepenbrock, 2000; Iriarte y Valetti, 2008; Takashima *et al.*, 2013). Dicha etapa coincide con meses de relativamente buena relación entre precipitaciones y demanda atmosférica en la RSP (Figura 2.1), lo cual disminuye la posibilidad de sufrir un impacto negativo en el rendimiento por estrés hídrico, respecto al cártamo. Este último, en cambio, transcurre su período más sensible, en los meses de noviembre y diciembre, cuando ocurre la formación de capítulos y floración (Istanbulluoglu *et al.*, 2009; Koutroubas *et al.*, 2004), momento en que aumenta considerablemente la ETP. No obstante, en las dos últimas campañas logró rendimientos satisfactorios con precipitaciones inferiores a las normales y muy bajos UC_{f-mf}. Se observó que aún bajo dichas circunstancias, el cártamo conservó IC cercanos a 0,3, lo que respalda su capacidad para soportar sequías en la etapa de llenado de granos traslocando asimilados de los tejidos vegetativos a los granos (Dordas y Sioulas, 2009; Koutroubas *et al.*, 2004). Además, en años con precipitaciones cercanas a las medias, que permitan mayor producción de MS, el rendimiento podría mejorar. Bassil y Kaffka (2002) hallaron buen comportamiento de este cultivo en suelos moderadamente salinos, dado que incrementó el IC cuando disminuyó la MS por efecto de la conductividad eléctrica. Por otra parte, en suelos profundos ésta compuesta atravesó el período crítico utilizando el agua almacenada en los meses previos, como se mencionó en el Ustipsamment.

De acuerdo con los estudios de Elfadl *et al.* (2009), el cártamo demostró una gran capacidad de compensación de las bajas densidades de plantas siempre y cuando se realice un adecuado control de malezas. De esta manera, en la 1ª campaña en el Paleustol o la última del Ustipsamment, el bajo stand fue compensado con mayor producción de capítulos primarios y secundarios. En colza en cambio, la densidad de plantas es uno de los principales componentes del rendimiento, resultando en pérdidas de producción cuando queda un bajo stand de plantas después del invierno (Diepenbrock, 2000).

La producción de MS_f fue similar en las dos especies, no obstante, el cártamo puede alcanzar mayores valores de MS_{mf}. Se observó en colza la disminución de MS desde floración a madurez, con gran partición a granos. Se ha señalado que la movilización de carbohidratos desde raíces, hojas, tallos y silicuas en esta etapa puede contribuir al 12-17 % del rendimiento en grano (Diepenbrock, 2000). Por otra parte, Hocking *et al.* (1997), indicaron que bajo estrés hídrico, canola puede removilizar 60-65 % de la MS de hojas y tallos para contribuir al rinde. No obstante, los cultivares con acelerada senescencia foliar en el estado reproductivo tardío están asociados a ineficiencias en el uso del N y menores

rendimientos (Rathke *et al.*, 2006). A pesar de la caída en MS en los últimos estados de desarrollo de colza, la MS_{mf} y MS_r fueron más bajas que las del cártamo sólo cuando hubo diferencias muy importantes en el desarrollo de ambos como en el Paleustol 2012/13 y Ustipsamment 2014/15. Asimismo, tampoco se encontraron diferencias considerables en la relación C/N de los rastrojos de ambas especies (Tabla 6.1). Las oleaginosas presentan rastrojos con relación C/N intermedias entre gramíneas y leguminosas, que favorecen su mineralización (Andrade *et al.*, 2015; Restovich *et al.*, 2012). Por esto, se debería lograr sincronizar la liberación de N del rastrojo con las necesidades del cultivo posterior reduciendo el riesgo de lavado de NO_3^- . En este sentido, la crucífera permite la siembra de un cultivo de segunda, mientras que la fecha de cosecha de cártamo sólo admite la sucesión de un cultivo invernal. Además, el cártamo se caracteriza por dejar escasa agua remanente en el suelo (Lenssen *et al.*, 2007), por lo que la siembra del cultivo siguiente debe demorarse hasta la recarga hídrica del perfil. Las diferencias entre ambas oleaginosas respecto a la humedad en suelo a madurez se observaron claramente en este ensayo (Figuras 5.9 y 5.10).

En cuanto a los cultivares de colza, se observó un mejor comportamiento del ciclo más corto en el suelo somero, debido fundamentalmente a su mayor IC. La importancia del IC en este cultivo en relación a la producción de biomasa es afirmada por varios autores (Diepenbrock, 2000; Rathke *et al.*, 2006; Schulte auf'm Erley *et al.*, 2011). Respecto a los ciclos de crecimiento, tanto Takashima *et al.* (2013) como las redes de evaluación de cultivares de colza en el SE de la región pampeana (Iriarte y López, 2017), muestran que allí no hay ventaja de los cultivares de colza invernales por poseer un mayor ciclo respecto a los primaverales. Por lo cual, debería estudiarse el comportamiento de estos últimos en la RSP, especialmente en cuanto a la resistencia a heladas y estabilidad de rendimiento. Además, el cultivar de menor ciclo presenta beneficios en la rotación, ya que al cosecharse 10 a 15 días antes deja mejores condiciones para la siembra de un cultivo de segunda tanto por el anticipo de la siembra como por la mayor humedad residual en el perfil (Andrade *et al.*, 2015). En el Ustipsamment, sin embargo, los resultados demostraron un mejor desempeño del ciclo de colza más largo. En este caso la diferencia estuvo en el mayor UC, producción de MS_{mf} y con mayor $EU_{AMS_{mf}}$ del ciclo largo, y presumiblemente una mayor eficiencia de absorción de N, que es el parámetro que mejor explica las eficiencias de uso de N en condiciones de baja disponibilidad (Schulte auf'm Erley *et al.*, 2011).

5.5 Conclusiones

Durante los tres años de estudio de estas dos oleaginosas poco difundidas en la región, pudieron observarse características positivas y negativas para ambos, que pudieron atenuarse dependiendo del suelo bajo cultivo.

Los resultados económicos fueron en general mejores para cártamo. Más aún si se toma en cuenta las cotizaciones de los últimos años y la elevada probabilidad de obtener bonificaciones en el precio por contenido de MG, como no así en colza.

La colza es un cultivo propicio para suelos francos y con buen contenido de MO, donde se facilita la implantación, el crecimiento ocurre más rápido y las dosis de fertilizante pueden ser menores. Dado que transcurre su período crítico en meses de menor diferencia entre ETP y precipitaciones, puede destinarse a suelos someros. Sin embargo, no se recomienda donde la tosca se encuentre a menos de 1 m de profundidad, debido a su elevado UC.

El cártamo puede lograr buenos rendimientos en la RSP a pesar de transcurrir su llenado de granos en meses de alta demanda atmosférica, siempre y cuando disponga de agua almacenada en el suelo. Ello lo hace más adecuado para suelos con disponibilidad hídrica en profundidad como el Ustipsamment, con presencia de capa freática cercana. Si bien se han logrado buenos resultados en el suelo somero, allí se considera más riesgoso su éxito por la mayor probabilidad de sufrir estrés hídrico a finales del ciclo.

Ambas oleaginosas requieren más estudios en la RSP para establecer pautas de manejo de modo de alcanzar mayor competitividad frente a los cultivos tradicionales.

CAPÍTULO VI

INTEGRADOR

El objetivo del presente capítulo es, a partir de la información proporcionada en los capítulos anteriores, plantear algunas prácticas de manejo y una posible rotación de cultivos en la RSP, seleccionando los cultivos mencionados tanto por factores productivos y económicos como ambientales. Entendiéndose que con su práctica podrían lograrse resultados económicos convenientes, manteniendo además, una adecuada diversificación de la producción. Esta última es una característica fundamental para alcanzar sistemas productivos sustentables, ya que facilita el manejo de malezas, y enfermedades, logra el uso más eficiente del agua y nutrientes del suelo, con poco aumento del riesgo económico (Anderson *et al.*, 2003; Angus y Herwaarden, 2001; Copeland *et al.*, 1993; Moroke *et al.*, 2005; Tanaka *et al.*, 2002). De acuerdo con ello, la diversificación de cultivos, sobre todo la alternancia entre gramíneas y leguminosas u oleaginosas, favorece el sinergismo a través de rotaciones que incrementen el rendimiento respecto a monoculturas, sin insumos adicionales y reduciendo el deterioro ambiental (Tanaka *et al.*, 2005). Además, se proponen rotaciones flexibles, de manera de emplear el menor tiempo de barbecho posible, teniendo en cuenta el agua almacenada en el suelo y la probabilidad de precipitaciones. De esta manera, se trata de lograr una mayor ocupación de la tierra y utilización de los recursos durante la estación de crecimiento, lo cual propicia la intensificación sustentable de la agricultura (Andrade *et al.*, 2015; Caviglia y Andrade, 2010; Liebig *et al.*, 2007; Nielsen *et al.*, 2011).

La rotación propuesta es para sistemas mixtos (agrícola/ganaderos), debido a que el 50 % de las explotaciones agropecuarias establecidas sobre molisoles y entisoles de régimen ústico (región semiárida-subhúmeda), corresponden a este tipo de planteo productivo, mientras menos del 10 % están dedicadas exclusivamente a la agricultura (Caviglia *et al.* 2010).

Se ha expuesto que los dos suelos evaluados (Paleustol y Ustipsamment) exhiben marcadas diferencias en composición granulométrica, espesor del perfil, posibilidad de influencia de napa, contenido de MO y suministro de nutrientes, lo cual le otorga diferentes aptitudes para cada cultivo. Por ello y de acuerdo con el criterio de manejo por ambientes para eficientizar el uso de los recursos (Gili *et al.*, 2017), la elección de los cultivos y/o sus variedades más adecuadas dependerá del ambiente edáfico además de las condiciones meteorológicas.

6.1 Paleustol

En este suelo, las PEA de los cultivos fueron más similares que en el Ustipsamment, tanto en las campañas con mayor como menor precipitaciones de las normales (Tabla 6.4).

Este suelo contó con características adecuadas para lograr buenos cultivos invernales, con mínimos requerimientos de fertilización. La única precaución sería controlar la disponibilidad de P y reponerlo principalmente en años de elevado rinde potencial, ya que con 17 ppm se encuentra en un nivel medio, adecuado a las necesidades de los cultivos en esta zona, aunque puede ser pobre para pasturas de alfalfa (García *et al.*, 2014). El nitrógeno, en cambio, podría aplicarse en estado vegetativo de los cultivos de mayor extracción, sólo cuando las condiciones sean favorables, principalmente en trigo para que no disminuya el contenido de proteína en grano. En el Paleustol, la textura fina, alta CRA, buenos contenidos de MO y N lo hacen especialmente propicio para el cultivo de gramíneas invernales. Estas presentaron altos rendimientos y EUA respecto a las oleaginosas (Tabla 6.4), aunque históricamente obtuvieron menor precio (Andrade, 1995; Noellemeyer *et al.*, 2013). Por ello no superar la PEA de colza en la campaña seca, ni la del girasol cuando las precipitaciones no fueron limitantes, sin embargo, al requerir menores costos de producción presentan menores riesgos económicos (Tabla 6.4). Por otra parte, estas especies caracterizadas por su masa radical distribuida más uniformemente en la profundidad del suelo que las oleaginosas (Fan *et al.*, 2016), sumado al rastrojo de elevada relación C/N (Tabla 6.1) son especialmente recomendados para dejar cobertura, mantener el nivel de MO y conservar la macroporosidad de estos suelos (Krupinsky *et al.*, 2006), y además han sido identificadas como promotores de la estructura del suelo debido a la capacidad de sus raíces de formar agregados (Kong y Six, 2012).

La cebada superó en las tres campañas el rinde de indiferencia en este suelo, mientras el trigo presentó dificultades en la campaña con menores precipitaciones, por lo cual sería adecuado la siembra de variedades del grupo 1 que puedan bonificar por calidad (Tabla 6.2). Además, debido a la presencia de enfermedades, especialmente foliares (roya amarilla, roya de la hoja, mancha amarilla) que se están haciendo cada vez más frecuentes en la RSP, y sobre todo en este suelo propenso a generar elevada biomasa en condiciones adecuadas de humedad, se debe tener en cuenta la elección de genotipos resistentes a las mismas. También, la rotación con dicotiledóneas es ideal para disminuir el avance de enfermedades y la propagación de malezas de difícil control en cereales, evitando un

mayor uso de agroquímicos (Anderson *et al.*, 2003; Angus y Herwaarden, 2001; Johnston *et al.*, 2002; Krupinsky *et al.*, 2006). Por esta razón la inclusión de un cultivo como colza cumpliría un rol destacado en mejorar la sustentabilidad en este suelo. La misma podría mejorar la EUA de la rotación, al continuar a los cereales luego de un barbecho de verano y aprovechar el balance hídrico positivo que ocurre generalmente en marzo y abril (Figura 2.1). En este ensayo se demostró que con esta secuencia todos los años se logró sembrar con más de 100 mm de AU en el suelo (Figura 5.3). Cabe recordar, las ventajas en implantación, estabilidad en rendimiento y menor necesidad de agregado de nutrientes, del Paleustol respecto al Ustipsamment que se encontraron para colza en este trabajo. Asimismo, la intensa penetración de la raíz pivotante de la crucífera en el suelo tiene efectos positivos en su estructura (Rathke *et al.*, 2006). Un factor a tener en cuenta es la rápida mineralización del rastrojo de colza y la posible pérdida de N por lixiviación (Tabla 6.1). Si bien este proceso es atenuado en estos suelos en relación a las texturas más arenosas, debería sincronizarse el momento de máxima liberación de N con la utilización por el cultivo posterior (Grant *et al.*, 2002; Restovich *et al.*, 2012). Por lo cual, la siembra de maíz o sorgo para obtención de grano o forraje como cultivo de segunda luego de colza, sería una opción conveniente en los años con suficiente recarga del perfil en el mes de diciembre. En caso contrario, podría realizarse un barbecho durante el verano para realizar la siembra temprana de un verdeo de invierno o cultivo de cobertura en los meses de febrero-marzo. En este sentido, Nielsen *et al.* (2011) señalaron que en los sistemas productivos de secano en la región central de las Grandes Planicies de América del Norte, basarse en el agua disponible en el suelo y los pronósticos de precipitaciones para la campaña al momento de decidir el cultivo a sembrar, mejoró la EUA, a través de la intensificación de la producción, respecto a rotaciones con barbechos fijos. Además, Tanaka *et al.* (2005) resalta la baja eficiencia del barbecho por pérdidas de agua por evaporación, especialmente cuando los residuos del cultivo anterior son exiguos.

Rathke *et al.* (2006) recomienda la rotación con colza cada cuatro años, para no favorecer el desarrollo de enfermedades cuyo inóculo queda en el rastrojo o suelo, tales como *Phoma*. Sin embargo, el valor de la colza ha caído un 40 % respecto a la campaña 2012, al ser un cultivo más costoso y más riesgoso que los cereales para la mayoría de los productores, ellos mismos indican que será difícil encontrar la aceptación generalizada del cultivo que hubo en la campaña 2012 (Piorno, 2015, comunicación personal).

El cártamo puede ser una alternativa a la colza cuando su valor de mercado sea más conveniente, como en 2014/15. En estos últimos años el precio de ambas oleaginosas ha

sido similar pero el cártamo cuenta con la ventaja de bonificar por MG. Se ha visto, que, si bien en la campaña seca presentó menor EUA que colza, cuando las precipitaciones se acercan al promedio de la región se han logrado rendimientos aceptables, siempre mayores al rinde de indiferencia (Tabla 6.2), y con elevado contenido de MG. Este cultivo presenta dificultades en cuanto a su inserción en rotaciones de la RSP, principalmente por su fecha de siembra a fines del invierno, cuando las precipitaciones son erráticas. Debido a la frecuencia de vientos en dicha época, sería conveniente que se realice en siembra directa y con suficiente cobertura de residuos para minimizar riesgos de erosión eólica. También, deberían evaluarse siembras más tardías, ya que en un estudio anterior en la EEA INTA Anguil se observó que fechas de siembra de fines de septiembre y principios de octubre, no ocasionaron retrasos importantes en el ciclo del cultivo y produjeron mayor rendimiento que las fechas tempranas (Lang y Frasier, 2009). Sería interesante seguir explorando estas fechas de siembra por mayor cantidad de años, dado que otorgan más probabilidad tanto de contar con las precipitaciones adecuadas para una rápida emergencia como de escapar a heladas tardías.

El cultivo de cártamo puede incorporarse en sistemas mixtos. Debido al largo período que transcurre hasta su siembra luego de la cosecha de los cereales invernales, sería más conveniente que continúe a un verdeo de verano o pastura, con el objetivo de contar con mayor cobertura del suelo reduciendo los riesgos de erosión eólica. Por otra parte, la cosecha de cártamo a mediados del verano permite la recarga del perfil para la siembra de cereales para grano en junio-agosto. En este sentido, no presenta desventajas respecto a colza, y en este ensayo no se observaron diferencias destacables en el contenido de humedad del suelo entre los trigos que prosiguieron a estas dos latifoliadas. Asimismo, el volumen de rastrojo que dejó el cártamo resultó algo mayor y de apenas superior relación C/N que el de colza en este suelo (Tabla 6.1), por lo cual podría perdurar un poco más en el tiempo evitando pérdidas de humedad por evaporación. La compuesta, además, requiere un umbral de P más bajo y realiza una menor extracción por tonelada de grano (García *et al.*, 2014) (Tabla 6.3).

Por otra parte, el cultivo de cártamo resultó en algunos aspectos, más propicio que el girasol en este suelo. Al respecto, se observó que el girasol en el año más seco no alcanzó el rinde de indiferencia (Tabla 6.2), mientras que en los años “normales” la producción fue muy desigual (2150 a 3700 kg ha⁻¹) dependiendo en buena medida de la distribución de lluvias. En este suelo, el girasol siempre fue afectado por sequía terminal, lo cual redujo la acumulación de MG. De esta manera, se pierde la ventaja de bonificación del

precio de grano en comparación al Ustipsamment, lo que no sucedió en cártamo. El lugar de girasol en la rotación puede ser ocupado por las oleaginosas invernales, que demostraron mayor estabilidad de rendimiento en el Paleustol. En relación a esto, Sadras y Calviño (2001) encontraron que la tasa de reducción del rendimiento con la disminución de la profundidad del suelo fue mayor para maíz, menor para trigo y soja e intermedia para girasol. Dichos resultados fueron relacionados en parte al período de crecimiento del cultivo, debido a la mayor demanda evaporativa de los cultivos de verano. En lo que hace al aporte de rastrojos, la MSr que se midió en girasol fue similar a la de cártamo (Tabla 6.2), aunque más voluminoso que el de colza. No obstante, como ha sido mencionado, la crucífera puede dar lugar a la siembra de alguna gramínea estival de segunda que brinde cobertura.

6.2 Ustipsamment

La influencia de napa en este suelo otorgó estabilidad de producción en la mayoría de los cultivos evaluados. Tal como fue observado para suelos arenosos de la Región Pampeana por Nosetto *et al.*, (2009), quienes describieron las bandas óptimas de profundidad de capa freática para lograr los rendimientos más altos de distintos cultivos, siendo de 1,4 a 2,45 m para maíz y de 0,7 a 1,65 m para trigo. Por ello aquí es importante utilizar las especies de mayor exploración radical, aprovechando el agua y los nutrientes en profundidad para producir cobertura y mejorar el balance de C. Saks (2014) evaluó en este tipo de suelos la contribución de las napas al rendimiento y UC de maíz, comprobando que puede representar el 40 % del total del agua consumida por el cultivo. De esta manera, se logra una mayor estabilidad del rendimiento al no depender de la cantidad y distribución de las precipitaciones.

No obstante este aporte de las napas, las principales dificultades en este suelo se encontraron en el establecimiento de los cultivos, debido a la escasa fertilidad y rápida evaporación del agua en la capa superficial del suelo. Ello ocasiona lento crecimiento inicial, pérdida de plántulas y menor habilidad competitiva frente a las malezas, respecto al Paleustol.

En general, los cultivos invernales presentaron menor potencial de rinde en el Ustipsamment, principalmente por la baja fertilidad y la necesidad de búsqueda de agua en profundidad lo cual requiere mayor partición de fotosintatos para el desarrollo de las raíces, en lugar de destinarlos al rendimiento (Aziz *et al.*, 2017; Passioura, 1983). A

diferencia del suelo somero, aquí la fertilización es una práctica fundamental, si bien no siempre tuvo resultados económicos favorables. Sin embargo, en los últimos años, el precio de los fertilizantes, principalmente urea, ha bajado respecto a los años de ensayos, lo cual puede hacer disminuir los rindes de indiferencias presentados en la Tabla 6.2. Además, deberían regularse las dosis, métodos y momento de aplicación de modo de hacer esta práctica más eficiente respecto a la realizada en el ensayo. Por ejemplo, se podría utilizar menor dosis del fertilizante arrancador si en lugar de aplicarse al voleo se colocara en la línea o el costado de la semilla. La aplicación de P no sería necesaria todos los años, dado que el suelo tiene un nivel por encima del umbral para todas las especies evaluadas (18 ppm, Tabla 6.3). Sin embargo, debería realizarse una aplicación de reposición en los cultivos más rentables; girasol y cártamo. En los casos en que no se realice la aplicación de P a la siembra, la fertilización nitrogenada podría realizarse sólo en estado vegetativo temprano, cuando el N sería absorbido más rápidamente por el cultivo, evitando lixiviación.

Los cereales invernales tuvieron relativamente buen comportamiento, al superar en las tres campañas los rindes de indiferencia (Tabla 6.2). Sin embargo, con trigo se lograron mejores resultados productivos y/o económicos que cebada (Tabla 6.4). Además, esta última tuvo menor EUA, produjo bajo volumen de rastrojo y con menor relación C/N que el trigo en este suelo (Tabla 6.1). La cebada tampoco presentó ventajas en la rotación por desocupar el lote con anterioridad como fue observado en otras zonas (Andrade *et al.*, 2015; Forján *et al.*, 2013; Prystupa y Ferraris, 2011). Por ello no habría motivos para reemplazar el trigo por cebada en estos ambientes, salvo que ocurriera una importante diferenciación en el precio entre ambos cereales. Por otra parte, se observó que con trigos de grupo 1 de calidad y fertilización pueden lograrse granos de buen contenido de proteína y PH, como en el Paleustol.

El trigo sería un buen antecesor para cultivos de leguminosas. En estos suelos de textura gruesa y disponibilidad de agua en profundidad sería ideal rotar periódicamente los cultivos de cosecha con pasturas de leguminosas, cuyo sistema radical alcanza mayor desarrollo, accediendo al agua disponible en profundidad (Fan *et al.*, 2016). De esta manera, puede atenuarse el incremento de altura de las napas y riesgo de anegamiento en años con excesos hídricos (Nosetto *et al.*, 2009). Adicionalmente, las leguminosas son beneficiosas para el sistema al incorporar N biológico, manteniendo el balance de nutrientes y la actividad microbiológica (Copeland *et al.*, 1993; Frasier *et al.*, 2016; Tanaka *et al.*, 2005). Dada la dificultad de implantación de especies de semilla pequeña

en estos suelos, la siembra de leguminosas tipo alfalfa o trébol de olor debería realizarse a principios de otoño, con temperatura en disminución y alta probabilidad de precipitaciones. La vicia sería una opción de más fácil implantación tanto para alimentación del ganado en sistemas mixtos como para cultivo de cobertura en sistemas agrícolas. En este último caso, realizando un manejo tal que alcance buen estado de desarrollo al momento del secado.

Por otra parte, tanto girasol como cártamo pueden ser antecesores convenientes para los cereales de cosecha fina. Aunque algunos autores no los recomiendan en regiones de escasas precipitaciones por ser grandes extractores de agua (Krupinsky *et al.*, 2006; Lenssen *et al.*, 2007; Merrill *et al.*, 2007; Moroke *et al.*, 2011), sus sistemas radicales alcanzan profundidades a las que el trigo no accede, mejorando la eficiencia de uso del agua y nutrientes del sistema (Copeland *et al.*, 1993; Moroke *et al.*, 2005), al tiempo que controlan el ascenso de las napas frente a los excesos hídricos de otoño y primavera cada vez más frecuentes. Dichas oleaginosas desocupan el lote en febrero/marzo, permitiendo la recarga de agua en el perfil para la siembra de junio, dado que en el promedio de los años se dan precipitaciones de 200 mm en dicho período (Figura 2.1, Scian, 1995). Ambas dejan similar cantidad de MSr cuando son fertilizadas, si bien la relación C/N fue mayor en cártamo por lo que es probable una mayor inmovilización de N, y la necesidad de utilizar fertilizante arrancador para no condicionar el establecimiento del cultivo sucesor (Tabla 6.1). En cuanto a los resultados económicos, el girasol superó holgadamente el rinde de indiferencia en las 3 campañas (Tabla 6.2). Debido al alto precio y la estabilidad de rendimiento, especialmente los girasoles convencionales, constituyeron el cultivo con más elevado MB, EUA y PEA en el Ustipsammet (Tabla 6.4). Igualmente, Noellemeyer *et al.* (2013) registraron en un ensayo de larga duración de la RSP similar PEA para girasol que cereales (maíz y trigo), aunque con una relación de precios más favorable para los cereales y menores EUA para girasol que las obtenidas en este estudio. El cártamo alcanzó buenos resultados, aunque presentó menor potencial de rendimiento que el girasol. Además, cuando las precipitaciones fueron escasas el rendimiento cayó un 50 % respecto a años favorables en comparación con reducciones del 35 % en girasol (Tabla 6.4). También, el cártamo presentó más dificultades de implantación en este suelo debido a su fecha de siembra con riesgo de heladas y sequía. Otro inconveniente de la fecha de siembra es que requiere la finalización temprana del consumo de agua de un verdeo o cultivo de cobertura, para garantizar la recarga del perfil al momento de su establecimiento. Económicamente, ambas oleaginosas presentaron bonificaciones por

MG de hasta 20 % y se cotizaron con semejante precio base (Tabla 6.2). En la mayoría de los años no hubo un claro beneficio en el precio de cártamo por cosecharse con anterioridad como se especulaba, principalmente porque permitiría a la industria aceitera comenzar a procesar antes de la cosecha de girasol. Por otra parte, al tener un mercado mucho más reducido que el girasol presenta más riesgos de comercialización. Por todo lo anterior, es difícil que los productores de la RSP decidan sembrar cártamo en lugar del girasol, sin embargo, es una opción factible para diversificar la producción en caso de que mejore su precio y posibilidades de comercialización. También es una opción interesante en las zonas donde la presencia de paloma torcaza (*Zenaida auriculata*) ha provocado una importante disminución de la superficie sembrada con girasol, como en el norte pampeano (Bernardos y Farrell, 2012), ya que el cártamo no es dañado por esta plaga.

La colza en cambio, no es un cultivo adecuado para este tipo de ambiente. Mientras en el primer año de estudio tuvo un buen desempeño, en los otros dos se perdió antes de terminar el ciclo o la producción no alcanzó a compensar los gastos de su cultivo. Asimismo, la demanda extra de fertilizantes (Tabla 6.3) y herbicidas para lograr un rendimiento favorable respecto al Paleustol, la tornan poco sustentable en este suelo.

6.3 Consideraciones generales

A modo de resumen de los principales resultados de esta tesis, se presenta la Tabla 6.4, con el rendimiento, EUA y PEA de cada cultivo en las campañas consideradas secas y húmedas (precipitaciones inferiores y superiores al promedio histórico respectivamente). El precio utilizado para calcular la PEA es el promedio de los 3 años, de modo de disminuir la variabilidad causada por el mercado. Se observa que en la región de estudio, los períodos secos tienen una probabilidad de ocurrencia del 10 % en girasol y de 20 a 30 % para los cultivos de invierno. Mientras que los períodos que se consideraron relativamente húmedos, tienen una probabilidad de 50 % en girasol y del 10 al 30 % para cultivos de invierno. Para estos últimos, no tuvieron lugar años de precipitaciones intermedias (aproximadamente 50 % probabilidad) durante el período de ensayos, por lo cual sería importante continuar con este tipo de estudio y así obtener información en dicha situación hídrica.

En este escenario, se demostró en cada suelo un comportamiento distinto de los cultivos entre campañas considerada secas y húmedas y en la respuesta a la fertilización. Tanto los bajos contenidos de MO como la presencia de capa freática del Ustipsamment dieron

lugar a esta diferencia respecto al Paleustol. Como se ha mencionado, los resultados muestran que en el primero, los cultivos en general no respondieron tan marcadamente a las distintas precipitaciones entre períodos. En esta condición, se debe destacar el buen comportamiento del girasol aun en el año de bajas precipitaciones en este suelo, cuando en el Paleustol la EUA y PEA se redujeron a menos de la mitad. Posiblemente esa disponibilidad de agua en el suelo profundo debería aprovecharse con mayor uso de tecnología de modo de alcanzar más altas EUA. Por ejemplo, Ghironi *et al.* (2012) recomiendan aumentar la densidad de plantas de girasol en un 40 % en ambientes de la RSP donde la expectativa de rinde excede los 2000 kg ha⁻¹.

La fertilización en el Ustisamment produjo respuestas positivas en EUA y PEA. Si bien no incidió significativamente sobre el MB, se debe valorar esta práctica que con la respuesta productiva producida permitió cubrir el costo de reposición de los nutrientes e incrementar la cantidad de rastrojo aportado por el cultivo, lo cual daría lugar a un mejor balance de la MO. Situación que no se comprobó en el Paleustol tanto en períodos considerados secos como húmedos, y que abre interrogantes sobre la exportación de nutrientes de los cultivos y la dificultad de reponerlos porque en la práctica reducen significativamente el MB de los cultivos.

Este diferente comportamiento entre suelos da sustento a que en el Paleustol se desarrollen sistemas mixtos de producción con inclusión de pasturas de leguminosas que permitan al productor mantener una condición física y química adecuada. Estudios de larga duración en un suelo de similares características de la RSP, demostraron que la rotación de trigo con leguminosas mejoró el contenido de carbono orgánico y nitrógeno del suelo, además de no requerir fertilización para lograr el rendimiento potencial del cereal (Galantini *et al.*, 2000; Migliarina *et al.*, 2000).

Otra restricción que limita la extrapolación de resultados de esta tesis es que la profundidad del manto calcáreo varía en la región entre 40 cm y 200 cm con lo cual, la campaña seca puede no ser tan restrictiva en suelos más profundos y, por otra parte, la condición húmeda puede ser más limitante en suelos someros, en comparación a los resultados obtenidos en el perfil donde se desarrolló la presente experiencia. Por ello, deberían realizarse estudios complementarios para evaluar el comportamiento de los cultivos en perfiles con manto calcáreo a distinta profundidad.

En términos generales y con las limitaciones que implica el corto período de estudio, los cultivos alternativos y/o diferenciados por calidad parecerían tener una ventaja comparativa frente a los que en la actualidad son parte de la secuencia, en los sistemas de

producción situados en suelos semejantes al Paleustol de la RSP. Es posible que evaluaciones en el mediano a largo plazo muestren otras ventajas de la inclusión de estos cultivos también en el Ustipsamment, tales como la menor presión de malezas y plagas, con la consecuente reducción del uso de agroquímicos.

Tabla 6.1. Materia seca del rastrojo (MS_r) promedio de las 3 campañas y su relación C/N (campaña 2013/14), de los distintos cultivos del tratamiento fertilizado y testigo en ambos suelos.

Cultivo	Paleustol				Ustipsamment			
	Fertilizado		Testigo		Fertilizado		Testigo	
	MS_r (kg ha ⁻¹)	C/N						
Trigo	6881	48	6912	50	5124	73	4657	83
Cebada	6300	38	5852	46	4006	67	3879	73
Cártamo	4664	37	5736	39	6046	76	4938	65
Colza	3595	34	4141	36	4527	55	2823	61
Girasol	5553	33	5796	41	6321	43	5798	59

Tabla 6.2. Precio bruto y rinde de indiferencia para el tratamiento fertilizado y testigo de los distintos cultivos, promedios de las 3 campañas.

Cultivo	Precio bruto (u\$S tn ⁻¹)	Rendimiento de indiferencia (kg ha ⁻¹)	
		Fertilizado	Testigo
Trigo	197	1670	1060
Cebada forrajera	174	1920	1190
Cebada cervecera	195	1720	1070
Cártamo	287	1080	730
Colza	400	1250	670
Girasol	290	1260	780

Tabla 6.3. Necesidad, IC y extracción de N (nitrógeno) y P (fósforo), y P crítico* en suelo para cada cultivo. Fuente: Echeverría y García, 2014; www.oleaginosas.org.

Cultivo	N			P			
	Necesidad (kg tn ⁻¹ grano)	IC	Extracción (kg tn ⁻¹ grano)	Necesidad (kg tn ⁻¹ grano)	IC	Extracción (kg tn ⁻¹ grano)	P crítico (ppm)
Trigo	30	0,66	19,8	4,5	0,75	3,4	15
Cebada	26	0,58	15	4	0,75	3	15
Cártamo	50	0,6	30	5	0,8	4	10
Colza	60	0,63	38	15	0,76	11,4	15
Girasol	41	0,63	26	5	0,8	4	12

*P crítico para alcanzar 90% del rendimiento máximo.

Tabla 6.4. Rendimiento en base seca (Rdto_{0%}, kg ha⁻¹), eficiencia de uso de agua (EUA, kg ha⁻¹ mm⁻¹) y productividad económica del agua (PEA, u\$s ha⁻¹ mm⁻¹) de los cultivos en los tratamientos testigo y fertilizado para la campaña seca y las húmedas, en ambos suelos. Se indica la probabilidad de ocurrencia precipitaciones menores o iguales a las de la campaña seca y mayores o iguales a las de las campañas húmedas, durante el ciclo de cada cultivo.

	Cultivo	Campaña Seca							Campañas Húmedas						
		Prob ≤ (%)	Testigo			Fertilizado			Prob ≥ (%)	Testigo			Fertilizado		
			Rdto _{0%}	EUA	PEA	Rdto _{0%}	EUA	PEA		Rdto _{0%}	EUA	PEA	Rdto _{0%}	EUA	PEA
PAL E U S T O L	Trigo 1	30	1251	4,4	0,92	1592	5,8	1,21	10	4708	9,8	1,99	4767	9,9	2,02
	Trigo 3		1624	5,8	1,14	1568	5,8	1,14		4588	9,5	1,85	4569	9,4	1,84
	Cebada SC		2925	12,1	1,97	2921	10	1,83		4204	9,0	1,76	4080	8,4	1,54
	Cebada MP		2716	9,9	1,54	2218	7,8	1,40		4427	9,9	1,72	4711	9,7	1,69
	Cártamo	17	1058	3,1	1,04	1187	3,5	1,22	28	2481	4,2	1,47	2812	4,8	1,68
	Colza	20	1982	4,9	1,84	2100	5,1	1,94	12	1668	2,6	1,02	1868	2,9	1,14
	Girasol CV	10	995	3,7	1,15	942	3,6	1,12	50	2886	6,9	2,21	2993	7,2	2,28
	Girasol OL		663	2,5	0,85	583	2,3	0,78		2550	6,1	2,19	2626	6,4	2,22
Girasol ES	581		2,2	0,88	689	2,6	1,02	2303		5,5	2,18	2444	5,9	2,30	
U S T I P S A M M E N T	Trigo 1	30	2288	7,5	1,53	2965	9,5	1,98	10	2699	6,4	1,30	3480	8,1	1,67
	Trigo 3		2509	8,3	1,64	3133	10,1	2,06		2994	7,1	1,39	3743	8,7	1,71
	Cebada SC		1539	5,5	0,96	2824	9,7	1,69		2377	6,1	1,32	2777	7,0	1,31
	Cebada MP		1987	7,2	1,24	3284	11,3	1,97		2766	7,0	1,12	3150	7,9	1,50
	Cártamo	17	1290	3,2	1,14	1321	3,2	1,13	28	2234	3,9	1,47	2823	5	1,72
	Colza	20	0	0	0	0	0	0	12	789	1,5	0,58	1413	2,7	1,03
	Girasol CV	10	2345	6,9	2,39	2630	7,7	2,65	50	3636	8,1	2,79	3941	8,6	2,87
	Girasol OL		2225	6,5	2,50	2439	7,2	2,74		3186	7,1	2,71	3249	7,1	2,68
Girasol ES	1922		5,4	2,28	1929	5,6	2,37	3015		6,7	2,75	3169	6,8	2,75	

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados obtenidos a partir del trabajo experimental permitieron aceptar o rechazar las hipótesis. A continuación, se desprenden las siguientes consideraciones y conclusiones más relevantes de cada hipótesis planteada en el desarrollo de la tesis.

- I. Los suelos de la región semiárida presentarán distintas limitantes y en diferentes momentos para los cultivos. En el Paleustol el crecimiento se restringirá principalmente en post-floración, al agotarse la humedad del suelo. En el Ustipsamment en cambio, con baja retención de agua y N disponible por unidad de profundidad, los cultivos tendrán bajas tasas de crecimiento en pre-floración.**

Se comprobó que los dos suelos sobre los que se realizaron los ensayos brindaron distinta disponibilidad de humedad y nutrientes a los cultivos, a pesar de estar bajo las mismas condiciones meteorológicas. De esta forma, las importantes variaciones de las precipitaciones entre campañas afectaron el rendimiento de los cultivos en mayor medida en el Paleustol que en el Ustipsamment. Este último presentó mayor estabilidad interanual en la disponibilidad hídrica debido a; i) acumular más agua a la siembra en el perfil explorado por las raíces, ii) entregar más agua en condiciones de humedad cercanas a PMP y iii) abastecer a los cultivos con agua subterránea especialmente después de floración, cuando las raíces profundizaron lo suficiente.

En el Paleustol, la alta retención de agua y nitrógeno por unidad de profundidad propició elevadas TCC en estado vegetativo, logrando mayor MS e IAF a floración. Ello conllevó altos $UCe-f$ que agotaron el agua del suelo. De esta manera, cuando las precipitaciones no acompañaron al cultivo en el resto del ciclo, los $UCf-mf$ fueron bajos con relación al Ustipsamment, alcanzando menor número y peso de granos, bajos IC, y consecuentemente menores rendimientos y EUA. El girasol fue el cultivo que sufrió estas condiciones con más frecuencia al transcurrir floración y llenado de grano con mayor demanda atmosférica.

Las restricciones en el Ustipsamment se observaron principalmente en los cultivos invernales y en las campañas húmedas, cuando la baja capacidad de entrega de N se evidenció en reducidas TCC, IAF, producción de MS y granos por m^2 respecto al Paleustol. En consecuencia, en estos casos los rendimientos y EUA también fueron

inferiores a los de sus pares sembrados en el Paleustol. La respuesta a la fertilización en el Ustipsamment de todas las variables mencionadas y aún en la campaña de menores precipitaciones, indica que en este suelo la disminución del rendimiento alcanzable estuvo dada principalmente por la disponibilidad de N para los cultivos.

En este suelo, la colza fue la especie más afectada ya que su establecimiento se dificultó notablemente por las restringidas condiciones de humedad y nitrógeno en los primeros días de cultivo.

Los resultados obtenidos permiten aceptar esta hipótesis en líneas generales, si bien fue dependiente de la distribución de precipitaciones de la campaña y del cultivo analizado.

II. Las diferencias relativas en EUA entre cultivos y variedades dependerán del tipo de suelo. En el Paleustol habrá menos diferencias entre variedades de trigo y girasol de distinta calidad, y será más favorable para cereales invernales, por transcurrir su período crítico con mejor balance precipitaciones/ETP que los estivales. Mientras que en el Ustipsamment tendrán ventajas las oleaginosas y variedades de ciclo largo al hacer una mayor exploración del perfil de suelo.

En el Paleustol, los cereales invernales mostraron buen comportamiento general, al producir altos rendimientos en las campañas húmedas y aceptables en las de precipitaciones inferiores a lo normal, ya que dieron MB positivos a diferencia de cártamo y girasol. En esta circunstancia vale destacar la EUA de cebada y colza, que además presentaron las mayores PEA de la campaña. Buena parte de este resultado se debe a la adecuación del ciclo de estos cultivos al régimen de precipitaciones de la región, dado que las oportunas precipitaciones de octubre y noviembre permitieron que concluyeran su ciclo luego de agotar el agua almacenada en el suelo.

Ciertamente, en el Paleustol se observó menor diferencia productiva entre las calidades industriales de trigo y los tipos de girasol. Los trigos de alta proteína en este suelo tuvieron una mejor eficiencia de conversión que pudo deberse a la mayor disponibilidad de N, tanto en biomasa como en el suelo en post-floración. En el caso de los tipos de girasol, si bien los ES tuvieron menor crecimiento vegetativo y rendimiento que los CV en ambos suelos, las diferencias fueron más altas en el Ustipsamment. En este último, también los CV presentaron mayor IC y % MG debido a que las condiciones hídricas permitieron un llenado de granos más prolongado. También las diferencias de EUA y PEA entre híbridos de la misma calidad se redujeron en el Paleustol.

Las observaciones de abundancia de raíces y la medición de humedad del suelo en floración, indicó que todos los cultivos alcanzaron el agua que ascendió por capilaridad de la napa en el Ustipsamment. No obstante, el girasol fue el cultivo que mostró los mayores beneficios, siendo la oleaginosa con mayor EUA en las tres campañas. Además de presentar más rendimiento y estabilidad que en el Paleustol, acumuló notablemente más MG en grano por una mayor duración del período de llenado de granos. El cártamo en cambio no exhibió tanta diferencia entre suelos como se estimaba. Si bien se observó que alcanzó la influencia de napa en el Ustipsamment, en el Paleustol se benefició por una más rápida cobertura de suelo. Asimismo, el corto período de floración y llenado de grano, y la capacidad de extraer agua a alto potencial mátrico fueron ventajas en el suelo somero. Por último, la colza a pesar de lograr una amplia exploración del perfil del suelo en floración, en pocas ocasiones logró alcanzar ese estado con un stand de plantas adecuado en el suelo de textura arenosa, resultando más productiva en el Paleustol.

En cuanto al ciclo de crecimiento, se observó que los trigos CL alcanzaron una mayor profundización de raíces que los CC en el Ustipsamment, sin embargo, esto no significó mayores UC. Los trigos CC tuvieron buen comportamiento en ambos suelos, aunque relativamente mejor en el Paleustol donde no fueron superados significativamente por los CL. El más corto periodo de macollaje fue compensado por mayores TCC, favorecidas en el Paleustol por las buenas condiciones de crecimiento en pre-floración, logrando semejante producción de MS que los cultivares CL. En cuanto a los componentes del rendimiento, los CC produjeron menos NEM pero más NGE que los CL, logrando similar número de granos por m². Respecto a los cultivares de colza, también se observó un mejor comportamiento del ciclo más corto en el suelo somero, debido fundamentalmente a su mayor IC. En el Ustipsamment, sin embargo, los resultados demostraron un mejor desempeño del ciclo de colza más largo. En este caso la diferencia estuvo en el mayor UC, producción de MS_{mf} y con mayor EUA_{MS_{mf}} del ciclo largo, y presumiblemente una mayor eficiencia de absorción de N.

En síntesis, esta hipótesis puede ser aceptada parcialmente, dado que no todas las oleaginosas estudiadas tuvieron mejor comportamiento en el Ustipsamment.

III. En el Paleustol, los cultivares de trigo de grupo 1 de calidad industrial y los girasoles de composición diferencial de aceite, pueden superar la PEA de los tradicionales.

Esta hipótesis se acepta parcialmente, debido a que no siempre los genotipos diferenciados por calidad superaron la PEA de los convencionales, aunque sí dieron mejores resultados relativos en el Paleustol que en el Ustipsamment.

En trigo las bonificaciones por proteína son bajas para compensar el menor rendimiento del grupo 1. No obstante, estas variedades resultaron más convenientes en el Paleustol, debido a que la mejor eficiencia de conversión redujo la diferencia de rendimiento con el grupo 3. El hecho de que los resultados económicos de los cereales sean considerablemente dependientes del rendimiento, reafirma la necesidad de incrementar la EUA de los cultivos para mejorar la sustentabilidad.

En girasol, como fue mencionado anteriormente, los materiales de calidad diferencial presentaron menor EUA y % MG que los tradicionales, aunque con mayor brecha en el Ustipsamment. Por lo tanto, en dicho suelo resultó más conveniente producir girasoles de alto potencial de rendimiento y acumulación de MG. Debido a que el % MG suele ser bajo en el Paleustol, allí se puede igualar e incluso superar la PEA de los CV con materiales ES que reciben una importante prima por su composición diferencial de ácidos grasos. Esta suma fija hace más atractivos a los híbridos de calidad diferencial cuando el precio de mercado disminuye.

Se debe destacar que tanto en trigo como girasol se observó variabilidad en rendimiento entre genotipos de la misma calidad que es necesario seguir explorando de modo de optimizar la EUA.

IV. En el Ustipsamment, la cebada cervecera y las oleaginosas invierno-primaverales pueden superar la PEA de trigo debido a su mayor precio.

Los resultados obtenidos conducen a rechazar esta hipótesis. Respecto a cebada, se observó generalmente menor EUA que el trigo en este suelo, por lo que únicamente logró mejor PEA cuando presentó calidad para maltería y las bonificaciones fueron importantes. Esto fue posible sólo en la última campaña con precipitaciones muy por encima de lo normal. Como se esperaba, las condiciones de llenado en el Ustipsamment permitieron obtener mejor calibre con relación al Paleustol, sin embargo, los niveles de

proteína no siempre fueron adecuados. En este sentido, los resultados de esta tesis indican que para obtener cultivos de cebada competitivos frente a trigo se debería continuar evaluando variedades y tratamientos de fertilización que permitan obtener mejor rendimiento y nivel de proteína en suelos de textura arenosa.

Se consideró que las oleaginosas invernales tendrían posibilidades de mejorar la PEA del trigo en el Ustipsamment, por lograr relativamente mejor productividad física que en el Paleustol y contar con alto precio. Sin embargo, como ha sido mencionado, la colza tuvo un comportamiento errático en el Ustipsamment, donde no se logró establecer correctamente en dos de las campañas. Por lo cual resultó muy riesgosa en comparación al trigo que tuvo rendimientos estables. Además, para su cultivo en el Ustipsamment son necesarias dosis altas de fertilizantes que se tornan poco sustentables.

El cártamo, si bien tuvo mejor desempeño que la colza en este suelo, también presentó dificultades de implantación que deberían ser subsanadas para promover su cultivo. Esta oleaginosa alcanzó una PEA superior al trigo en las campañas con precipitaciones normales y por su elevado precio tuvo alto MB. Mientras que, en la campaña seca, tuvo baja PEA en relación al cereal. Por lo tanto, a pesar del mayor precio, el cártamo no siempre superó la PEA del trigo además de ser un cultivo más arriesgado. En el marco actual, la siembra de cártamo se justifica por cuestiones de rotación, principalmente cuando el cultivo de girasol no es posible (por daño de pájaros, por ejemplo), ya que no presentó ventajas respecto a este último.

Como fue señalado en los capítulos de esta tesis, los cultivos alternativos evaluados tuvieron mejor desempeño en comparación con los tradicionales en el Paleustol, donde la cebada tuvo mayor EUA que el trigo en condiciones de bajas precipitaciones y las oleaginosas invernales mostraron más estabilidad de rendimiento que el girasol, por lo que podrían ocupar un lugar valioso en la rotación.

Consideraciones finales

Es importante destacar que pocos estudios han comparado EUA entre especies en la RSP y, en especial, en dos suelos contrastantes. La información surgida de esta tesis es aplicable a nivel productivo y contribuye a mejorar la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios de la región. Se han propuesto rotaciones de cultivos para dos tipos de suelos frecuentes en regiones semiáridas, tomando en cuenta la eficiencia en el uso de recursos económicos y ambientales.

Asimismo, esta tesis motiva futuros estudios que deberían profundizar el conocimiento de ciertos temas tales como calidad de granos, adaptación de los diferentes genotipos a los suelos predominantes, mejoramiento genético de los cultivos/cultivares menos desarrollados y manejo de estos según el ambiente.

REFERENCIAS

- Abbate, P.E., 2016. Cambios en la calidad de trigo en respuesta al cultivar y el ambiente. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., 2014. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª Ed. (Ed. Echeverría, H.E., García, F.O.). Ed. INTA. pp. 155-185.
- Abbate, P.E., Andrade, F., Lázaro, L., Bariffi, J.H., Berardocco, H.G., Inza, V.H., Marturano, F., 1998. Grain Yield Increase in Recent Argentine Wheat Cultivars. *Crop Sci.* 38, 1203–1209.
- Abbate, P.E., Dardanelli, J.L., Cantarero, M.G., Maturano, M., Melchiori, R.J.M., Suero, E.E., 2004. Climatic and Water Availability Effects on Water-Use Efficiency in Wheat. *Crop Sci.* 44, 474–483.
- Aboudrare, A., Debaeke, P., Bouaziz, A., Chekli, H., 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agric. Water Manag.* 83, 183-196.
- Aguirrezábal, L. A. N., Lavaud, Y., Dosio, G. A., Izquierdo, N.G., Andrade, F.H., González, L.M., 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. *Crop Sci.* 43, 152–161. doi:10.2135/cropsci2003.0152
- Aguirrezábal, L. A. N., Orioli, G. A., Hernández, L. F., Pereyra, V. R., Miravé, J. P., 2001. Anexo 3: Estimación de la superficie de las hojas en el campo. En: Girasol: aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Ed. Unidad Integrada Balcarce (reedición formato digital, 2001). 111 pp.
- Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., Stellacci, A.M., 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *F. Crop. Res.* 115, 179–190. doi:10.1016/j.fcr.2009.11.003
- Aldaya, M.M., Martínez-Santos, P., Llamas, M.R., 2009. Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resour. Manag.* 24, 941–958. doi:10.1007/s11269-009-9480-8
- Ali, M.H., Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. *Agric. Water Manag.* 95, 1201–1213. doi:10.1016/j.agwat.2008.06.008
- Alvarez Prado, S., Gallardo, J.M., Serrago, R.A., Kruk, B.C., Miralles, D.J., 2013. Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *F. Crop. Res.* 144, 28–33. doi:10.1016/j.fcr.2012.12.018
- Álvaro-Fuentes, J., Lampurlanés, J., Cantero-Martínez, C., 2009. Alternative crop rotations under Mediterranean no-tillage conditions: Biomass, grain yield, and water-use efficiency. *Agron. J.* 101, 1227–1233. doi:10.2134/agronj2009.0077
- Alzueta, I., 2014. Ecofisiología de la generación del rendimiento y la calidad en genotipos de trigo y su comparación con cebada. Tesis Doctor. UBA, Área Ciencias Agropecuarias, Arg. 190p.
- Anastasi, U., Santonoceto, C., Giuffrè, A.M., Sortino, O., Gresta, F., Abbate, V., 2010. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. *F. Crop. Res.* 119, 145–153. doi:10.2134/agronj2009.0011

- Anderson, R.L., Tanaka, D.L., Merrill, S.D., 2003. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. *Agric. Water Manag.* 58, 255–266. doi:10.1016/S0378-3774(02)00085-9
- Andrade, F.H., 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *F. Crop. Res.* 41, 1–12.
- Andrade, F.H., Aguirrezábal, L.A.N., Rizzalli, R.H., 2009a. Crecimiento y rendimiento comparados. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 3ª Ed. (Ed. Andrade, F.H., Sadras, V.). Ed. INTA. pp. 41-67.
- Andrade, F.H., Echeverría, H.E., González, N.S., Uhart, S.A., 2009b. Requerimientos de nutrientes minerales. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 3ª Ed. (Ed. Andrade, F.H., Sadras, V.). Ed. INTA. pp. 153-170.
- Andrade, F.H., Ferreiro, M.A., 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *F. Crop. Res.* 48, 155–165. doi:10.1016/S0378-4290(96)01017-9
- Andrade, J.F., Poggio, S.L., Ermácora, M., Satorre, E.H., 2015. Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *Eur. J. Agron.* 67, 37–51. doi:10.1016/j.eja.2015.03.001
- Angadi, S. V., Entz, M. H., 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agron J.* 94, 136-145.
- Angus, J.F., Herwaarden, A.F. Van, 2001. Increasing Water Use and Water Use Efficiency in Dryland Wheat. *Agron. J.* 93, 290–298.
- Anushree, S., André, M., Guillaume, D., Frédéric, F., 2017. Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 1-10. doi:10.1007/s13593-017-0426-x
- Aziz, M.M., Palta, J.A., Siddique, K.H.M., Sadras, V.O., 2017. Five decades of selection for yield reduced root length density and increased nitrogen uptake per unit root length in Australian wheat varieties. *Plant Soil* 413, 181–192. doi:10.1007/s11104-016-3059-y
- Baodi, D., Mengyu, L., Hongbo, S., Quanqi, L., Lei, S., Feng, D., Zhengbin, Z., 2008. Investigation on the relationship between leaf water use efficiency and physio-biochemical traits of winter wheat under rained condition. *Colloids Surf. B. Biointerfaces* 62, 280–7. doi:10.1016/j.colsurfb.2007.10.023
- Bassil, E.S., Kaffka, S.R., 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation II. Crop response to salinity. *Agric. Water Manag.* 54, 81–92. doi:10.1016/S0378-3774(01)00144-5
- Beare, M., Cabrera, M., Hendrix, P., Coleman, D., 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 58, 787-795.
- Bellini Saibene, Y., Farrell, M., Lorda, H., 2004. Relevamiento y análisis de la superficie de las explotaciones agropecuarias en el este de La Pampa. EEA INTA Anguil, 31p.
- Belmonte, M.L., Casagrande, G.A., Deanna, M.E., Olgún Páez, R., Farrel, A., Babinec, F.J., 2017. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”. Período 1973-2016. EEA INTA Anguil, 58p.
- Bernardos, J., Farrell, M., 2012. Evaluación de daño por la paloma torcaza (*Zenaida auriculata*) en girasol y pérdida de cosecha en la provincia de La Pampa campaña 2011-2012. Cuadernillo informativo N° 19 ASAGIR. 21p.
- Bishop, C. D., Curtis, K.R., Kim M.K., 2010. Conserving water in arid regions: Exploring the economic feasibility of alternative crops. *Agricultural Systems.* 103, 535-542.

- Blake, G. R., Hartge, K.H., 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. Pp. 363-375.
- Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *F. Crop. Res.* 112, 119–123. doi:10.1016/j.fcr.2009.03.009
- Bono, A., Romano, N., 2012. Métodos de diagnóstico de fertilización. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos (Ed. Bono, A., Quiroga, A.). Publicación técnica N° 89. EEA INTA Anguil. pp 119-135.
- Bono, A., Romano, N., 2008. Nutrición mineral y fertilización. En: El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana (Ed. Quiroga, A.; Pérez Fernández, J.). Publicación técnica N° 72. EEA INTA Anguil. pp 39-48.
- Bossio, D., Geheb, K., Critchle, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agric. Water Manag.* 97,536-542.
- Bragachini, M., Ustarroz, F., Saavedra, A., Mathier, D., Sosa, N., Alladio, M., Bragachini, M., Accoroni, C., Henning, H., 2017. Evolución del Sistema Productivo Agropecuario Argentino, INTA. ed. INTA, Ministerio de Agroindustria.
- Brevedan, R.E., Faraldo, M.L., Mirassón, H.R., Fioretti, M.E., Ferrero, C., Zingaretti, O., Dedurana, J.L., Fernández, M.A., Perdignes, R., Sanfilippo, G., 2008. Eficiencia de uso del agua en trigos de diferentes ciclos sembrados a tres espaciamientos bajo SD en la RPSC. VII Congreso Nacional de Trigo, V Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y I Encuentro del Mercosur. Santa Rosa (L.P.), Argentina.
- Calderini, D.F., Savin, R., Abeledo, L.G., Reynolds, M., Slafer, G.A., 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* 119, 199-204.
- Calviño, P. A., 2016. Planificación del cultivo según ambientes para diferentes estrategias de producción. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Calzada, J., 2016. Anuario estadístico 2016 de la Bolsa de Comercio de Rosario. ISSN: 2250-8988. pp 71.
- Canola Council, 2018. http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx. Consultado en octubre del 2018.
- Cantagallo, J.E., Chimenti, C.A., Hall, A.J., 1997. Number of seeds per unit área in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Sci.* 37, 1780-1786.
- Cantagallo, J.E., Hall, A.J., 2002. Seed number in sunflower as affected by light stress during the floret differentiation interval. *F. Crop. Res.* 74, 173–181.
- Cantagallo, J.E., Medan, D., Hall, A., 2004. Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *F. Crop. Res.* 85, 191–202. doi:10.1016/S0378-4290(03)00160-6
- Cantero-Martínez, C., Angas, P., Lampurlanés, J., 2003. Growth, yield and water productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *F. Crop. Res.* 84, 341–357. doi:10.1016/S0378-4290(03)00101-1
- Cárcova, J., Maddonni, G.A., Ghera, C.M., 2000. Long term cropping effects on maize crop evapotranspiration and grain yield. *Agron J.* 92, 1256-1265.
- Cárcova, J., Maddonni, G.A., Ghera, C.M., 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *F. Crop. Res.* 55, 165–174. doi:10.1016/S0378-4290(97)00076-2

- Cattáneo, M., 2016. Evolución del cultivo de cebada en Argentina. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Caviglia, J.A., Lorda, H.O., Lemes, J.D., 2010. Caracterización de las unidades de producción agropecuarias en la provincia de La Pampa. EEA INTA Anguil, 43p.
- Caviglia, O.P., Andrade, F.H., 2010. Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas : Capture and Use Efficiency of Environmental Resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol.* 3, 1–8.
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O., Andrade, F.H., 2013. Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the South-eastern Pampas. *F. Crop. Res.* 149, 300–311. doi:10.1016/j.fcr.2013.05.003
- Champolivier, L., Merrien, A., 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality. *Eur. J. Agron.* 5, 153–160. doi:10.1016/S1161-0301(96)02004-7
- Chimenti, C.A., Hall, A.J., 2001. Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. *F. Crop. Res.* 72, 177–184.
- Chimenti, C.A., Hall, A.J., López, M.S., 2001. Embryo-growth rate and duration in sunflower as affected by temperature. *F. Crop. Res.* 69, 81–88.
- Connor, D.J., Sadras, V.O., 1992. Physiology of yield expression in sunflower. *F. Crop. Res.* 30, 333–389.
- Conti, I., 2010. Competitividad de los híbridos de girasol alto oleico y su aporte a la salud humana. En: Actas del 5to Congreso Argentino de Girasol, ASAGIR.
- Copeland, P.J., Allmaras, R.R., Crookston, R.K., Nelson, W.W., 1993. Corn-Soybean Rotation Effects on Soil Water Depletion. *Agron. J.* 85, 203–210.
- Cortese, F., Simón, M.R., Aguinaga, A., 2013. Efecto de la dosis y momento de aplicación de fertilizante nitrogenado sobre el rendimiento, calibre y porcentaje de proteína en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) de distinto origen. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina.
- Cossani, C.M., Slafer, G. A., Savin, R., 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *F. Crop. Res.* 128, 109–118. doi:10.1016/j.fcr.2012.01.001
- Cossani, C.M., Slafer, G. a., Savin, R., 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *F. Crop. Res.* 112, 205–213. doi:10.1016/j.fcr.2009.03.003
- Covas G. 1965. Cultivo del cártamo en la Región Semiárida Pampeana. Boletín de divulgación técnica N° 4. EEA INTA Anguil, La Pampa, Argentina. pp. 12.
- Cox, M.C., Qualset, C.O., Rains, D.W., 1986. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III. Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 26, 737–740.
- Cox, M.C., Qualset, C.O., Rains, D.W., 1985a. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. Dry Matter and Nitrogen Accumulation. *Crop Sci.* 25, 430–435. doi:10.2135/cropsci1985.0011183X002500030003x
- Cox, M.C., Qualset, C.O., Rains, D.W., 1985b. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25, 435–440.
- CREA, 2016. <http://www.crea.org.ar/index.php/investigacion/economia/188-herramientas-herramientas/1050-herramientas-para-el-productor>.
- Cuniberti, M., 2016. Calidad del trigo Argentino. Aportes de la región central del país a la producción y exportación nacional. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI

- Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Cuniberti, M., 2011. Trigo: muestreo en pre-cosecha y clasificación. Calidad industrial de variedades argentinas. Publicación Técnica INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.
- Cuniberti, M., Menella, D., 2004. Requerimientos industriales de trigo en la Argentina. IDIA XXI. 6, 16-20.
- Cuniberti, M., Mir, L., 2016. Evolución de la calidad y usos del trigo Argentino. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Dardanelli, J.L., Bachmeier, O. A., Sereno, R., Gil, R., 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *F. Crop. Res.* 54, 29–38. doi:10.1016/S0378-4290(97)00017-8
- Dardanelli, J., Collino, D., Otegui, M.E., Sadras, V.O., 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: *Producción de granos, bases funcionales para su manejo* (Ed. Satorre, E.H. et al.). Editorial Facultad Agronomía UBA. Pp. 375-440.
- Dardanelli, J., Ritchie, J., Calmon, M., Andriani, J., Collino, D., 2004. An empirical model for root water uptake. *F. Crop. Res.* 87, 59–71. doi:10.1016/j.fcr.2003.09.008
- Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *Eur. J. Agron.* 21, 433–446. doi:10.1016/j.eja.2004.07.006
- Della Maggiora, A.I., Gardiol, J.M., Irigoyen, A.I., 2009. Requerimientos hídricos. En: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 3ª Ed.* (Ed. Andrade, F.H., Sadras, V.). Ed. INTA. pp. 115-126.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., Falcis, D.D., 1, Maggiore, T., De Falcis, D., Stanca, A., 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9, 11–20. doi:10.1016/S1161-0301(98)00019-7
- Dhillon, S.S., Ortiz-Monasterio, J.I., 1993. Wheat Special Report No. 23b. Cimmyt. Effects of Date of Sowing on the Yield and Yield Components of Spring Wheat and their Relationship with Solar Radiation and Temperature at Ludhiana, Punjab, India. 82p.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz-Zorita, M., 2014. Girasol. En: *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª Ed.* (Ed. Echeverría, H.E., García, F.O.). Ed. INTA. pp. 509-526.
- Díaz-Zorita, M., Buschiazzi, D.E., Peinemann, N., 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid argentine pampas. *Agron. J.* 91, 276-279.
- Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *F. Crop. Res.* 67, 35–49. doi:10.1016/S0378-4290(00)00082-4
- Dordas, C.A., Sioulas, C., 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *F. Crop. Res.* 110, 35–43. doi:10.1016/j.fcr.2008.06.011
- Dordas, C.A., Sioulas, C., 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Ind. Crops Prod.* 27, 75–85. doi:10.1016/j.indcrop.2007.07.020
- Dosio, G.A.A., Aguirrezabal, L.A.N., Andrade, F.H., Pereyra, V.R., 2000. Solar Radiation Intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Sci.* 40, 1637–1644.

- Dreccer, M.F., Fainges, J., Whish, J., Ogbonnaya, F.C., Sadras, V.O., 2018. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agric. For. Meteorol.* 248, 275–294. doi:10.1016/j.agrformet.2017.10.006
- Dreccer, M.F., Grashoff, C., Rabbinge, R., 1997. Source-sink ratio in barley (*Hordeum vulgare* L.) during grain filling: Effects on senescence and grain protein concentration. *F. Crop. Res.* 49, 269–277. doi:10.1016/S0378-4290(96)01002-7
- Dubois, M.E.; Gaido, Z.A., 2006. Calidad panadera de nuevos genotipos de trigo pan. *Agriscientia XXIII* (2), 105-108.
- Echarte, M.M., Angeloni, P., Jaimes, F., Tognetti, J., Izquierdo, N.G., Valentinuz, O., Aguirrezábal, L. a. N., 2010. Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil. *F. Crop. Res.* 119, 27–35. doi:10.1016/j.fcr.2010.06.011
- Echeverría, H.E., García, F.O., 2014. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª Edición (Ed. Echeverría, H.E., García, F.O.). Ed. INTA. 904 p.
- Elfadl, E., Reinbrecht, C., Frick, C., Claupein, W., 2009. Optimization of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production under low-input farming conditions in temperate climate. *F. Crop. Res.* 114, 2–13. doi:10.1016/j.fcr.2009.06.012
- Entz, M.H., Fowler, D.B., 1990. Differential agronomic response of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Sci.* 30, 1119-1123.
- Fan, J., McConkey, B., Wang, H., Janzen, H., 2016. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *F. Crop. Res.* 189, 68–74. doi:10.1016/j.fcr.2016.02.013
- Fan, Y., Wang, C., Nan, Z., 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agric. Water Manag.* 146, 335–345.
- Fava, M., 2013. Comunicación personal.
- Fernández, J., Casagrande, G.A., 1998. Caracterización Agroedáfica del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa. En: Actualización técnica del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa. Boletín de divulgación técnica N° 58, EEA INTA Anguil. pp 7-18.
- Fernández, M.A., 2007. Estrategias para mejorar el rendimiento de cereales graníferos invernales en la Región Semiárida Pampeana Central. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca, Arg. 139p.
- Fernández, R., Noellemeyer, E., Funaro, D., Quiroga, A., Peinemann, N., 2009. Disponibilidad de agua, nitrógeno y azufre en barbechos con y sin control de malezas en distintos niveles de residuos. *Ciencia del Suelo* 27(1), 57-66.
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B., Peinemann, N., 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agric. Water Manag.* 95, 1028–1040. doi:10.1016/j.agwat.2008.03.010
- Ferraris, G.N., Mausegne, F., 2008. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de perfiles de genotipo de trigo pan en el norte, centro y oeste de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07 y 2007/08. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN. 13p.
- Fischer, R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105, 447–461. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

- Forján, H., Manso, L., Ross, F., 2013. Doble cultivo: aumentando la seguridad de la técnica empleando cebada como cultivo de invierno. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina.
- Foulkes, M. J.; R. K. Scott y R. Sylvester-Bradley. 2001. The ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: resource capture. *J. Agric. Sci.* 137:1-16.
- Fraschina, J., Mir, L., Conde, B., Gómez, D., Donaire, G., Bainotti, C., Salines, J., Cuniberti, M., 2016a. Índice de calidad en la RET. I Correlación con parámetros. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Fraschina, J., Mir, L., Conde, B., Gómez, D., Donaire, G., Bainotti, C., Salines, J., Cuniberti, M., 2016b. Índice de calidad en la RET. II Análisis de estabilidad. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Figuerola, E., Erijman, L., Permingeat, H., Quiroga, A., 2016. High quality residues from cover crops favor changes in microbial community and enhance C and N sequestration. *Glob. Ecol. Conserv.* 6, 242–256. doi:10.1016/j.gecco.2016.03.009
- Frederick, J.R., Camberato, J.J., 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern Coastal Plain: Grain yield and kernel traits. *Agron. J.* 87, 521-526.
- Fuertes-Mendizábal, T., Aizpurua, A., González-Moro, M.B., Estavillo, J.M., 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Eur. J. Agron.* 33, 52–61. doi:10.1016/j.eja.2010.03.001
- Funaro, D., Garay, J., Rivarola, R., Quiroga, A., 2008. Algunos factores determinantes del rendimiento de girasol en la región semiárida pampeana central. En: *El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana* (Ed. Quiroga, A.; Pérez Fernández, J.). Publicación técnica N° 72. EEA INTA Anguil. pp. 33-38.
- Funaro, D., Peinemann, N., Noellemeyer, E., Quiroga, A., 2006a. Propiedades edáficas que condicionan la producción de girasol en molisoles de la región semiárida pampeana. En: *Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Nutrición de cultivos. Publicación técnica N° 67. EEA INTA Anguil.* pp 11-18.
- Funaro, D., Peinemann, N., Noellemeyer, E., Saks, M., Quiroga, A., 2006b. Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno para girasol en la región semiárida pampeana. En: *Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Nutrición de cultivos. Publicación técnica N° 67. EEA INTA Anguil.* pp 26-34.
- Gaggioli, C., Juan, M., Noellemeyer, E., Funaro, D., 2010. Evaluación de abundancia de raíces en cultivares de maíz con diferente ciclo de crecimiento. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina. Actas p. 125.
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J.W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S., Foulkes, M.J., 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *F. Crop. Res.* 123, 139–152. doi:10.1016/j.fcr.2011.05.010
- Galantini, J.A., Landriscini, M.R., Iglesias, J.O., 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina 2. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil Tillage Res.* 53, 137–144.
- García, F.O, Picone, L.I., Ciampitti, I.A., 2014. Fósforo. En: *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª Ed.* (Ed. Echeverría, H.E., García, F.O.). Ed. INTA. Pp. 229-264.

- García, G.A., Dreccer, M.F., Miralles, D.J., Serrago, R.A., 2015. High night temperatures during grain number determination reduce wheat and barley grain yield: A field study. *Glob. Chang. Biol.* 21, 4153–4164. doi:10.1111/gcb.13009
- García, G.A., Serrago, R.A., Dreccer, M.F., Miralles, D.J., 2016. Post-anthesis warm nights reduce grain weight in field-grown wheat and barley. *F. Crop. Res.* 195, 50–59. doi:10.1016/j.fcr.2016.06.002
- Ghironi, E., Corró Molas, A., Gili, A.; Hevia, E., Reinoso, H., 2012. Manejo sitio específico de densidades en los cultivos de girasol, maíz y sorgo en la región semiárida pampeana central. En: *Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida pampeana* (Corró Molas, A.; Ghironi, E.). Publicación técnica N° 90. EEA INTA Anguil. pp. 21-55.
- Gili, A., Álvarez, C., Bagnato, R., Noellemeyer, E., 2017. Comparison of three methods for delineating management zones for site-specific crop management. *Comput. Electron. Agric.* doi:10.1016/j.compag.2017.05.022
- Gleadow, R.M, Dalling, M.J., Halloran, G.M., 1982. Variation in endosperm characteristics and nitrogen content in six wheat lines. *Aust. J. Plant Physiol.* 9, 539-551.
- Gomez, N. V, Miralles, D.J., 2011. Factors that modify early and late reproductive phases in oilseed rape (*Brassica napus* L.): Its impact on seed yield and oil content. *Ind. Crops Prod.* 34, 1277–1285. doi:10.1016/j.indcrop.2010.07.013
- Grant, C.A., Peterson, G.A., Campbell, C.A., 2002. Nutrient considerations for diversified cropping systems in the northern Great Plains. *Agron. J.* 94, 186–198. doi:10.2134/agronj2002.0186
- Grassini, P., Hall, A.J., Mercau, J.L., 2009. Benchmarking sunflower water productivity in semiarid environments. *F. Crop. Res.* 110, 251–262. doi:10.1016/j.fcr.2008.09.006
- Grewal, H.S., 2010. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agric. Water Manag.* 97, 148–156. doi:10.1016/j.agwat.2009.09.002
- Gupta, S., Srivastava, S., Singh, R., Chaudhari, S.K., Sharma, D.K., Singh, S.K., Sarkar, D., 2014. Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice – wheat cropping system under reclaimed sodic soil. *Soil Tillage Res.* 136, 76–83. doi:10.1016/j.still.2013.10.001
- Guttieri, M.S., Stark, J.C., O'Brien, K., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Sci.* 41, 327-335.
- Hall, A., Chimenti, C., Vilella, F., Freier, G., 1985. Timing of water stress effects on yield components in sunflower. En: *Proceedings of the 11th International Sunflower Conference*, Mar del Plata, Argentina, pp. 131–136.
- Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extrem.* 10, 4–10. doi:10.1016/j.wace.2015.08.001
- Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H., 2001. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. *Agron. J.* 93, 271–280.
- Hocking, P.J., Kirkegaard, J.A., Angus, J.F., Gibson, A.H., Koetz, E.A., 1997. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments .2. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. *F. Crop. Res.* 52, 179–191. doi:10.1016/S0378-4290(96)01057-X
- Iglesias, D., Iturrioz, G., 2010. Importancia de la cadena agroalimentaria del trigo en la provincia de La Pampa. En: *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda*

- pampeana (Ed. Bono, A.; Quiroga, A.; Frasier, I.). Publicación técnica N° 79. EEA INTA Anguil. pp. 7-12.
- Iriarte, L., López, Z., 2017. Red nacional de evaluación de cultivares de colza (<http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-decultivares-de-colza.-campana-2017>).
- Iriarte, L., Valetti, O., 2008. Cultivo de Colza. INTA, Chacra Experimental Integrada Barrow. pp. 152.
- Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C., Konukcu, F., 2009. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agric. Water Manag.* 96, 1429–1434. doi:10.1016/j.agwat.2009.04.004
- Izquierdo, N.; Aguirrezábal, L.A., 2010. Recientes avances de la ecofisiología de la calidad de aceites. Su aplicación al manejo de cultivos para obtener aceites de alta calidad para usos específicos. En: *Avances en ecofisiología de cultivos de granos* (D.J. Miralles; L.N. Aguirrezábal; M.E. Otegui; B.C. Kruk y N. Izquierdo). Editorial Facultad de Agronomía UBA. Pp 213-233.
- Izquierdo, N.G., Aguirrezábal, L. A. N., Andrade, F.H., Cantarero, M.G., 2006. Modeling the Response of Fatty Acid Composition to Temperature in a Traditional Sunflower Hybrid. *Agron. J.* 98, 451. doi:10.2134/agronj2005.0083
- Izquierdo, N.G., Aguirrezábal, L. A. N., Andrade, F.H., Geroudet, C., Valentinuz, O., Pereyra Iraola, M., 2009. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. *F. Crop. Res.* 114, 66–74. doi:10.1016/j.fcr.2009.07.007
- Jamieson, P.D., Martin, R.J., Francis, G.S., 1995. Drought influences on grain yield of barley, wheat and maize. *N.Z.J. Crop Hortic. Sci.* 23, 55-66.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., 2009. Chapter 1 soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. In: *Advances in Agronomy* (Ed. Donald, L.S.) vol 101, 1-57.
- Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S.A., Nielsen, D.C., Lafond, G.P., Riveland, N.R., 2002. Oilseed Crops for Semiarid Cropping Systems in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94, 231–240. doi:10.2134/agronj2002.0231
- Jones, O.R., 1984. Yield, Water-Use Efficiency, and Oil Concentration and Quality. *Agron. J.* 76, 229–235.
- Jovicer, 2018. <http://www.jovicer.com.ar/> última visita: 06/12/2018.
- Kar, G., Kumar, A., Martha, M., 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agric. Water Manag.* 87, 73–82. doi:10.1016/j.agwat.2006.06.002
- Kar, G., Singh, R., Verma, H.N., 2003. Alternative cropping strategies for assured and efficient crop production in upland rainfed rice areas of eastern India based on rainfall analysis. *Agric. Water Manag.* 67, 47-62.
- Katerji, N., Mastroianni, M., 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *Eur. J. Agron.* 30, 95–100. doi:10.1016/j.eja.2008.07.009
- Kijne, J., Barron, J., Hoff, H., Rockström, J., Karlberg, L., Gowing, J., Wani, S.P., Wichelns, D., 2009. Opportunities to increase water productivity in agriculture with special reference to Africa and South Asia. Stockholm Environment Institute, Project Report-2009.
- Kiniry, J.R., Blanchet, R., Williams, J.R., Texier, V., Jones, C. A., Cabelguenne, M., 1992. Sunflower simulation using the EPIC and ALMANAC models. *F. Crop. Res.* 30, 403–423. doi:10.1016/0378-4290(92)90008-W

- Kong, A.Y., Six, J., 2012. Microbial community assimilation of cover crop rhizodeposition within soil microenvironments in alternative and conventional cropping systems. *Plant Soil* 356, 315–330. doi:10.1007/s11104-011-1120-4
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2009. Phenotypic variation in physiological determinants of yield in spring sown safflower under Mediterranean conditions. *F. Crop. Res.* 112, 199–204. doi:10.1016/j.fcr.2009.03.002
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *F. Crop. Res.* 90, 263–274. doi:10.1016/j.fcr.2004.03.009
- Kroetsch, D., Wang, C., 2008. Particle Size Distribution, in: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Taylor and Francis, Canadian Society of Soil Science, Boca Raton FL USA.
- Krupinsky, J.M., Tanaka, D.L., Merrill, S.D., Liebig, M. A., Hanson, J.D., 2006. Crop sequence effects of 10 crops in the northern Great Plains. *Agric. Syst.* 88, 227–254. doi:10.1016/j.agsy.2005.03.011
- Kuo, S., 1996. Chapter 32 Phosphorus. In: Sparks DL (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods USA: SSSA - ASA Madison WI* pp 869-920.
- Lang, M., 2011. El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la Región Semiárida Pampeana: Ensayo comparativo de rendimiento. *Rev. de la Fac. Agron. UNLPam* 22, 32–36.
- Lang, M., Frasier, I., 2009. Informe de campaña: Cártamo 2009. Ensayo de fechas de siembra y distancia entre hileras. INTA.
- Lenssen, A.W., Johnson, G.D., Carlson, G.R., 2007. Cropping sequence and tillage system influences annual crop production and water use in semiarid Montana, USA. *F. Crop. Res.* 100, 32–43. doi:10.1016/j.fcr.2006.05.004
- Liang, Z., Bronson, K.F., Thorp, K.R., Mon, J., Badaruddin, M., Wang, G., 2014. Cultivar and N Fertilizer Rate Affect Yield and N use Efficiency in Irrigated Durum Wheat. *Crop Sci.* 54, 1175–1183.
- Liebig, M. A., Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Hanson, J.D., 2007. Dynamic Cropping Systems: Contributions to Improve Agroecosystem Sustainability. *Agron. J.* 99, 899–903. doi:10.2134/agronj2006.0131
- Liu, L., Gan, Y., Bueckert, R., Van Rees, K., 2011. Rooting systems of oilseed and pulse crops II: Vertical distribution patterns across the soil profile. *F. Crop. Res.* 122, 256–263. doi:10.1016/j.fcr.2011.04.002
- Lo Valvo, P.J., Miralles, D.J., 2013. Cambios en la disponibilidad hídrica sobre el crecimiento en cultivos de trigo y cebada. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina.
- Lo Valvo, P.J., Miralles, D.J., Serrago, R.A., 2017. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *F. Crop. Res.* 221, 314–321. doi:10.1016/j.fcr.2017.08.014
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., Field, C.B., 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 179–204. doi:10.1146/annurev.enviro.041008.093740
- López-Castañeda, C., Richards, R., 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environment. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *F. Crop. Res.* 37, 51–62.
- López, M.V., Arrúe, J.L., 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Res.* 44, 35–54. doi:10.1016/S0167-1987(97)00030-5

- López Pereira, M., Trápani, N., Sadras, V.O., 2000. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995 Part III. Dry matter partitioning and grain composition. *F. Crop. Res.* 67, 215–221.
- MAGyP, 2017. <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>
- Magrin, G., Hall, A., Baldy, C., Grondona, M., 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agric. For. Meteorol.* 67, 29–41. doi:10.1016/0168-1923(93)90048-M
- Mailhol, C.J., Olufayo, A.A., Ruelle, P., 1997. Sorghum and sunflower evapotranspiration yield from simulated leaf area index and. *Agric. Water Manag.* 35, 167–182.
- Martínez, R.D., Izquierdo, N.G., Belo, R.G., Aguirrezábal, L.A.N., Andrade, F., Reid, R., 2012. Oil yield components and oil quality of high stearic-high oleic sunflower genotypes as affected by intercepted solar radiation during grain filling. *Crop Pasture Sci.* 63, 330–337.
- Melgarejo, M., 2007. Una calidad de aceite para cada uso. En: *Actas 4° Congreso Argentino de Girasol, ASAGIR.*
- Menella, D., 2016. El nuevo rol de Argentina en el mercado mundial de cebada y malta. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Menéndez, F.J., Satorre, E.H., 2007. Evaluating wheat yield potential determination in the Argentine Pampas. *Agric. Syst.* 95, 1–10. doi:10.1016/j.agry.2007.03.004
- Merrill, S.D., Tanaka, D.L., Hanson, J.D., 2002. Root Length Growth of Eight Crop Species in Haplustoll Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 913. doi:10.2136/sssaj2002.9130
- Merrill, S.D., Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Liebig, M. a., Hanson, J.D., 2007. Soil Water Depletion and Recharge under Ten Crop Species and Applications to the Principles of Dynamic Cropping Systems. *Agron. J.* 99, 931–938. doi:10.2134/agronj2006.0134
- Miglierina, A.M., Iglesias, J.O., Landriscini, M.R., 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Tillage Res.* 53, 129–135.
- Mir, L., Conde, B., Bainotti, C., Cuniberti, M., Alberione, E., Frascina, J., Salines, J., Donaire, G., Gómez, D., Salines, N., 2016. Influencia de los efectos año, ciclo, fungicida y sus interacciones sobre el rendimiento y la calidad comercial e industrial del trigo pan (*Triticum aestivum* L.). VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Miralles, D., Arisnabarreta, S., Alzueta, I., 2011. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En: *Cebada Cervecera* (eds. Miralles, D.J., Benech-Arnold, R.L., Abeledo, L.G.). pp. 1-34.
- Miralles, D., Slafer, G., 2007. Sink limitation to yield in wheat: how could it be reduced? *J. Agric. Sci.* 145, 139-149.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., Kijne, J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agric. Water Manag.* 97, 528–535. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.023
- Molfese, E.R., 2016. Calidad del trigo argentino: caracterización de la producción en el centro sur bonaerense. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.

- Molfese, E.R., Astiz, V., 2016. Clasificación del trigo pan según grupos de calidad: resultados obtenidos en situaciones reales de producción. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Moreyra, F., Miravalles, M., Conti, V., González, G., Vallati, A., Giménez, F., 2013. Variaciones en el calibre del grano de “cebada cervecera” (*Hordeum vulgare* L.) en la región pampeana durante 2012. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina.
- Moroke, T.S., Schwartz, R.C., Brown, K.W., Juo, A.S.R., 2011. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil Tillage Res.* 112, 76–84. doi:10.1016/j.still.2010.11.008
- Moroke, T.S., Schwartz, R.C., Brown, K.W., Juo, A.S.R., 2005. Soil Water Depletion and Root Distribution of Three Dryland Crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 197–205.
- NDMC, 2017. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska. <http://drought.unl.edu/MonitoringTools>.
- Nielsen, D.C., Unger, P.W., Miller, P.R., 2005. Efficient Water Use in Dryland Cropping Systems in the Great Plains 372, 364–372.
- Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Benjamin, J.G., 2011. Evaluating decision rules for dryland rotation crop selection. *F. Crop. Res.* 120, 254–261. doi:10.1016/j.fcr.2010.10.011
- Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A., 2013. Crop and Tillage Effects on Water Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. *Agriculture* 3, 1–11. doi:10.3390/agriculture3010001
- Noellemeyer, E., Six, J., 2014. Basic Principles of Soil Carbon Management for Multiple Ecosystem Benefits, in: S.A. Banwart, E.N. and E.M. (Ed.), *Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits*. CABI, Wallingford, UK., pp. 265–276. doi:10.1079/9781780645322.0265
- Nosetto, M.D., Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., Sznajder, G.A., 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *F. Crop. Res.* 113, 138–148. doi:10.1016/j.fcr.2009.04.016
- Oelofse, M., Markussen, B., Knudsen, L., Schelde, K., Olesen, J.E., Stoumann, L., Bruun, S., 2015. Do soil organic carbon levels affect potential yields and nitrogen use efficiency? An analysis of winter wheat and spring barley field trials. *Eur. J. Agron.* 66, 62–73. doi:10.1016/j.eja.2015.02.009
- Otamendi, M.A., 2004. Demandas de calidad de trigo a nivel mundial. *IDIA XXI.* 6, 11–15.
- Pala, M., Ryan, J., Zhang, H., Singh, M., Harris, H.C., 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manag.* 93, 136–144. doi:10.1016/j.agwat.2007.07.001
- Passioura, J.B., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce — from breeding to field management. *Agric. Water Manag.* 80, 176–196. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.012
- Passioura, J.B., 1983. Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.* 7, 265–280.
- Passioura, J.B., 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43, 117–120.
- Passioura, J.B., Angus, J.F., 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments, *Advances in Agronomy*. doi:10.1016/S0065-2113(10)06002-5
- Pereyra-Irujo, G., Aguirrezábal, L., 2007. Sunflower yield and oil quality interactions and variability: Analysis through a simple simulation model. *Agric. For. Meteorol.* 143, 252–265. doi:10.1016/j.agrformet.2007.01.001

- Pérez Fernández, J., Quiroga A., Bono A., Montoya J., Funaro D., Ves Losada J. y Fernández, R., 2007. Producción sustentable de girasol en la región semiárida pampeana central. En actas 4° Congreso Argentino de Girasol. pp 306-307.
- Pierbattisti, L., 2016. La calidad como llave de acceso a un mercado: “Cuando se prima la escasez internamente de algo que sobra externamente, estamos en el horno”. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Piorno, L., 2015. Comunicación personal.
- Polidoro, O., García, R., Annone, J.G., Calzolari, A., 2004. Efecto de factores ambientales y sanitarios que afectan el peso hectolítrico del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.). VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca, Argentina.
- Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Ristic, Z., Bukovnik, U., Fritz, K., 2008. Impact of nighttime temperature on physiology and growth of spring wheat. *Crop Sci.* 48, 2372-2380.
- Prystupa P., Ferraris, G., 2011. Nutrición mineral y fertilización. En: Cebada Cervecera (eds. Miralles, D.J., Benech-Arnold, R.L., Abeledo, L.G.). pp. 35-62.
- Quiriban, A.E., Castaño, M., Pereyra Cardoso, M., 2015. Relación entre la baja disponibilidad de agua al inicio de encañazón en trigo (*Triticum aestivum* L.) y la concentración de proteína en grano. *Semiárida, Rev. Fac. Agronomía, UNLPam*, Vol. 25 (2), 19-25.
- Quiroga, A., Bono, A., Corró Molas, A., 2002. Aspectos nutricionales del girasol en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Rev. Idia XXI Año II N°3*, 128-134.
- Quiroga, A., Díaz-Zorita, M., Buschiazzo, D.E., 2001. Safflower productivity as related to soil water storage and management practices in semiarid regions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(17&18), 2851-2862.
- Quiroga, A., Fernández, R., Frasier, I., Funaro, D., 2008. Aspectos del manejo del agua. En: El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana (Ed. Quiroga, A.; Pérez Fernández, J.). Publicación técnica N° 72. EEA INTA Anguil. pp. 33-38.
- Quiroga, A., Fernández, R., Noellemeyer, E., 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil Tillage Res.* 105, 164-170.
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O., Frasier, I., 2010. Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. En: El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana (Ed. Bono, A.; Quiroga, A.; Frasier, I.). Publicación técnica N° 79. EEA INTA Anguil. pp. 41-46.
- Quiroga, A., Funaro, D., Fernández, R., Noellemeyer, E., 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo* 23, 79-86.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., Peinemann, N., 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 90, 63-68. doi:10.1016/j.still.2005.08.019
- Quiroga, A.; Gaggioli, C.; Fernández, R.; Noellemeyer, E.J. 2015. Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. En: El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina (Ed. Casas, R.; Albarracín, G.F.). pp. 167-181.
- Quiroga, A., Sacks, M., Fernández, R., Otamendi, H., Funaro, D., 2007. Efectos directos y residuales de la fertilización sobre la productividad y propiedades de un Haplustol Entico. En: Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Publicación técnica N° 69. EEA INTA Anguil. pp. 35-54.

- Rathke, G., Behrens, T., Diepenbrock, W., 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 117, 80–108. doi:10.1016/j.agee.2006.04.006
- Rattalino Edreira, J.I., Mayer, L.I., Otegui, M.E., 2014. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Kernel growth, water relations and assimilate availability for grain filling. *F. Crop. Res.* 166, 162–172. doi:10.1016/j.fcr.2014.06.018
- Restovich, S.B., Andriulo, A.E., Portela, S.I., 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *F. Crop. Res.* 128, 62–70. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.012
- Ritchie, J.T., Basso, B., 2008. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. *Eur. J. Agron.* 28, 273–281. doi:10.1016/j.eja.2007.08.003
- Rivas J., Matarazzo, R., 2009. Producción de cártamo. Consideraciones generales. Boletín de divulgación N° 20. EEA INTA Hilario Ascasubi, Bs. As., Argentina. pp. 19.
- Rockström, J., 2003. Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rainfed agriculture. *Royal Society Transactions B: Biological Sciences* 358(1440),1997-2009.
- Rockström, J., Falkenmark, M., 2000. Semiarid crop production from a hydrological perspective: gap between potential and actual yields. *Critical reviews in Plant Science* 19, 319-346.
- Romano, N., Frasier, I., Montoya, J., 2010. Ensayos comparativos de rendimiento de trigo pan en la región semiárida pampeana. En: *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana* (Ed. Bono, A.; Quiroga, A.; Frasier, I.). Publicación técnica N° 79. EEA INTA Anguil. pp. 33-40.
- Ron, M.M., Storniolo, R., Rausch, A., 2013. Dosis óptima económica de nitrógeno en cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.). IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina.
- Rondanini, D.P., Gomez, N. V., Agosti, M.B., Miralles, D.J., 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *Eur. J. Agron.* 37, 56–65. doi:10.1016/j.eja.2011.10.005
- Sadras, V.O., Calviño, P.A., 2001. Quantification of Grain Yield Response to Soil Depth in Soybean, Maize, Sunflower, and Wheat. *Agron. J.* 93, 577–583.
- Sadras, V.O., Connor, D.J., Whitfield, D.M., 1993. Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. *F. Crop. Res.* 31, 27–39.
- Sadras, V.O., Hall, A.J., 1989. Patterns of Water Availability for Sunflower Crops in Semi-Arid Central Argentina. A Simulation-Based Evaluation of Their Interactions with Cropping Strategies and Cultivar Traits 31, 221–238.
- Sadras, V.O., Lawson, C., 2013. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. *Eur. J. Agron.* 46, 34–41. doi:10.1016/j.eja.2012.11.008
- Saks, M., 2014. Factores edáficos que inciden sobre la productividad de maíz en la Región Semiárida Pampeana. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca, Arg. 93p.
- Salas, J.J., Martínez-Force, E., Harwood, J.L., Venegas-Calcrón, M., Aznar-Moreno, J.A., Moreno-Pérez, A.J., Ruíz-López, N., Serrano-Vega, M.J., Graham, I.A., Mullen, R.T., Garcés, R., 2014. Progress in Lipid Research Biochemistry of high stearic sunflower, a new source of saturated fats 55, 30–42. doi:10.1016/j.plipres.2014.05.001

- Salines, J., Donaire, G., Frascina, J., Bainotti, C., Conde, B., Conti, V., Moreyra, F., González, G., Vallati, A., Giménez, F., 2016. Rendimiento y estabilidad productiva de cultivares de cebada cervecera durante los años 2014 y 2015 en los ensayos de la red. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Savin, R., 2010. Estrés térmico y calidad en cereales de invierno. En: Avances en ecofisiología de cultivos de granos (D.J. Miralles; L.N Aguirrezábal; M.E. Otegui; B.C. Kruk y N. Izquierdo). Editorial Facultad de Agronomía UBA. Pp 201-210.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1569. doi:10.2136/sssaj2005.0117
- Schneiter, A., Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science.* 21, 901-903.
- Scholz, M.B., 2016. Evolución de la calidad tecnológica de las variedades de trigo en Brasil. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de siembra Otoño-Invernal y II Reunión del Mercosur. Pergamino, Argentina.
- Schulte auf'm Erley, G., Behrens, T., Ulas, A., Wiesler, F., Horst, W.J., 2011. Agronomic traits contributing to nitrogen efficiency of winter oilseed rape cultivars. *F. Crop. Res.* 124, 114–123. doi:10.1016/j.fcr.2011.06.009
- Scian, B.V., 2002. Variabilidad de las Condiciones Hídricas en la Región Semiárida Pampeana, Argentina. *Geoacta* 27, 30-52.
- Scian, B.V., 1995. Mapas mensuales de probabilidad de precipitación en la región pampeana. *Rev. Geofísica* 42, 133-141.
- Sesták, Z., Catský, J., Jarvis, P.G. (eds), 1971. Plant Photosynthetic production. *Manual of Methods.* Dr W. Junk N.V. Publishers. The Hague. pp. 343-391.
- Sinclair, T.R., Muchow, R.C., 2001. System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. *Agron. J.* 93, 263-270.
- Skansi, M., Nuñez, S., Berríos Cáceres, S., Podestá, G., 2006. Un nuevo producto operacional para monitorear la ocurrencia y duración de períodos secos y húmedos, usando el índice de precipitación estandarizado. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Argentina.
- Slafer, G.A., Miralles, D.J., Savin, R., Whitechurch, E.M., González, F.G., 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Producción de granos, bases funcionales para su manejo (Ed. Satorre, E.H. et al.). Editorial Facultad Agronomía UBA. pp. 101-132.
- Songsri, P., Jogloy, S., Holbrook, C.C., Kesmala, T., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Patanothai, A., 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agric. Water Manag.* 96, 790–798. doi:10.1016/j.agwat.2008.10.009
- Soriano, M.A., Orgaz, F., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. *Eur. J. Agron.* 21, 465–476. doi:10.1016/j.eja.2004.07.001
- Stanton, J., Kent Olson, D., Brock, J.H., Gordon, R.S., 2001. The environmental and economic feasibility of alternative crops in arid areas: considering mesquite in Baja California, Mexico. *J. Arid Environ.* 48, 9–22. doi:10.1006/jare.2000.0729
- Stone, L.R., Goodrum, D.E., Schlegel, A.J., Jaafar, M.N., Khan, A.H., 2002. Water depletion depth of grain sorghum and sunflower in the central High Plains. *Agron. J.* 94, 936–943. doi:10.2134/agronj2002.0936
- Stoy, V., 1965. Photosynthesis, respiration and carbohydrate accumulation in spring wheat in relation to yield. *Phis. Plant. Supp IV.* pp. 1-125.

- Taboada, M.A., Micucci, F.G., 2002. Disponibilidad y absorción de agua por los cultivos. En: Fertilidad Física de los Suelos. Facultad de Agronomía, UBA. pp. 11-25.
- Taghvaeian, S., Comas, L., Dejonge, K.C., Trout, T.J., 2014. Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agric. Water Manag.* 144, 69–80. doi:10.1016/j.agwat.2014.06.003
- Takashima, N.E., Rondanini, D.P., Puhl, L.E., Miralles, D.J., 2013. Environmental factors affecting yield variability in spring and winter rapeseed genotypes cultivated in the southeastern Argentine Pampas. *Eur. J. Agron.* 48, 88–100. doi:10.1016/j.eja.2013.01.008
- Tanaka, D.L., Anderson, R.L., Rao, S.C., 2005. Crop Sequencing to Improve Use of Precipitation and Synergize Crop Growth 390, 385–390.
- Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Liebig, M.A., Merrill, S.D., Ries, R.E., Hendrickson, J.R., Johnson, H.A., Hanson, J.D., 2002. Dynamic cropping systems: an adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94, 957–961.
- Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Liebig, M. a., Hanson, J.D., 2007. Dynamic Cropping Systems for Sustainable Crop Production in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 99, 904–911. doi:10.2134/agronj2006.0132
- Teare, I.D., Kanemasu, E.T., Powers, W.L., Jacobs, H.S., 1973. Water-Use Efficiency and Its Relation to Crop Canopy Area, Stomatal Regulation, and Root Distribution (AJ). *Agron. J.* 65, 207–211.
- Thorup-kristensen, K., 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil* 322, 101–114. doi:10.1007/s11104-009-9898-z
- Trápani, N., López Pereira, M., Sadras, V.O., Hall, A.J., 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol. En: Producción de granos, bases funcionales para su manejo (Ed. Satorre, E.H. et al.). Editorial Facultad Agronomía UBA. pp. 205-241.
- Triboi, E., Triboi-Blondel, A.-M., 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem—invited paper. *Eur. J. Agron.* 16, 163–186. doi:10.1016/S1161-0301(01)00146-0
- Turner, N.C., 2004. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *J. Exp. Bot.* 55, 2413–2425. doi:10.1093/jxb/erh154
- USDA-NRCS, 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos.
- Valetti, O., Iriarte, L, 2012. Colza: por qué sí y por qué no. Cuadernillo temático Agromercado. Abril 2012.
- Viglizzo, E.F., Carreño, L.V., Pereyra, H., Ricard, F., Clatt, J., Pincén, D., 2010. Capítulo 1: Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. En: Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental (Ed. Viglizzo E.F. y Jobbágy, E.). Ediciones INTA. pp. 9-16.
- Villalobos, F.J., Ritchie, J.T., 1992. The effect of temperature on leaf emergence rate of sunflower genotypes. *F. Crop. Res.* 29, 37-46.
- Villar, J., 2001. Dinámica del consumo de agua de trigo en siembra directa. En anuario 2001 Agronomía, INTA Rafaela.
- Walkley, A., Black, I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Wang, X., Dai, K., Wang, Y., Zhang, X., Zhao, Q., Wu, X., Cai, D., Hoogmoed, W.B., Oenema, O., 2010. Nutrient management adaptation for dryland maize yields and water use efficiency to long-term rainfall variability in China. *Agric. Water Manag.* 97, 1344–1350. doi:10.1016/j.agwat.2010.03.016

- Weymann, W., Böttcher, U., Sieling, K., Kage, H., 2015. Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. *F. Crop Res.* 173, 41–48. doi:10.1016/j.fcr.2015.01.002
- White, R.G., Kirkegaard, J.A., 2010. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil – implications for water uptake. *Plant, Cell Environ.* 33, 133–148. doi:10.1111/j.1365-3040.2009.02059.
- Wright, P.R., Morgan, J.M., Jessop, R.S, Cass, A., 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. Juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. *F. Crop Res.* 42, 1-13.
www.oleaginosas.org. Visitado en diciembre 2018.
- Yau, S. K., Ryan, J., 2010. Response of rainfed safflower to nitrogen fertilization under Mediterranean conditions. *Ind. Crops Prod.* 32, 318–323. doi:10.1016/j.indcrop.2010.05.008
- Zadoks, J.C, Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.
- Zhang, H., Berger, J.D., Seymour, M., Brill, R., Herrmann, C., Quinlan, R., Knell, G., 2016. Relative yield and profit of Australian hybrid compared with open-pollinated canola is largely determined by growing-season rainfall. *Crop Pasture Sci.* 67, 323–331.
- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Y., Shao, L., 2010. Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 97, 1117–1125. doi:10.1016/j.agwat.2009.06.003
- Zheljzakov, V.D., Vick, B.A., Baldwin, B.S., Buehring, N., Coker, C., Astatkie, T., Johnson, B., 2011. Oil productivity and composition of sunflower as a function of hybrid and planting date. *Ind. Crop. Prod.* 33, 537–543. doi:10.1016/j.indcrop.2010.11.004

ANEXO I: Girasol

Escala fenológica girasol (Schneiter y Miller, 1981)

Ve: el hipocótilo y los cotiledones han emergido sobre la superficie del suelo.

Vn: el número (n) de hojas verdaderas (más de 4 cm de largo) se numeran.

R1: La inflorescencia rodeada de brácteas inmaduras es visible. Cuando se observa desde arriba las brácteas inmaduras parecen una estrella con varias puntas.

R2: El entrenudo debajo de la base de la inflorescencia se elonga desde 0,5 a 2 cm por encima de la última hoja verdadera en el tallo.

R3: El entrenudo debajo del órgano reproductivo continúa su crecimiento llevando la inflorescencia a más de 2 cm de la última hoja.

R4: La inflorescencia comienza a abrirse. Las flores liguladas comienzan a verse.

R5: En esta etapa se produce la antesis de las flores tubuladas. Las flores liguladas están completamente desarrolladas y expandidas y todos los discos de flores tubuladas son visibles. Esta etapa puede ser dividida en subetapas dependiendo del porcentaje del capítulo que se encuentra en antesis. Por ejemplo si el 50% del capítulo está en antesis, el estado fenológico puede considerarse R5.5.

R6: La antesis es completa y las flores liguladas perdieron turgencia y se están marchitando. Estas flores pueden marchitarse o caer inmediatamente.

R7: El receptáculo comienza a cambiar de color, se vuelve amarillo claro.

R8: El receptáculo está completamente amarillo pero las brácteas continúan verdes.

R9: Las brácteas cambian a un color marrón. La mayor parte del receptáculo se torna marrón. Ésta etapa está asociada a la madurez fisiológica del cultivo.

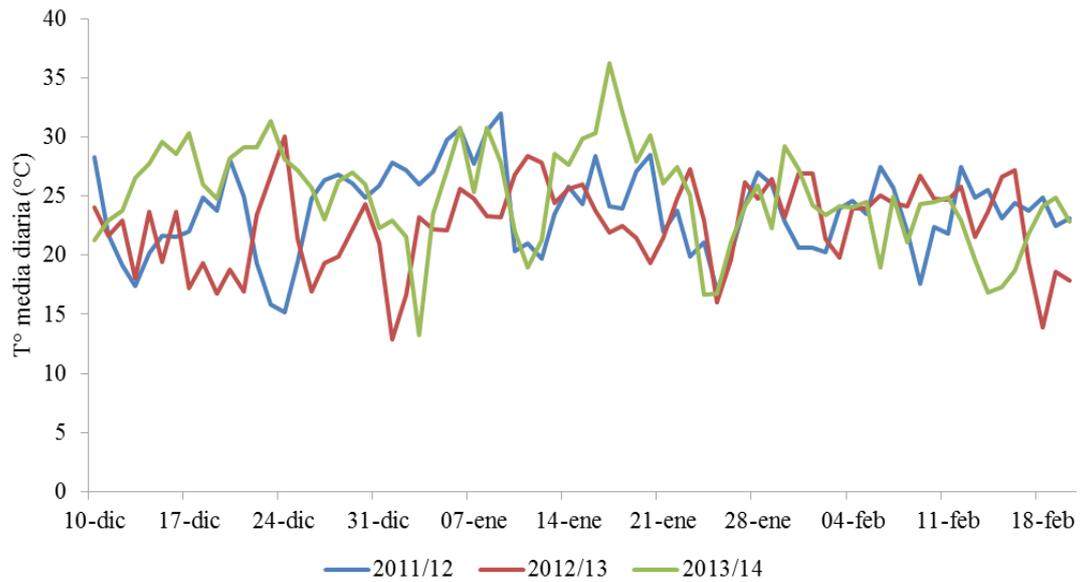


Figura 1.1. Temperaturas medias diarias (°C) en el período comprendido entre el 10-12 al 20-02 de cada campaña en la EEA INTA Anguil.

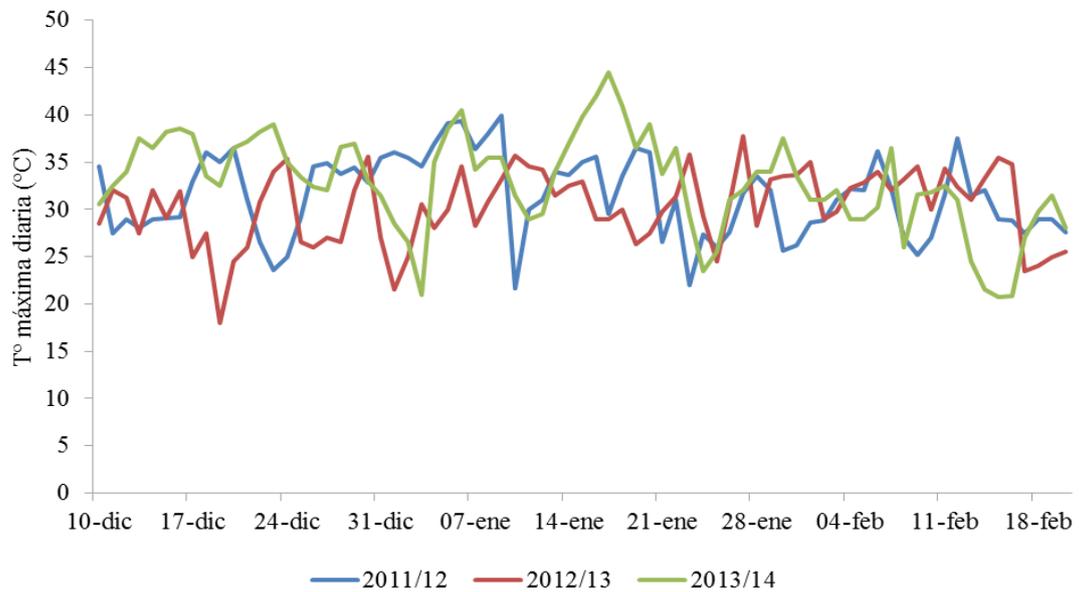


Figura 1.2. Temperaturas máximas diarias (°C) en el período comprendido entre el 10-12 al 20-02 de cada campaña en la EEA INTA Anguil.

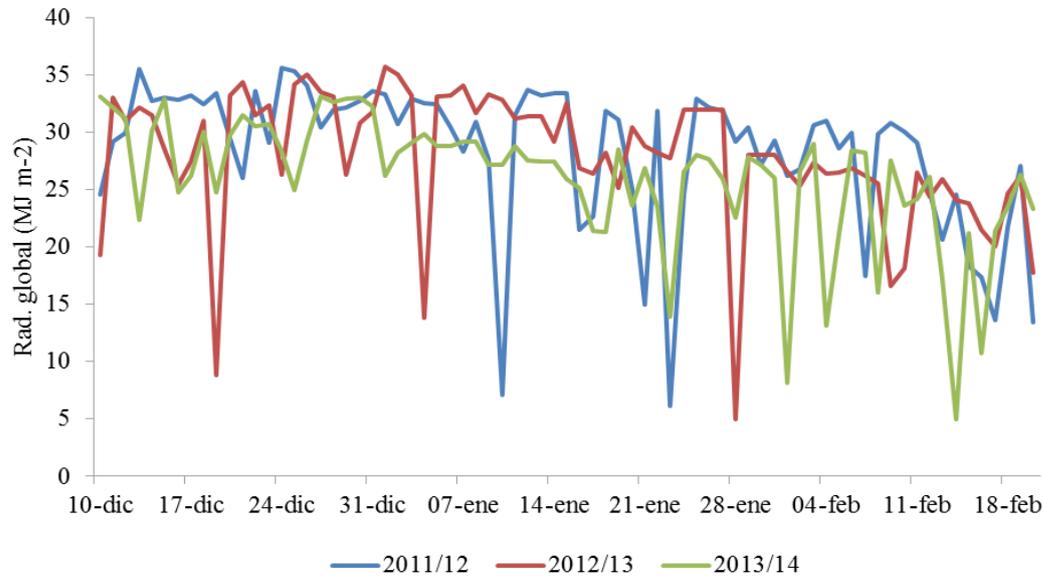


Figura 1.3. Radiación global media diaria (Mj m^{-2}) en el período comprendido entre el 10-12 al 20-02 de cada campaña en la EEA INTA Anguil.

Tabla 1.1. Contraste entre tipo de híbridos de tasa de crecimiento del cultivo promedio entre estado vegetativo y floración (TCC_{v-f}) en cada campaña, en el Paleustol.

Tipo de híbrido	TCC_{v-f} ($\text{g m}^2 \text{ día}^{-1}$)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV	12,9 a	29,0 a	14,2 a
OL	12,1 a	25,9 b	13,4 a
ES	11,3 a	23,7 b	14,2 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($\text{LSD } p < 0,05$)

Tabla 1.2. Materia seca a floración (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_f), tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca a floración (EUA_{MS_f}), de cada híbrido en el Paleustol.

Híbrido	MS_f (kg ha^{-1})	IAF_f	AFE_f ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	TAN_{v-f} ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	EUA_{MS_f} ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
CV 1	7484 b	1,4 b	102 c	18,5 a	26,7 b
CV 2	8834 a	2,0 a	117abc	16,3 a	31,8 a
OL 1	7231 b	1,6 b	123 a	16,0 a	26,1 b
OL 2	7786 ab	1,6 b	120 ab	18,1 a	27,9 ab
ES 1	7403 b	1,5 b	107 bc	18,1 a	26,2 b
ES 2	6894 b	1,5 b	127 a	16,7 a	25,3 b
DMS	1069	0,3	15,5	2,1	3,9

Letras distintas indican diferencias significativas ($\text{LSD } p < 0,05$)

Tabla 1.3. Materia seca (MS_{mf}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca ($EUA_{MS_{mf}}$) en madurez fisiológica en las campañas 2012/13 y 2013/14 en el Paleustol.

Campaña	MS_{mf} (kg ha ⁻¹)	$EUA_{MS_{mf}}$ (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2012/13	11082 a	28,2 a
2013/14	4336 b	16,4 b
<i>DMS</i>	<i>613</i>	<i>1,98</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.4. Materia seca de los residuos (MS_r) e índice de cosecha (IC) en los tratamientos fertilizado y testigo de las campañas 2012/13 y 2013/14 en el Paleustol.

Tratamiento	MS_r (kg ha ⁻¹)		IC	
	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
Fertilizado	7305 b	3801 a	0,32 a	0,16 a
Testigo	8192 a	3400 a	0,29 b	0,18 a
<i>DMS</i>	<i>784</i>	<i>784</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.5. Índice de cosecha (IC) de cada híbrido en las campañas 2012/13 y 2013/14 en el Paleustol.

Híbrido	IC	
	2012/13	2013/14
CV 1	0,34 a	0,18 a
CV 2	0,32 ab	0,21 a
OL 1	0,33 ab	0,10 b
OL 2	0,29 ab	0,20 a
ES 1	0,27 b	0,19 a
ES 2	0,30 ab	0,16 ab
<i>DMS</i>	<i>0,07</i>	<i>0,07</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

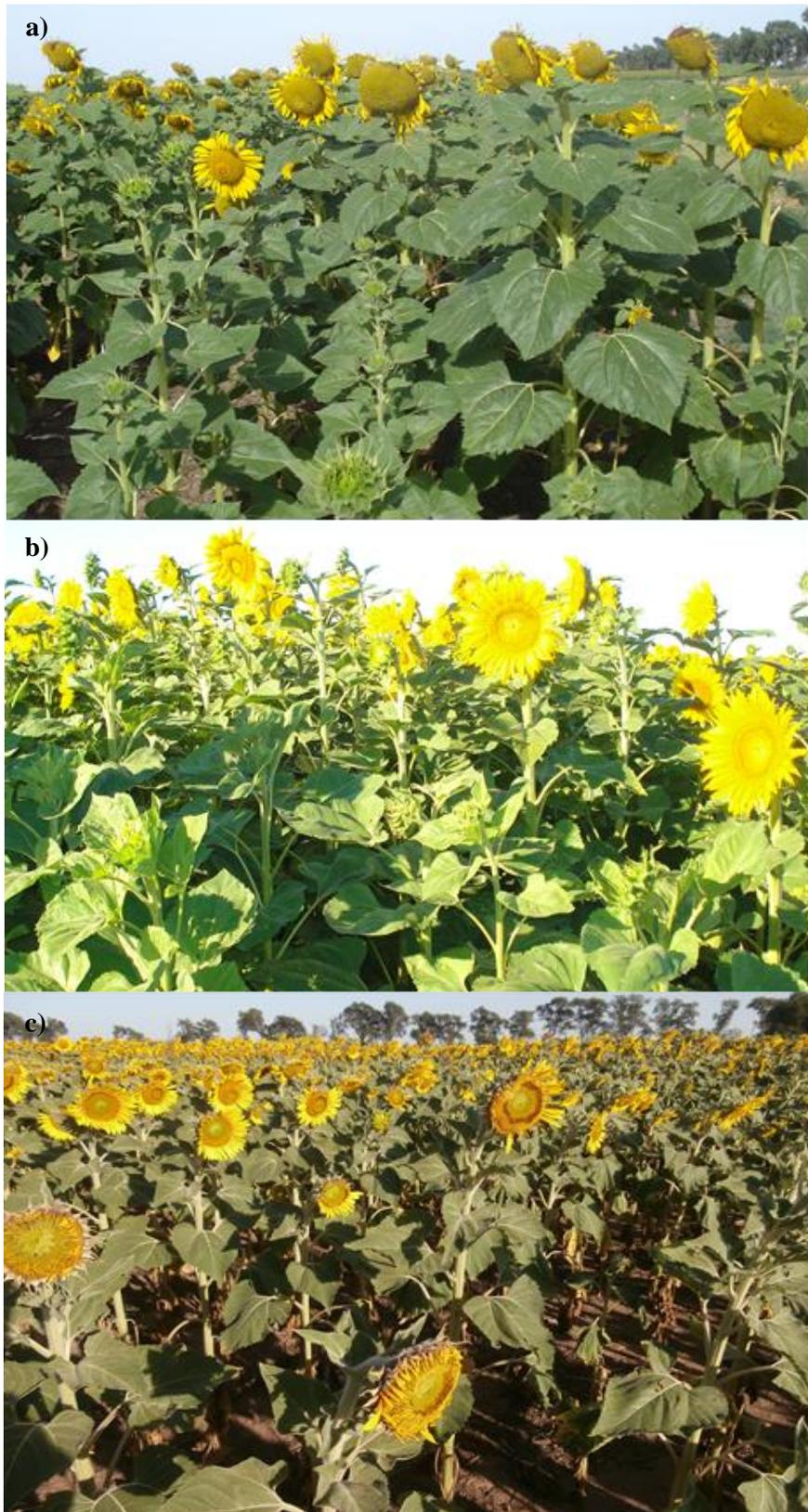


Foto 1.1. Ensayo girasol en el Paleustol en las campañas a) 2011/12 b) 2012/13 y c) 2013/14.

Tabla 1.6. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) de cada híbrido en el Paleustol.

Híbrido	Rdto (kg ha ⁻¹)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)	MB (u\$ ha ⁻¹)
CV 1	2536 a	1011 ab	5,7 ab	1,80 a	302 a
CV 2	2531 a	1107 a	6,1 a	2,06 a	364 a
OL 1	2076 bc	877 cd	4,6 cd	1,69 a	292 a
OL 2	2215 b	923 bc	5,3 bc	1,91 a	328 a
ES 1	2051 bc	766 de	4,8 cd	1,93 a	375 a
ES 2	1931 c	739 e	4,5 d	1,79 a	334 a
DMS	252	113	0,7	0,27	76

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.7. Materia grasa en grano (MG), peso de mil granos (PMG) y granos por m² (granos m⁻²), de los híbridos en cada campaña en el Paleustol.

Híbrido	2011/12			2012/13			2013/14		
	MG (%)	PMG (g)	granos m ²	MG (%)	PMG (g)	granos m ²	MG (%)	PMG (g)	granos m ²
CV 1	46,7 b	40,3 b	5387 a	42,9 d	49,7 b	7814 a	43,5 bc	30,5 b	2734 a
CV 2	50,0 a	47,2 a	4780 ab	48,1 a	55,9 a	6195 b	46,5 a	39,5 a	2861 a
OL 1	50,5 a	45,4 a	4299 bc	45,3 bc	55,4 a	5924 b	43,4 bc	38,2 a	1181 c
OL 2	46,0 b	44,5 ab	4510 ab	46,7 ab	49,7 b	6393 b	45,1 ab	31,5 b	2595ab
ES 1	36,5 d	40,3 b	4412 b	43,8 cd	38,2 c	8113 a	43,8 bc	24,9 c	2861 a
ES 2	41,8 c	46,3 a	3437 c	42,7 d	48,9 b	6366 b	43,1 c	31,2 b	1787bc
DMS	1,78	4,74	900	1,78	4,74	900	1,78	4,74	900

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.8. Rendimiento en grano (Rdto), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), peso de mil granos (PMG), granos por m² (granos m⁻²), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB), en los tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Tratamiento	Rdto (kg ha ⁻¹)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	PMG (g)	granos m ²	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)	MB (u\$ ha ⁻¹)
Fertilizado	2262 a	907 a	41,2 a	4690 a	5,28 a	1,89 a	277 b
Testigo	2185 a	900 a	42,9 a	4381 b	5,05 a	1,84 a	388 a
DMS	98	43	1,86	206	0,26	0,09	30,5

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.9. Contraste entre tipos de híbridos en tasa de asimilación neta promedio entre estado vegetativo y floración (TAN_{v-f}) en cada campaña en el Ustipsamment.

Tipo de híbrido	TAN _{v-f} (g m ² día ⁻¹)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV	16,5 a	14,0 a	19,3 a
OL	16,7 a	14,0 a	19,1 a
ES	16,4 a	14,4 a	19,9 a

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.10. Materia seca (MS_f), índice de área foliar (IAF_f), área foliar específica (AFE_f), tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración de cada híbrido en el Ustipsamment.

Híbrido	MS _f (kg ha ⁻¹)	IAF _f	AFE _f (cm ² g ⁻¹)	TCC _{v-f} (g m ² día ⁻¹)	EUA _{MS_f} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
CV 1	7112 a	1,9 b	135 a	15,9 a	23,8 a
CV 2	8336 a	2,5 a	144 a	18,3 a	27,5 a
OL 1	6601 a	1,9 b	139 a	14,5 a	21,9 a
OL 2	7665 a	2,1 b	132 a	16,8 a	24,8 a
ES 1	7608 a	2,1 b	133 a	16,9 a	24,1 a
ES 2	7328 a	2,0 b	140 a	16,3 a	23,3 a
DMS	1107	0,4	17,3	2,6	3,8

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.11. Granos por m² (granos m⁻²), eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica del agua (PEA) de cada campaña en el Ustipsamment.

Campaña	granos m ²	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$s ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2011/12	5487 a	7,9 a	2,79 a
2012/13	4941 b	6,9 b	2,86 a
2013/14	3830 c	6,5 b	2,33 b
DMS	311	0,56	0,22

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

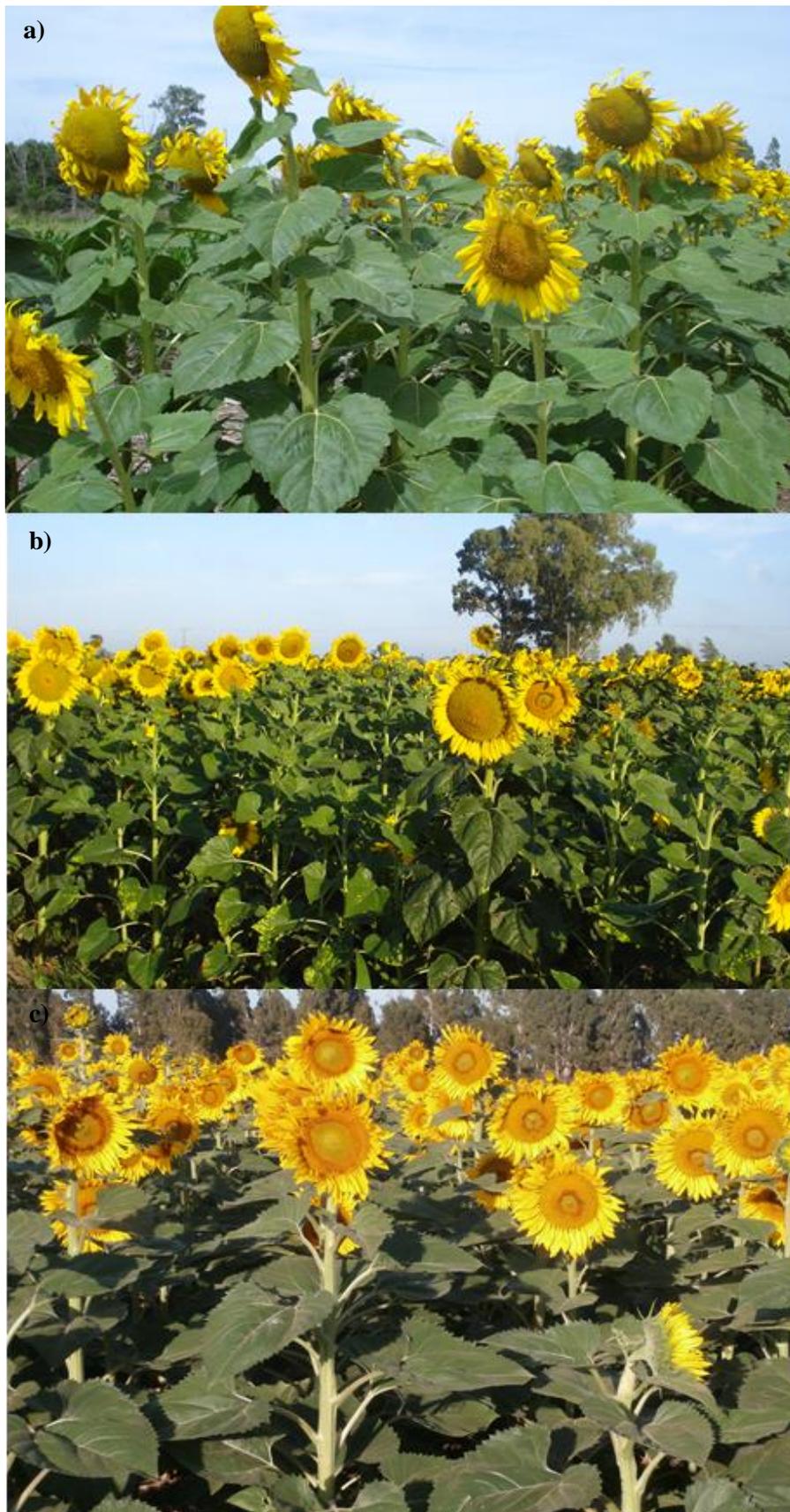


Foto 1.2. Ensayo girasol en el Ustipsamment en las campañas a) 2011/12 b) 2012/13 y c) 2013/14.

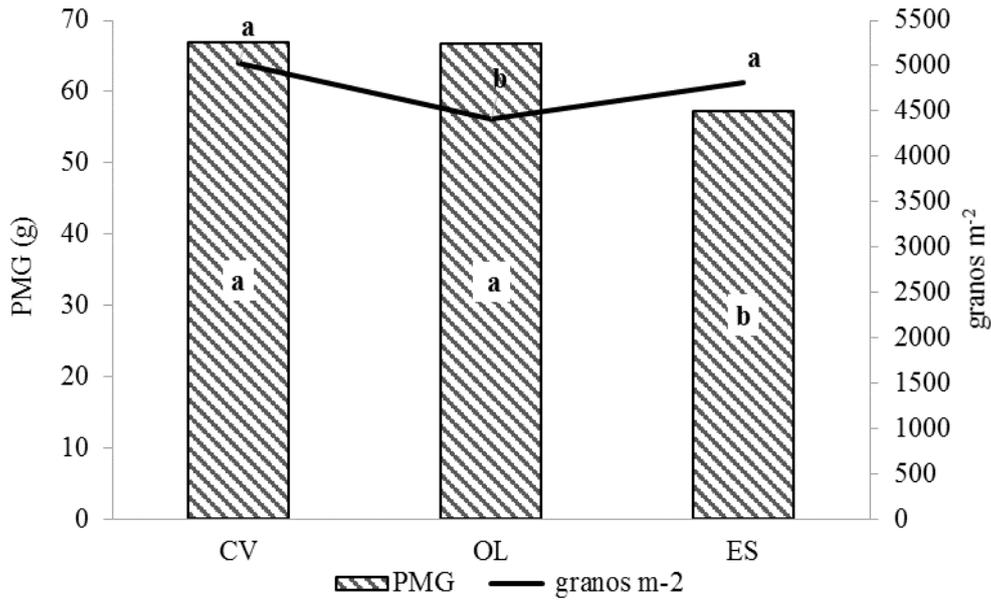


Figura 1.4. Peso de mil granos (PMG) y granos m⁻² de los genotipos convencionales (CV), alto oleicos (OL) y esteáricos (ES), en el Ustipsamment.

Tabla 1.12. Rendimiento en grano (Rdto), materia grasa en grano (MG) y rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}) de cada híbrido en el Ustipsamment.

Híbrido	2011/12			2012/13			2013/14		
	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)
CV 1	4167 a	48,8 c	1830 a	4268 a	49,5 b	1904 ab	2930 a	50,8 b	1338 a
CV 2	4146 a	50,9 ab	1901 a	4239 a	52,4 a	2000 a	2593 ab	52,9 a	1234 ab
OL 1	3752 abc	51,6 a	1740 a	2869 b	51,5 a	1327 c	2235 bc	51,8 ab	1043 bc
OL 2	3796 ab	49,6 bc	1695 a	3870 a	53,2 a	1854 ab	2943 a	52,0 ab	1380 a
ES 1	3310 c	37,8 e	1125 c	3922 a	49,6 b	1748 b	2297 bc	50,7 b	1055 bc
ES 2	3366 bc	45,5 d	1382 b	3132 b	45,4 c	1284 c	1978 c	46,2 c	887 c
DMS	478	1,88	234	478	1,88	234	478	1,88	234

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.13. Margen bruto (MB) de cada híbrido en el Ustipsamment.

Híbrido	MB (u\$ ha ⁻¹)		
	2011/12	2012/13	2013/14
CV 1	774 a	892 bc	454 abc
CV 2	821 a	968 b	397 bc
OL 1	910 a	603 d	347 c
OL 2	849 a	1001 b	568 a
ES 1	749 a	1173 a	513 ab
ES 2	765 a	786 c	354 bc
DMS	164	164	164

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 1.14. Peso de mil granos (PMG), granos por m² (granos m²), eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad económica del agua (PEA) de cada híbrido en el Ustipsamment.

Híbrido	PMG (g)	granos m ²	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA (u\$s ha ⁻¹ mm ⁻¹)
CV 1	62,3 b	5468 a	8,3 a	2,77 a
CV 2	71,4 a	4594 b	7,7 a	2,69 ab
OL 1	69,9 a	3817 c	6,5 b	2,46 b
OL 2	63,5 b	5020 b	7,5 a	2,86 a
ES 1	51,6 c	5537 a	6,7 b	2,80 a
ES 2	62,9 b	4082 c	6,0 b	2,38 b
DMS	3,52	440	0,79	0,31

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)



Foto 1.3. Calicatas en la cuales se evaluaron las raíces de girasol en a) Paleustol y b) Ustipsamment.

ANEXO II: Cereales Invernales

Tabla 2.1. Fases de desarrollo de los cereales según escala de Zadoks *et al.* (1974).

Etapla principal	Descripción	Sub-fase
0	Germinación	0.0-0.9
1	Producción de hojas	1.0-1.9
2	Producción de macollos	2.0-2.9
3	Producción de nudos en tallo principal	3.0-3.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9
5	Espigado	5.0-5.9
6	Antesis	6.0-6.9
7	Estado lechoso del grano	7.0-7.9
8	Estado pastoso del grano	8.0-8.9
9	Madurez	9.0-9.9

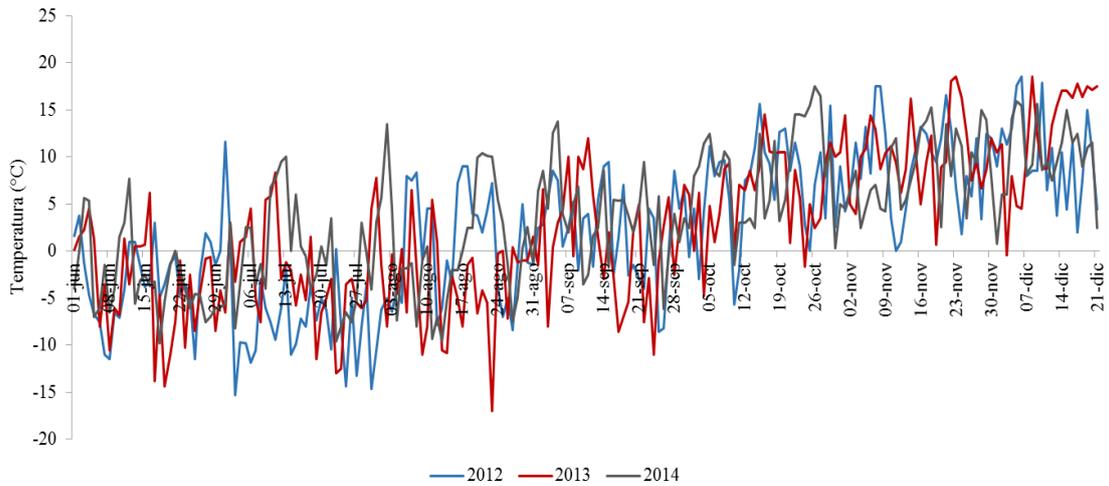


Figura 2.1. Temperaturas mínimas diarias (°C) a 0,05 m de altura del 1° de junio al 21 de diciembre en cada campaña en la EEA INTA Anguil.

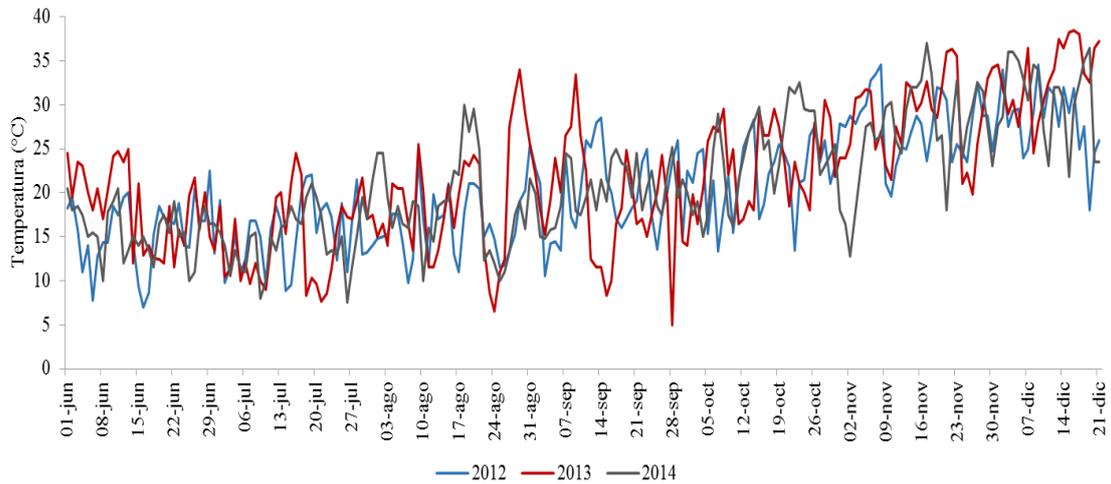


Figura 2.2. Temperaturas máximas diarias (°C) a 1,5 m de altura del 1° de junio al 21 de diciembre en cada campaña en la EEA INTA Anguil.

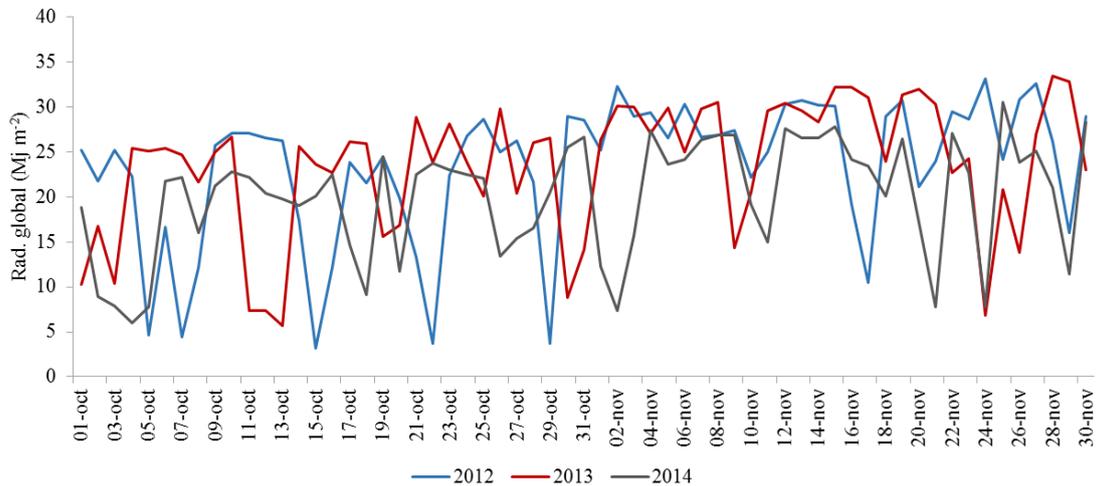


Figura 2.3. Radiación global media diaria ($\text{Mj} \cdot \text{m}^{-2}$) de 1° de octubre al 30 de noviembre en cada campaña en la EEA INTA Anguil.

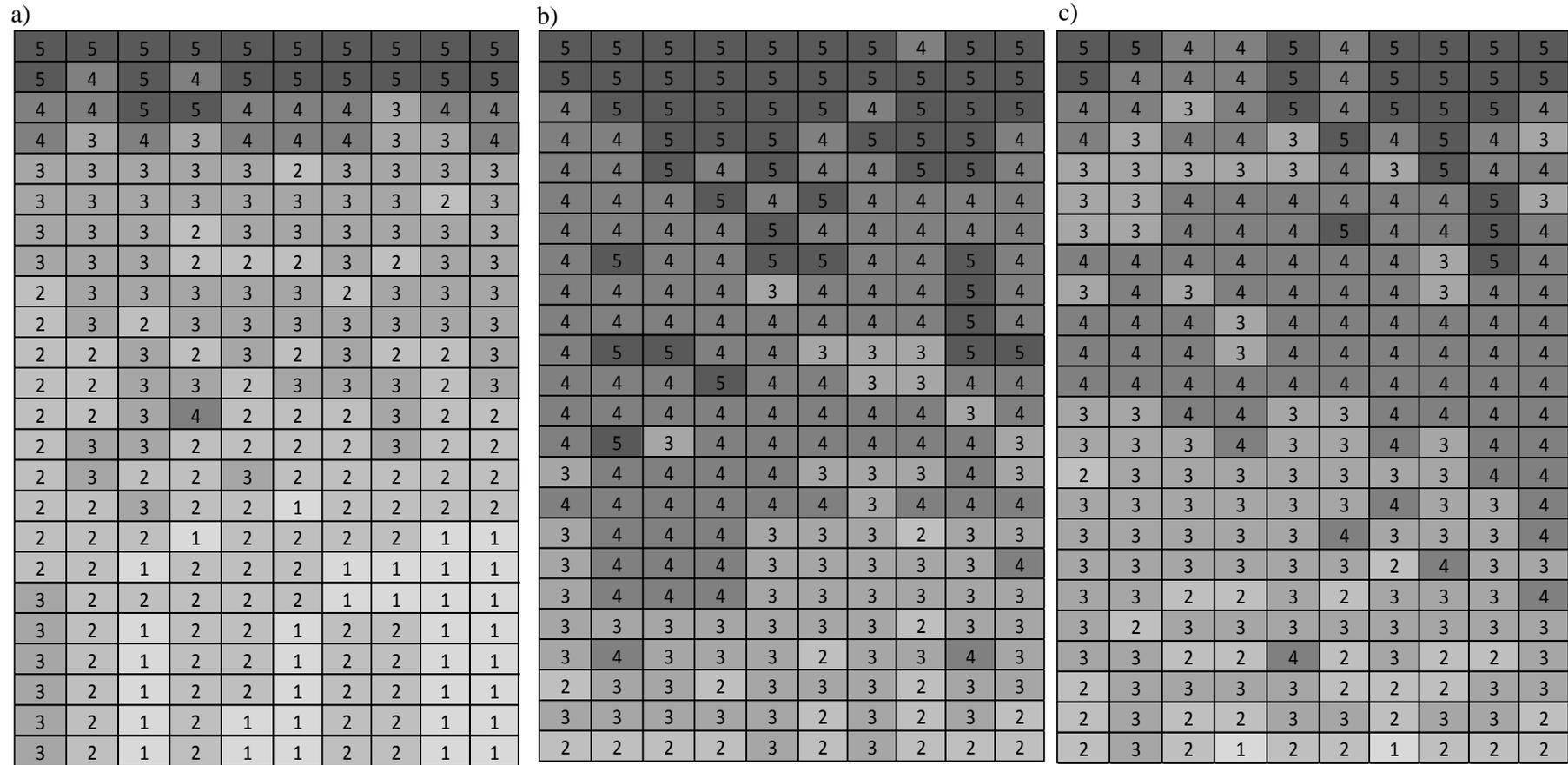


Figura 2.4. Grilla de números indicando la abundancia de raíces en el Paleustol del a) trigo CC y b) trigo CL y c) cebada. Cada cuadrado representa una superficie de 5 x 5 cm.

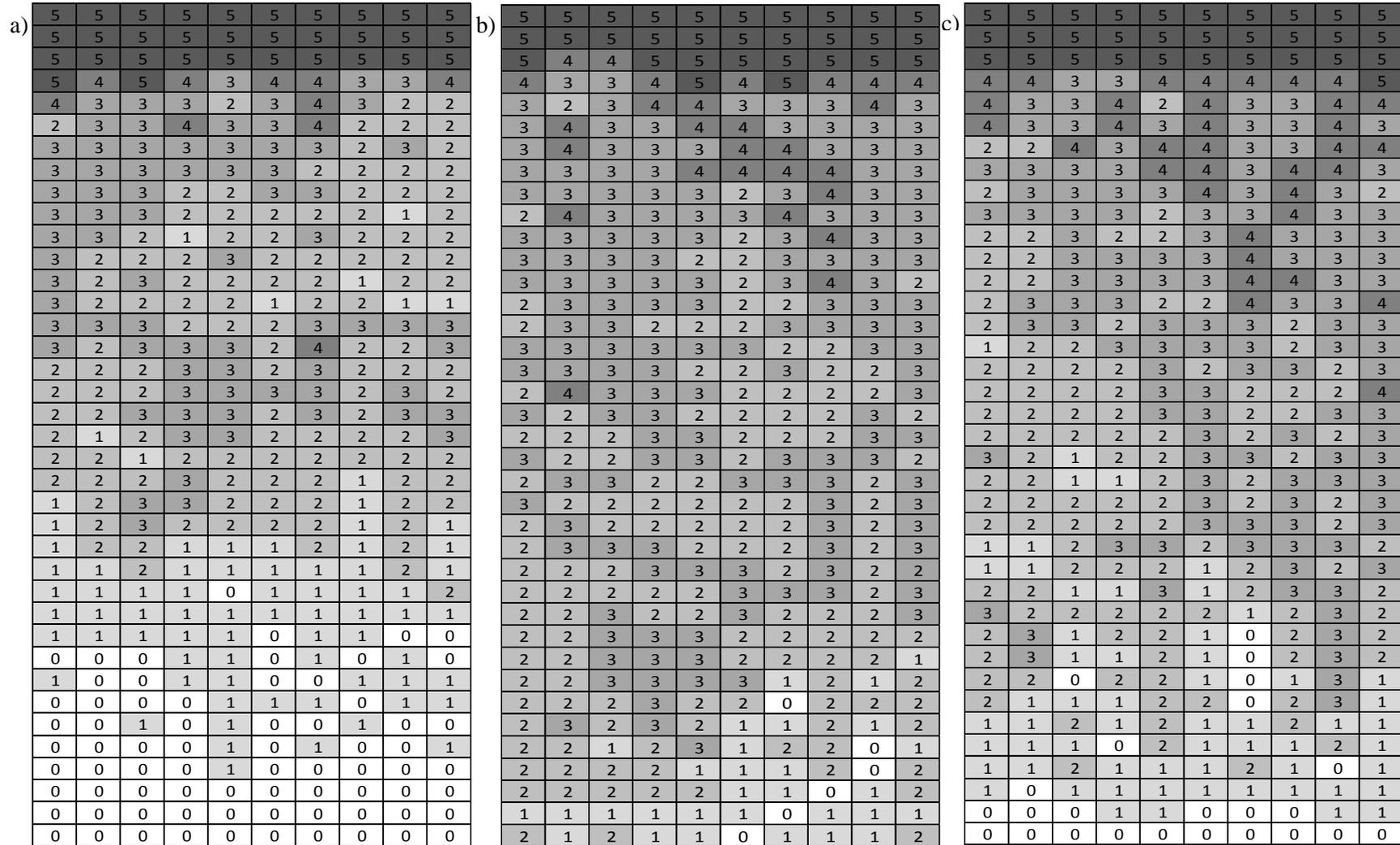


Figura 2.5. Grilla de números indicando la abundancia de raíces en el Ustipsammet del a) trigo CC y b) trigo CL y c) cebada. Cada cuadrado representa una superficie de 5 x 5 cm.

Tabla 2.2. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, en índice de área foliar (IAF_f), materia seca (MS_f), tasa de crecimiento (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MSf}), en floración en el Paleustol.

Cultivo	IAF _f	MS _f (kg ha ⁻¹)	TCC _{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA _{MSf} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2012				
Trigo 1	6,2 ab	4577 a	11,4 a	15,0 a
Trigo 3	5,8 b	5096 a	12,3 a	16,7 a
Cebada	7,4 a	5086 a	11,2 a	16,2 a
2013				
Trigo 1	2,9 a	4275 b	9,8 b	19,7 b
Trigo 3	3,1 a	4318 b	9,9 b	19,8 b
Cebada	3,3 a	6604 a	13,0 a	27,7 a
2014				
Trigo 1	4,2 a	9514 a	16,2 a	30,9 a
Trigo 3	4,7 a	9710 a	16,6 a	31,6 a
Cebada	3,7 a	8116 b	16,0 a	27,3 b

Letras distintas dentro de cada campaña indican diferencias significativas entre cultivos.

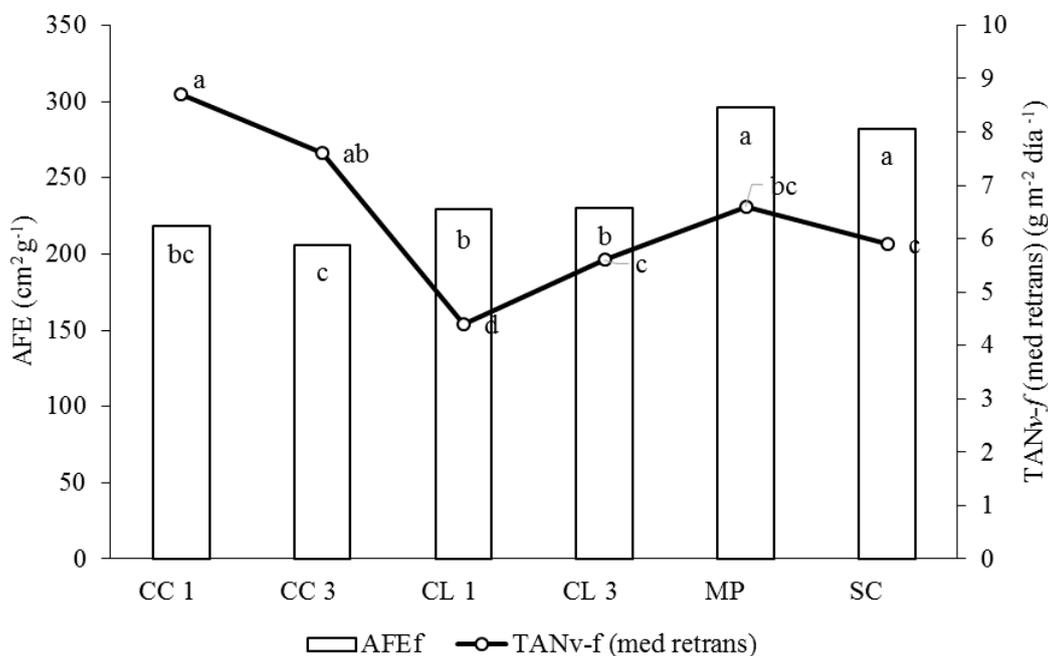


Figura 2.6. Área foliar específica (AFE_f) y media retransformada de la tasa de asimilación neta (TAN_{v-f}) en floración de cada variedad en el promedio de las campañas en el Paleustol. Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades.

Tabla 2.3. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, en rendimiento en grano (Rdto_{0%}) y eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Cultivo	Rdto _{0%} (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
Trigo 1	4506 a	4436 a	10,2 a	10,1 a
Trigo 3	3906 b	4056 b	8,8 b	9,2 a
Cebadas	3979 b	4182 ab	8,8 b	9,8 a
2013				
Trigo 1	1592 b	1251 c	5,8 b	4,4 c
Trigo 3	1568 b	1624 b	5,8 b	5,8 b
Cebadas	2569 a	2821 a	8,9 a	11,0 a
2014				
Trigo 1	5027 ab	4981 a	9,6 a	9,5 a
Trigo 3	5232 a	5120 a	10,0 a	9,7 a
Cebadas	4812 b	4449 b	9,3 a	9,0 a

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre cultivos.

Tabla 2.4. Granos por m² (granos m⁻²) y peso de mil granos (PMG) de las distintas variedades de trigo y cebada en las tres campañas en el Paleustol.

Variedad	2012		2013		2014	
	granos m ⁻²	PMG	granos m ⁻²	PMG	granos m ⁻²	PMG
CC 1	13883 a	34,8 c	6134 b	25,8 b	13276 a	39,3 c
CC 3	11820 b	34,6 cd	6718 b	23,9 c	13576 a	38,5 c
CL 1	11480 b	36,1 c	5792 b	21,7 d	13127 a	36,6 d
CL 3	11955 b	32,9 d	6141 b	26,0 b	13427 a	38,4 c
MP	9554 c	44,6 a	6546 b	34,8 a	11276 b	43,1 a
SC	9676 c	40,2 b	8528 a	35,5 a	10214 b	41,0 b
DMS	1530	1,7	1530	1,7	1530	1,7

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre variedades.

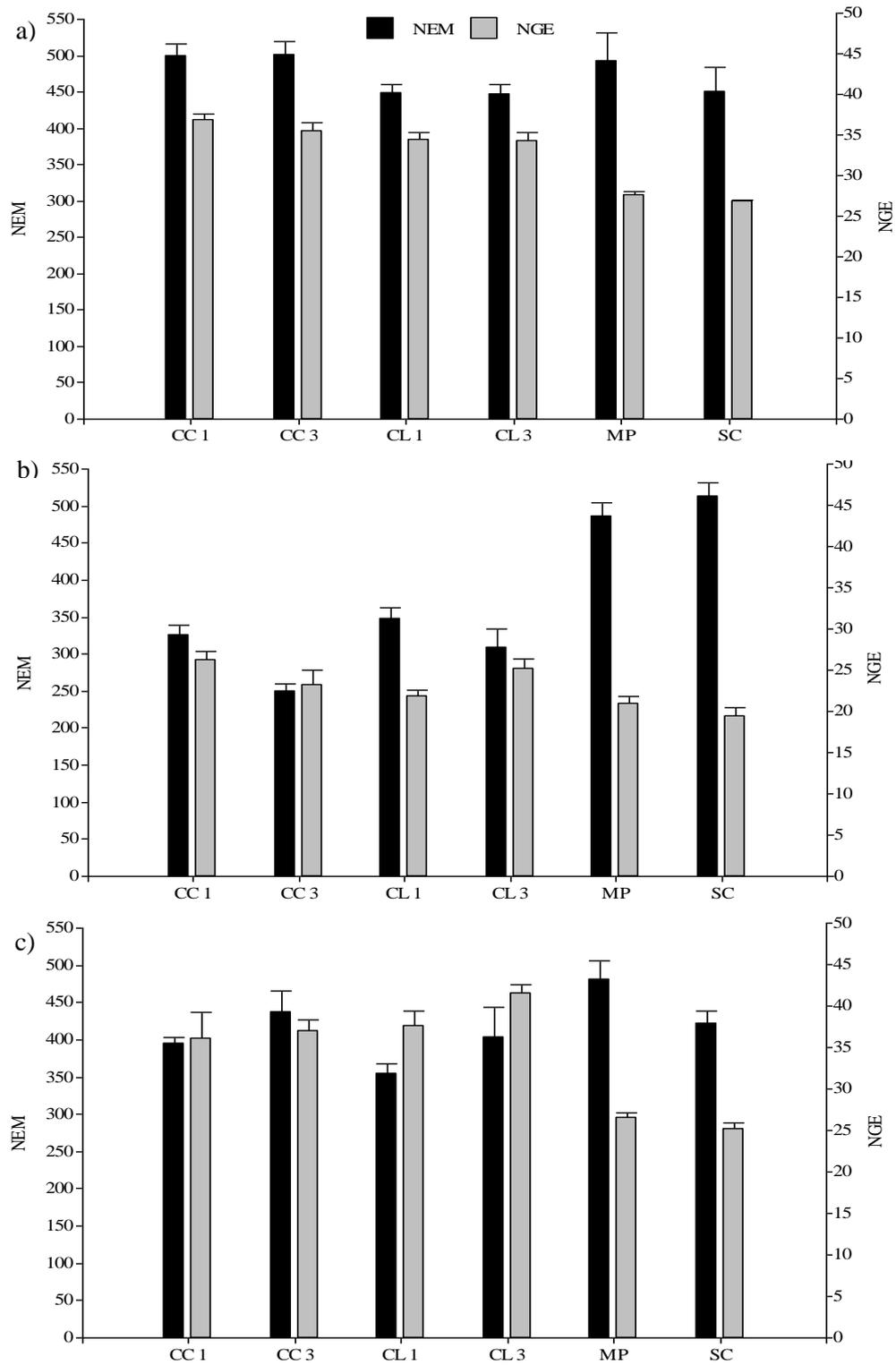


Figura 2.7. Número de espigas por m^2 (NEM) y número de granos por espiga (NGE) de las distintas variedades de trigo y cebada en las campañas: a) 2012 b) 2013 y c) 2014 en el Paleustol. Las barras indican error estándar.

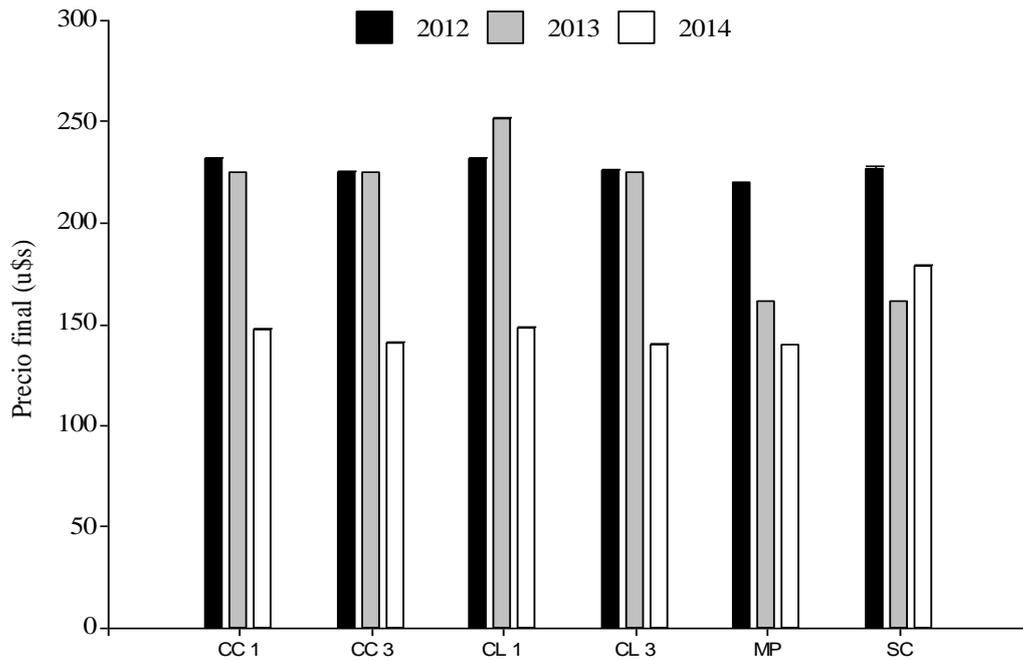


Figura 2.8. Precio final de las variedades en cada campaña en el Paleustol.
Las barras indican error estándar.

Tabla 2.5. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, para productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) en los tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Cultivo	PEA (u\$s ha ⁻¹ mm ⁻¹)		MB (u\$s ha ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
Trigo 1	2,37 a	2,33 a	568 a	686 a
Trigo 3	2,0 b	2,07 b	415 b	586 b
Cebadas	1,93 b	2,22 ab	395 b	563 b
2013				
Trigo 1	1,38 a	1,05 c	33 a	83 b
Trigo 3	1,30 a	1,31 b	7 a	142 a
Cebadas	1,43 a	1,77 a	51 a	182 a
2014				
Trigo 1	1,43 a	1,40 a	269 a	382 a
Trigo 3	1,40 a	1,38 a	236 a	354 a
Cebadas	1,46 a	1,43 a	263 a	374 a

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre cultivos.

Tabla 2.6. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, en área foliar específica (AFE_f), materia seca (MS_f), tasa de crecimiento (TCC_{v-f}) y eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca (EUA_{MS_f}), en floración en el Ustipsamment.

Cultivo	AFE _f (cm ² g ⁻¹)	MS _f (kg ha ⁻¹)	TCC _{v-f} (g m ⁻² día ⁻¹)	EUA _{MS_f} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Trigo 1	210 b	4281 a	9,0 a	16,3 a
Trigo 3	211 b	4358 a	8,8 a	16,4 a
Cebada	247 a	3446 b	6,7 b	13,3 b

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre cultivos.

Tabla 2.7. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, para materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}) y eficiencia de uso de agua para producción de MS_{mf} (EUA_{MS_{mf}}) en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Cultivo	MS _{mf} (kg ha ⁻¹)		EUA _{MS_{mf}} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
Trigo 1	8675 a	7950 a	19,8 ab	18,5 a
Trigo 3	9232 a	7900 a	21,1 a	18,4 a
Cebada	6315 b	6079 b	16,6 b	15,9 a
2013				
Trigo 1	7004 a	5978 a	22,5 b	19,6 a
Trigo 3	6808 a	6122 a	22,0 b	20,1 a
Cebada	7752 a	5365 a	26,6 a	19,3 a
2014				
Trigo 1	10758 a	8679 a	24,0 a	20,7 a
Trigo 3	9538 b	7573 b	22,8 a	18,3 a
Cebada	6932 c	7100 b	17,0 b	17,6 a

Dentro de cada campaña, letras distintas indican diferencias significativas entre cultivos.

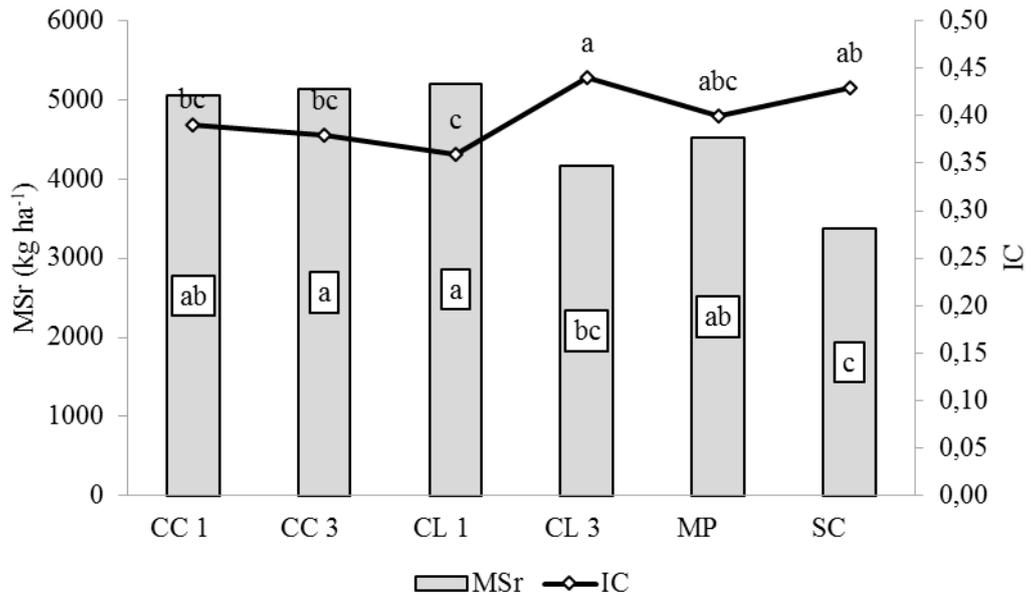


Figura 2.9. Materia seca del rastrojo (MSr) e índice de cosecha (IC) de las distintas variedades en el promedio de las campañas y tratamientos de fertilización en el Ustipsamment. Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades.

Tabla 2.8. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, en rendimiento en grano (Rdto_{0%}), eficiencia de uso de agua para producción de grano (EUA) y granos por m² (granos m²), en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsamment.

Cultivo	Rdto _{0%} (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		granos m ²	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012						
Trigo 1	3479 b	2857 b	7,9 b	6,7 b	9350 a	7699 b
Trigo 3	3944 a	3520 a	8,9 a	8,2 a	9829 a	9040 a
Cebadas	2735 c	2623 b	7,1 b	6,8 b	6360 b	6018 c
2013						
Trigo 1	2965 a	2288 a	9,5 b	7,5 a	9707 a	7184 a
Trigo 3	3133 a	2509 a	10,1 ab	8,3 a	9643 a	7516 a
Cebadas	3054 a	1763 b	10,5 a	6,3 b	8126 b	4810 b
2014						
Trigo 1	3346 b	2541 a	8,0 ab	6,1 a	8759 a	6698 a
Trigo 3	3686 a	2469 a	8,8 a	6,0 a	9048 a	5987 ab
Cebadas	3191 b	2520 a	7,8 b	6,2 a	7136 b	5585 b

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre cultivos.

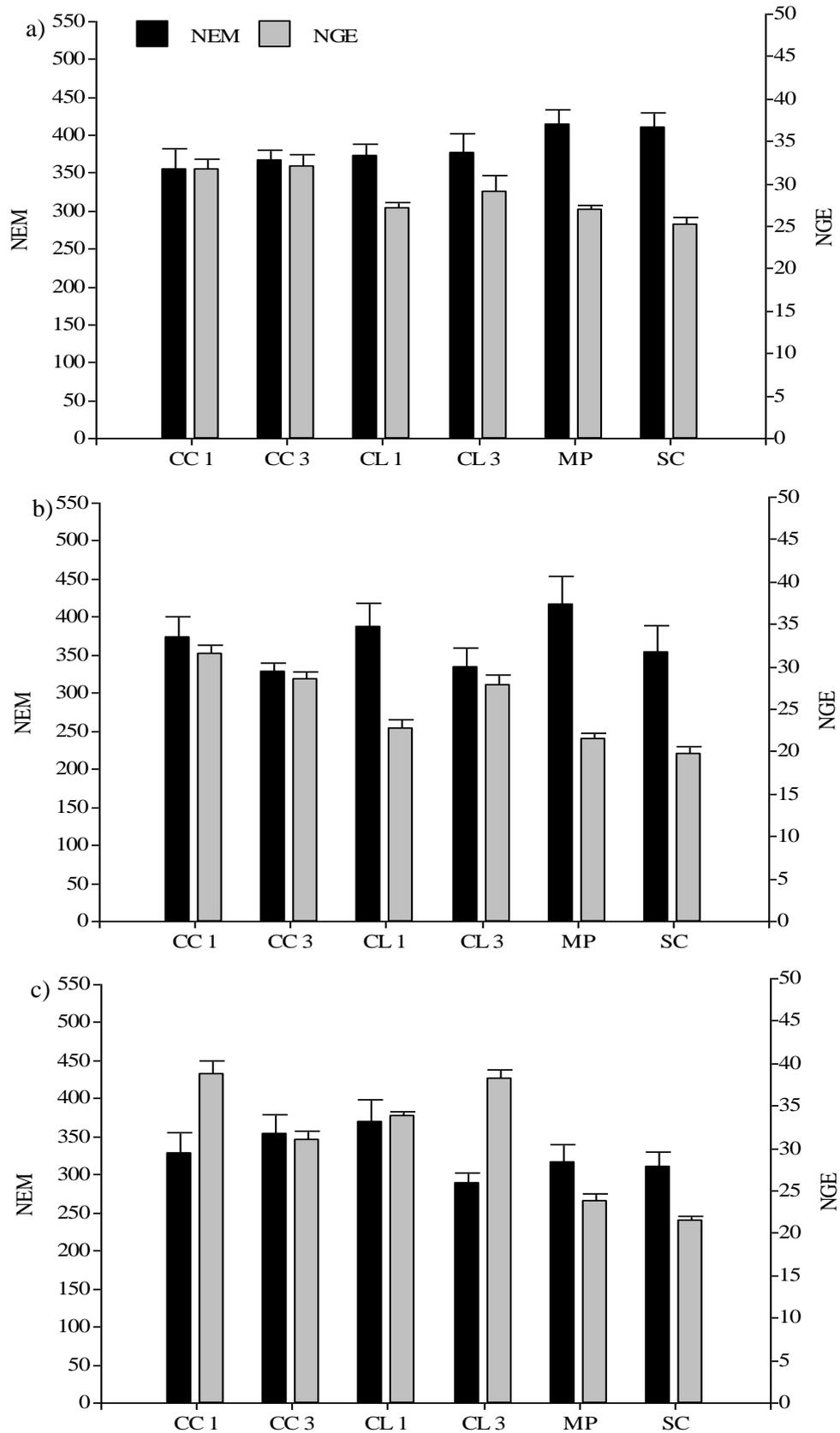


Figura 2.10. Número de espigas por m² (NEM) y número de granos por espiga (NGE) de las distintas variedades de trigo y cebada en las campañas: a) 2012 b) 2013 y c) 2014 en el Ustipsamment.
Las barras indican error estándar.

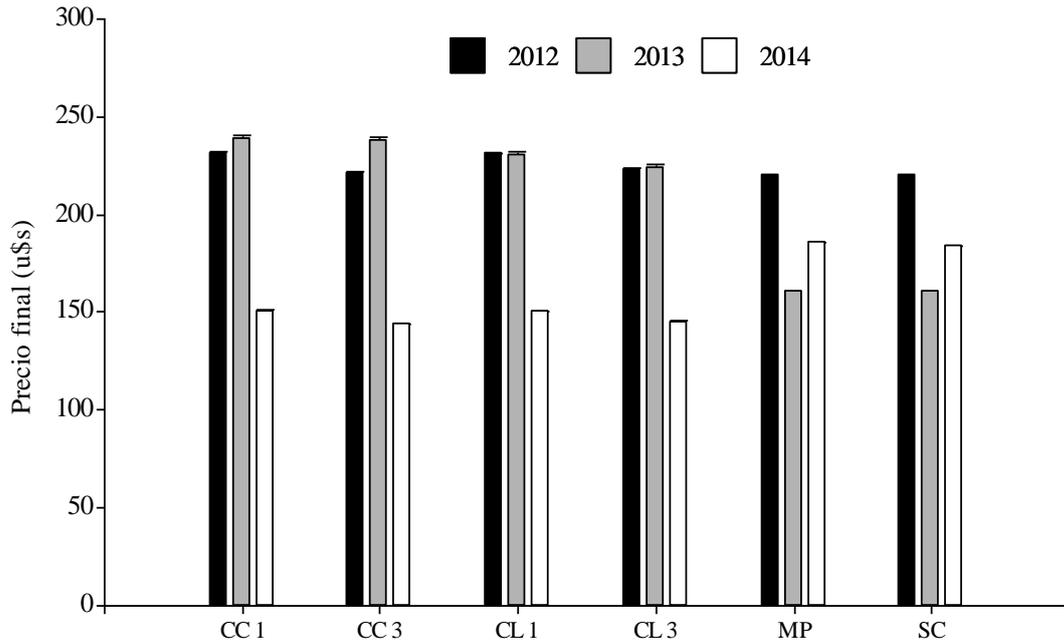


Figura 2.11. Precio final de las variedades en cada campaña en el Ustipsammet. Las barras indican error estándar.

Tabla 2.9. Contrastes entre trigos de grupo de calidad 1 (Trigos 1), grupo de calidad 3 (Trigos 3) y cebadas, para productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) en tratamientos fertilizado y testigo en el Ustipsammet.

Cultivo	PEA (u\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹)		MB (u\$ ha ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
2012				
Trigo 1	1,85 a	1,54 b	355 a	359 b
Trigo 3	1,99 a	1,82 a	376 a	478 a
Cebadas	1,58 b	1,51 b	153 b	272 c
2013				
Trigo 1	2,27 a	1,75 a	333 a	298 a
Trigo 3	2,35 a	1,87 a	355 a	328 a
Cebadas	1,69 b	1,02 b	98 b	43 b
2014				
Trigo 1	1,21 b	0,92 b	79 b	103 b
Trigo 3	1,27 b	0,86 b	92 b	78 b
Cebadas	1,45 a	1,15 a	175 a	193 a

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre cultivos.

ANEXO III: Oleaginosas invernales

Tabla 3.1. Estados fenológicos de colza según escala CETIOM

Clasificación	Denominación	Descripción
A	Cotiledonar	Cotiledones visibles
B1	Plántula	1 hoja verdadera desarrollada
B2	Plántula	2 hojas verdades desarrolladas
B3 a Bn	Roseta	Hasta 6 hojas verdaderas desarrolladas
C1		Aparición de hojas jóvenes
C2	Elongación	Entrenudos visibles. Vestigios de ramificación principal
D1		Inflorescencia visible
D2		Botón cubierto. Inflorescencia secundarias visibles
E		Botón separado
F1	Floración	Primeras flores abiertas
F2		Alargamiento floral. Numerosas flores abiertas
G1		Caída de pétalos. 10 primeras silicuas de 2 cm de largo
G2	Maduración	Silicuas de 4 cm
G3		Silicuas de más de 4 cm
G4		Coloreado de granos
G5		Coloreado de granos

Tabla 3.2. Días transcurridos entre emergencia e inicio de floración (E-IF), entre inicio de floración y madurez fisiológica (IF-MF) y días del ciclo total en cártamo para cada campaña.

Suelo	Campaña	E-IF	IF-MF	Ciclo total
Paleustol	2012/13	101	37	138
	2013/14	78	31	109
	2014/15	100	30	130
Ustipsammet	2012/13	86	45	131
	2013/14	85	33	118
	2014/15	108	35	143

Tabla 3.3. Días transcurridos entre emergencia e inicio de floración (E-F1), entre inicio de floración y cosecha (F1-Cosecha) y días del ciclo total en los cultivares de colza.

Suelo	Campaña	Cultivares	E-F1	F1-Cosecha	Ciclo total
Paleustol	2012	Lilian	176	82	258
		Sitro	192	80	272
	2013	Primus	161	96	257
		Sitro	180	87	267
	2014	Primus	165	89	254
		Sitro	183	86	269
Ustipsammet	2012	Lilian	178	81	259
		Sitro	194	81	275
	2013	Primus			
		Sitro			
	2014	Primus	170	75	245
		Sitro	180	72	252



Foto 3.1. Efecto de heladas en colza en el Paleustol (arriba) y en el Ustipsammet (abajo), parcelas fertilizadas (izquierda) y testigos (derecha) (20/07/12).

a)

4	5	5	4	5	5	5	4	4	4
4	4	5	5	5	5	4	5	5	5
5	5	4	4	5	5	3	5	5	4
5	4	3	5	5	5	4	4	5	4
3	4	3	5	5	5	4	3	3	4
4	3	3	5	5	5	3	4	4	3
5	5	5	5	5	5	3	4	3	4
3	3	4	5	5	5	4	4	4	5
3	3	4	5	5	5	4	3	3	4
4	3	4	4	5	5	4	3	4	4
4	4	4	4	5	4	3	3	3	3
4	3	3	4	5	4	4	2	3	3
4	4	3	3	4	3	2	2	4	3
3	3	4	4	4	4	3	3	2	3
3	2	3	3	5	4	3	2	3	3
2	3	4	4	4	3	3	2	2	3
3	3	3	4	4	4	3	2	2	3
4	4	4	3	4	3	2	2	3	3
4	3	4	3	3	3	3	2	2	3
3	4	3	3	4	3	2	3	3	3

b)

5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	4	4	5	5	5	4	4
4	5	4	5	4	5	5	5	4	5
3	5	5	5	4	5	5	4	3	5
3	5	4	3	4	5	5	5	3	3
3	5	4	3	5	5	5	3	3	3
3	4	5	3	3	4	5	4	3	3
3	4	3	3	3	3	5	4	5	5
3	5	3	3	3	4	5	4	5	3
3	5	2	3	3	3	5	3	5	3
3	4	2	3	2	3	5	5	4	3
2	4	3	3	3	3	5	4	5	4
3	4	2	3	4	3	5	5	3	2
3	3	3	3	2	3	5	5	2	3
2	3	4	3	3	5	5	2	3	3
2	2	3	3	2	3	5	4	2	3
2	2	3	3	2	3	5	3	2	3
3	2	2	2	3	4	5	3	3	3

Figura 3.1. Grilla de números indicando la abundancia de raíces en el Paleustol del a) cártamo y b) colza. Cada cuadrado representa una superficie de 5 x 5 cm.

a)										b)										
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	5	5	5	3	4	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	4	4	3	3	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	2	3	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	5	4	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	4	4	4	4	3	4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	3	4	3	4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	2	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	4	3	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	4	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	4	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	3	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	3	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	3	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	0	2	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	1	1	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	2	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	2	5	3	2	4	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2
5	3	5	4	4	3	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2
5	3	5	4	4	3	3	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
4	2	5	3	4	3	2	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3
3	2	5	4	4	3	2	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3
2	3	5	3	4	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
2	4	5	3	4	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2
2	4	5	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2
5	5	5	3	2	4	3	3	1	3	5	3	2	4	3	3	3	1	3	5	3
4	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
4	3	4	4	4	4	3	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	3	3	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	3	4	4	4	4	4	2	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2
4	3	3	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	3	4	4	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
2	3	4	4	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
2	2	4	3	3	3	4	4	4	3	2	2	2	3	4	4	3	2	3	2	3
2	2	4	3	3	3	3	3	4	4	3	2	2	3	3	4	4	3	2	3	2
2	2	4	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	1	2	3	2
3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3
3	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3
3	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2
2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2
2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	2	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.2. Grilla de números indicando la abundancia de raíces en el Ustipsammet del a) cártamo y b) colza. Cada cuadrado representa una superficie de 5 x 5 cm.

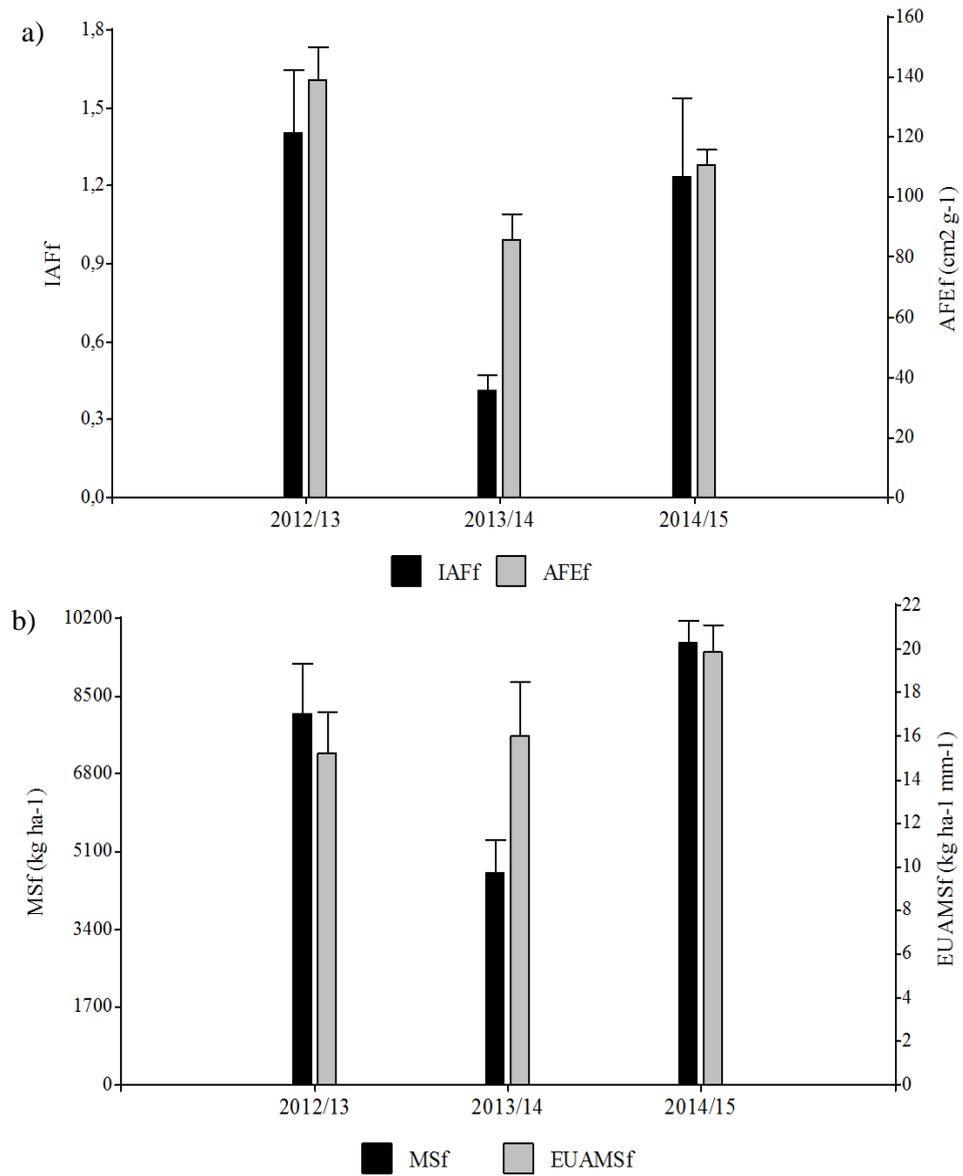


Figura 3.3. a) Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFEf) b) materia seca (MSf) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSf (EUAMSf), en floración de cártamo en las tres campañas en el Paleustol. Las barras indican EE.

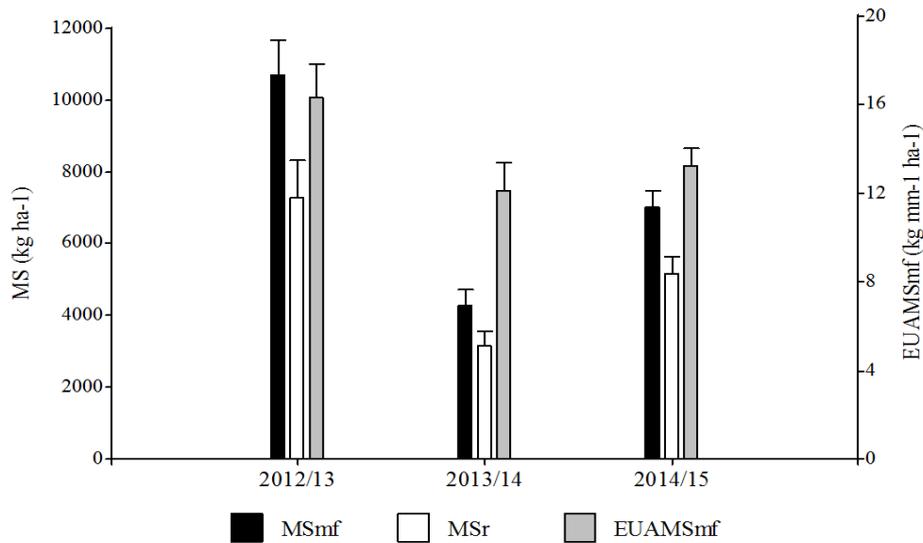


Figura 3.4. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del rastrojo (MS_r) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EUAM_{MS_{mf}}$) de cártamo en las tres campañas en el Paleustol. Las barras indican EE.

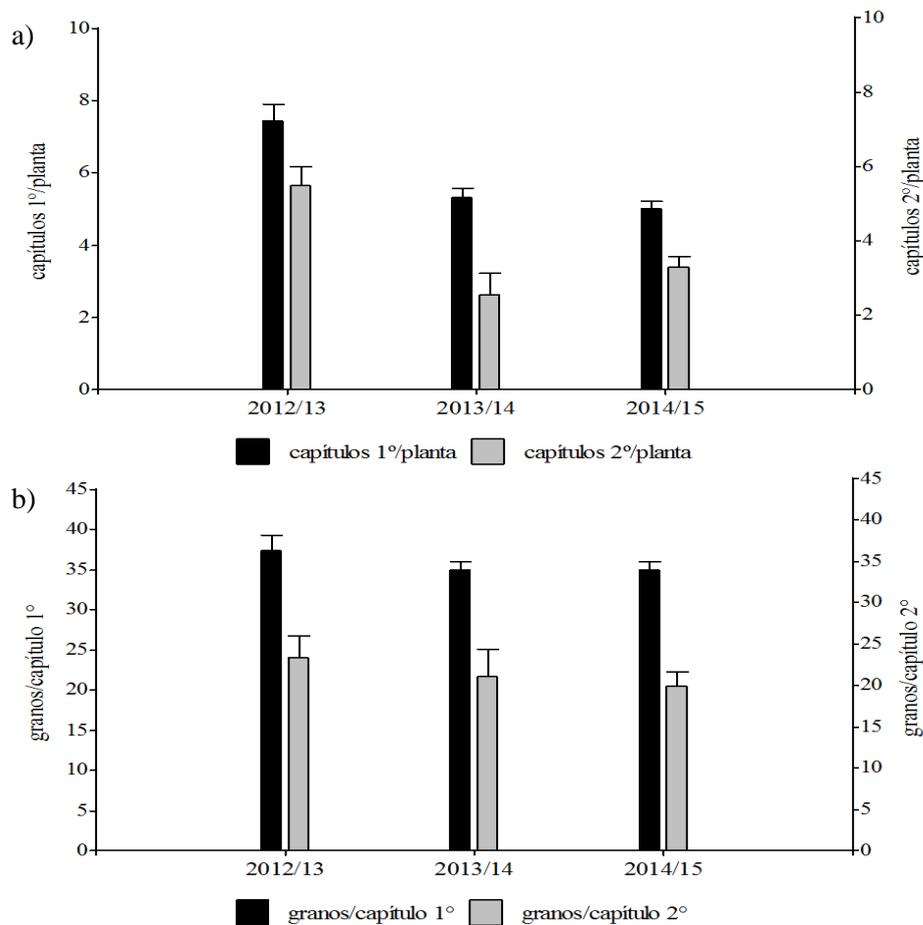


Figura 3.5. a) número de capítulos primarios por planta (capítulos 1°/planta) y número de capítulos secundarios por planta (capítulos 2°/planta) b) número de granos por capítulo primario (granos/capítulo 1°) y número de granos por capítulo secundario (granos/capítulo 2°), de cártamo en las tres campañas en el Paleustol. Las barras indican EE.

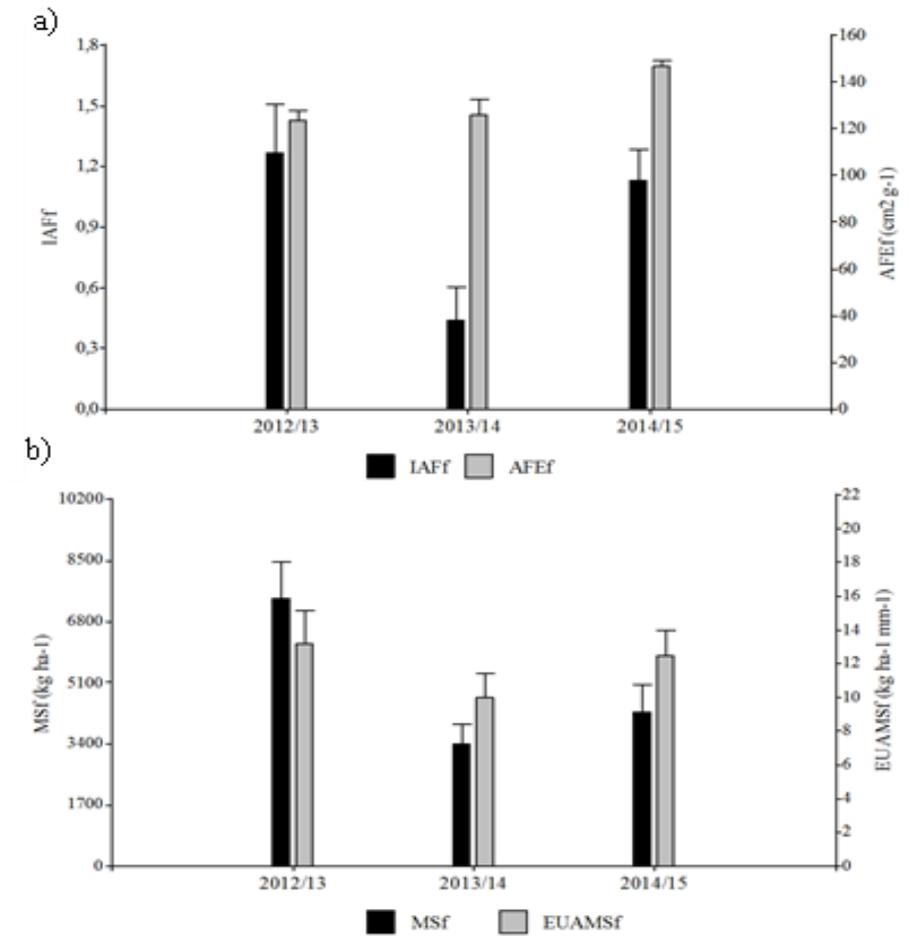


Figura 3.6. a) Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFEf) b) materia seca (MSf) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSf ($EUAM_{MSf}$), en floración de cártamo en las tres campañas en el Ustipsammet. Las barras indican EE.

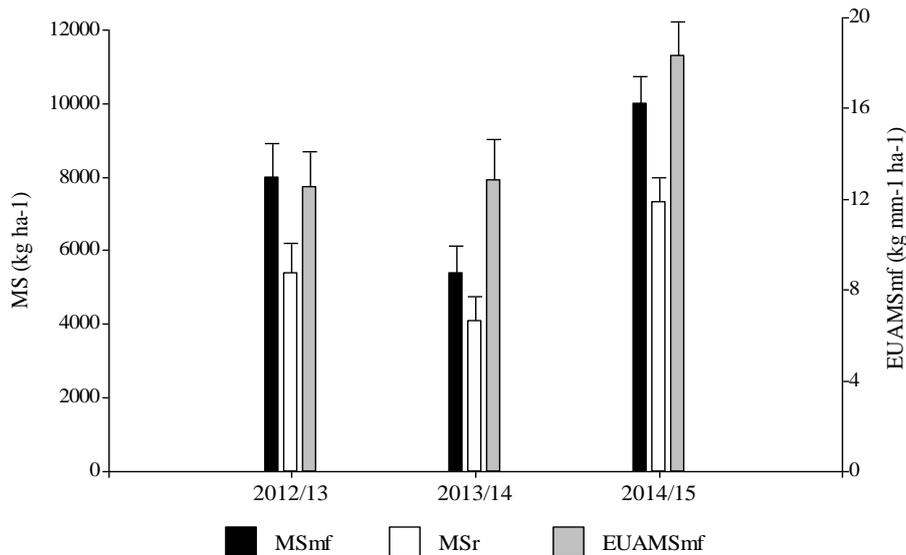


Figura 3.7. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del rastrojo (MS_r) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EUAM_{MS_{mf}}$) de cártamo en las tres campañas en el Ustipsammet. Las barras indican EE.

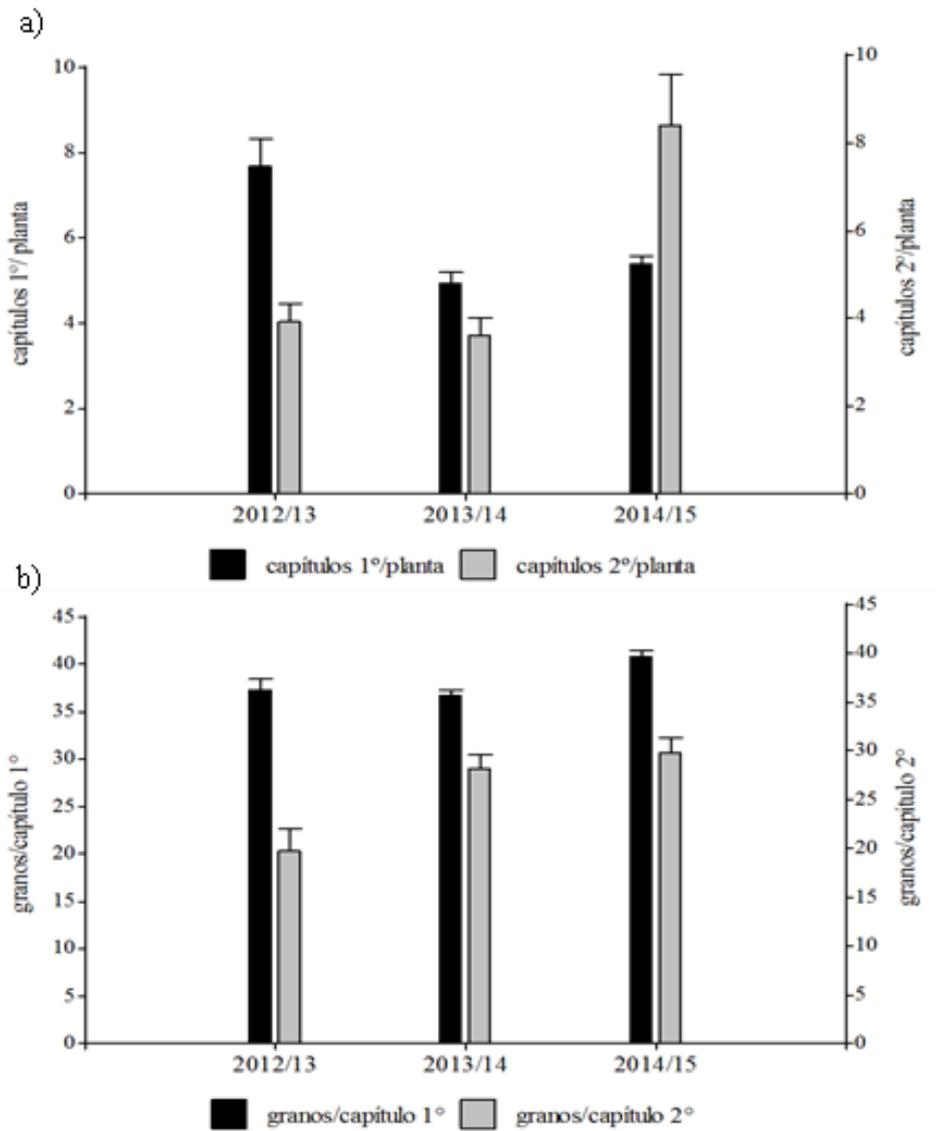


Figura 3.8. a) número de capítulos primarios por planta (capítulos 1°/planta) y número de capítulos secundarios por planta (capítulos 2°/planta) b) número de granos por capítulo primario (granos/capítulo 1°) y número de granos por capítulo secundario (granos/capítulo 2°), de cártamo en las tres campañas en el Ustipsammet. Las barras indican EE.

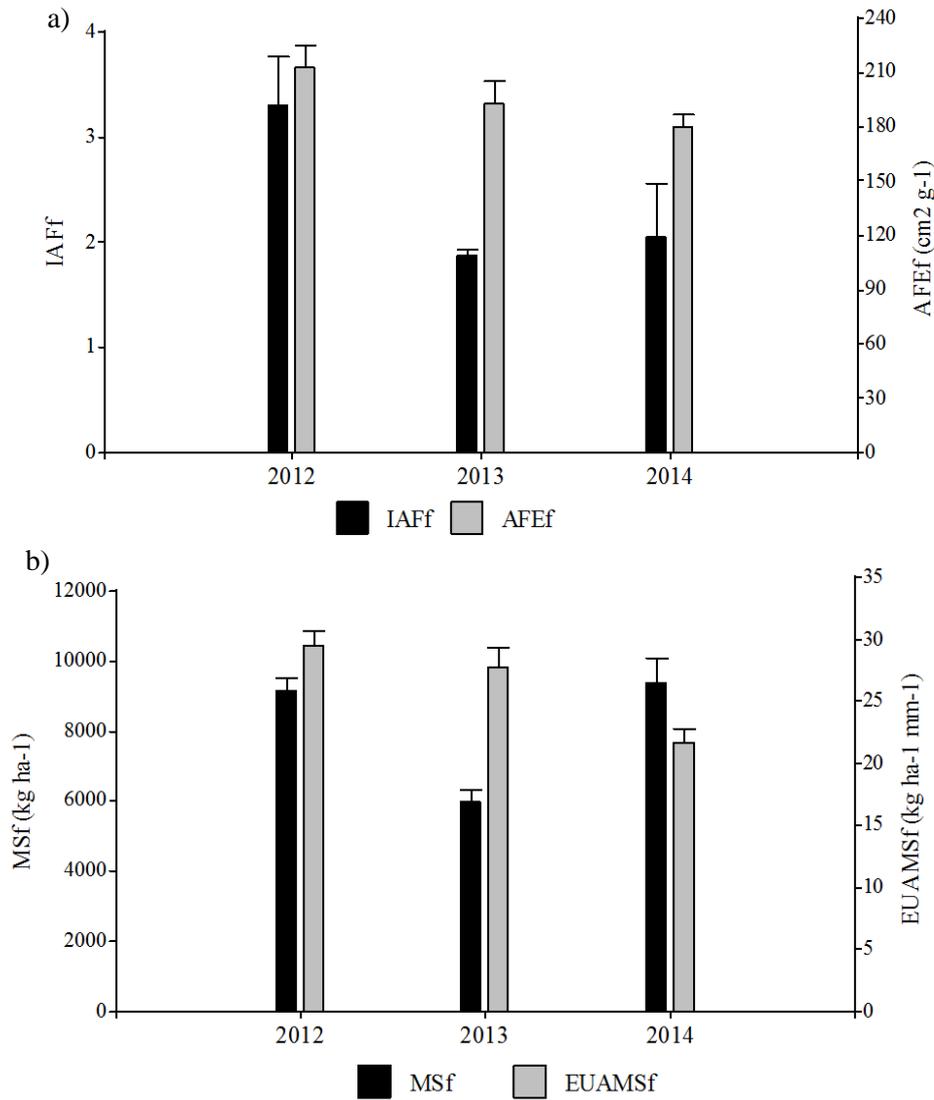


Figura 3.9. a) Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFEf) b) materia seca (MSf) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSf (EU_{AMSf}), en floración de colza cultivar Sitro en las tres campañas en el Paleustol. Las barras indican EE.

Tabla 3.4. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}), eficiencia de uso de agua para producción de MS_{mf} ($EU_{AMS_{mf}}$), materia seca del rastrojo (MS_r) de colza en tratamientos fertilizado y testigo en el Paleustol.

Cultivar	MS_{mf} (kg ha ⁻¹)		$EU_{AMS_{mf}}$ (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		MS_r (kg ha ⁻¹)	
	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado	Testigo
Precoz	5486 a (A)	4521 b (A)	10,0 a (A)	8,5 b (A)	3295 a (A)	2675 b (A)
Sitro	5681 a (B)	7307 a (A)	9,9 a (B)	12,7 a (A)	3895 a (B)	5607 a (A)
<i>DMS</i>	<i>1141</i>		<i>2,1</i>		<i>1140</i>	

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares y mayúsculas entre fertilizado y testigo (LSD $p < 0,05$).

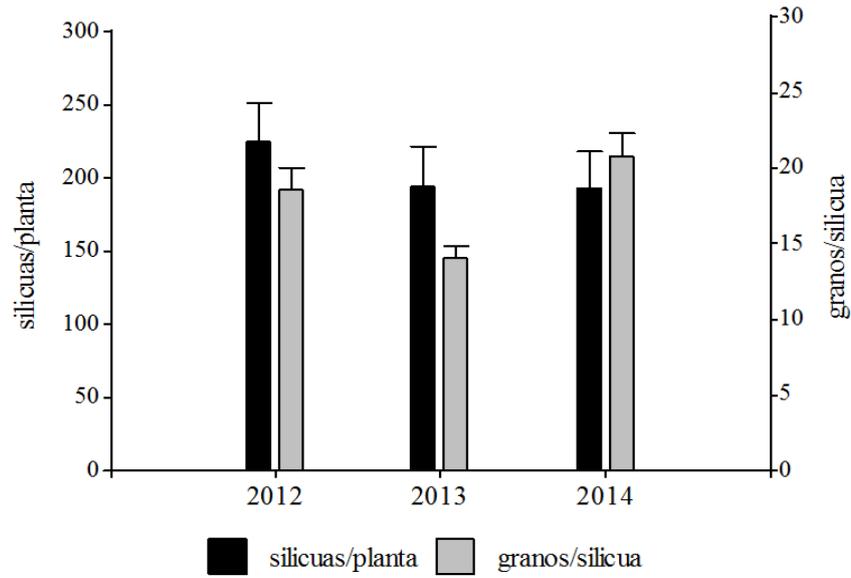


Figura 3.10. Silicuas por planta y granos por silicua del cultivar de colza Sitro, tratamiento fertilizado en las tres campañas en el Paleustol. Las barras indican EE.

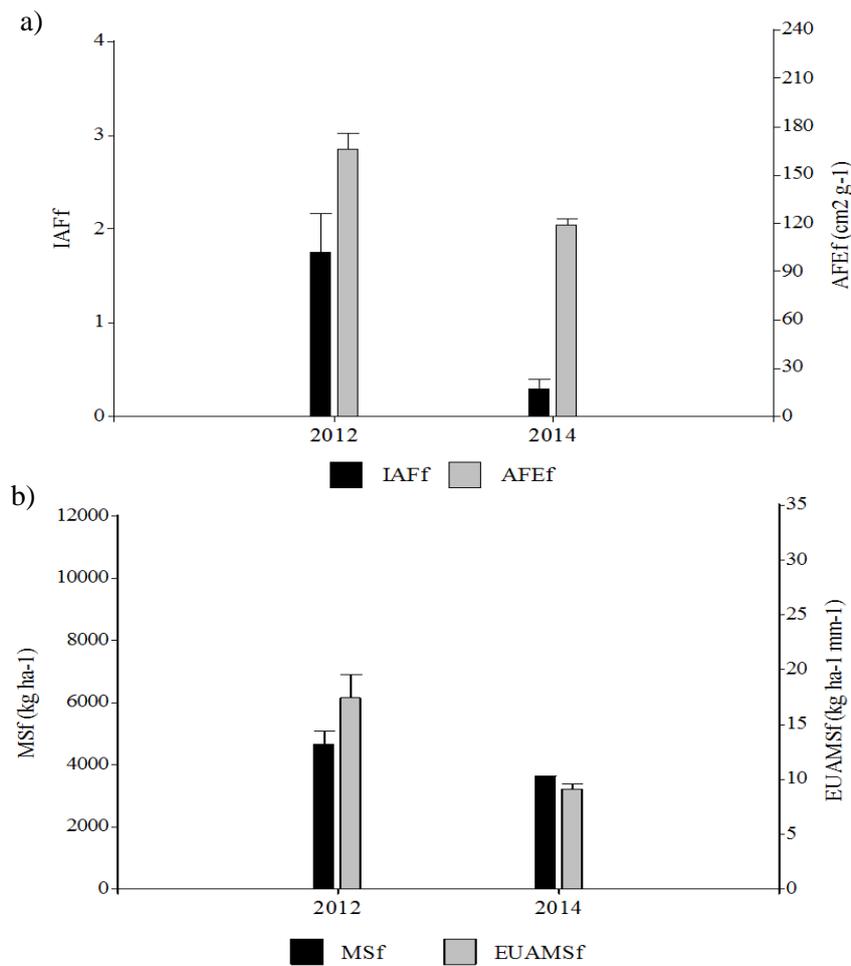


Figura 3.11. a) Índice de área foliar (IAFf) y área foliar específica (AFEf) b) materia seca (MSf) y eficiencia de uso de agua para la producción de MSf (EUA_{MSf}), en floración de colza cultivar Sitro en las campañas 2012 y 2014 en el Ustipsammet. Las barras indican EE.

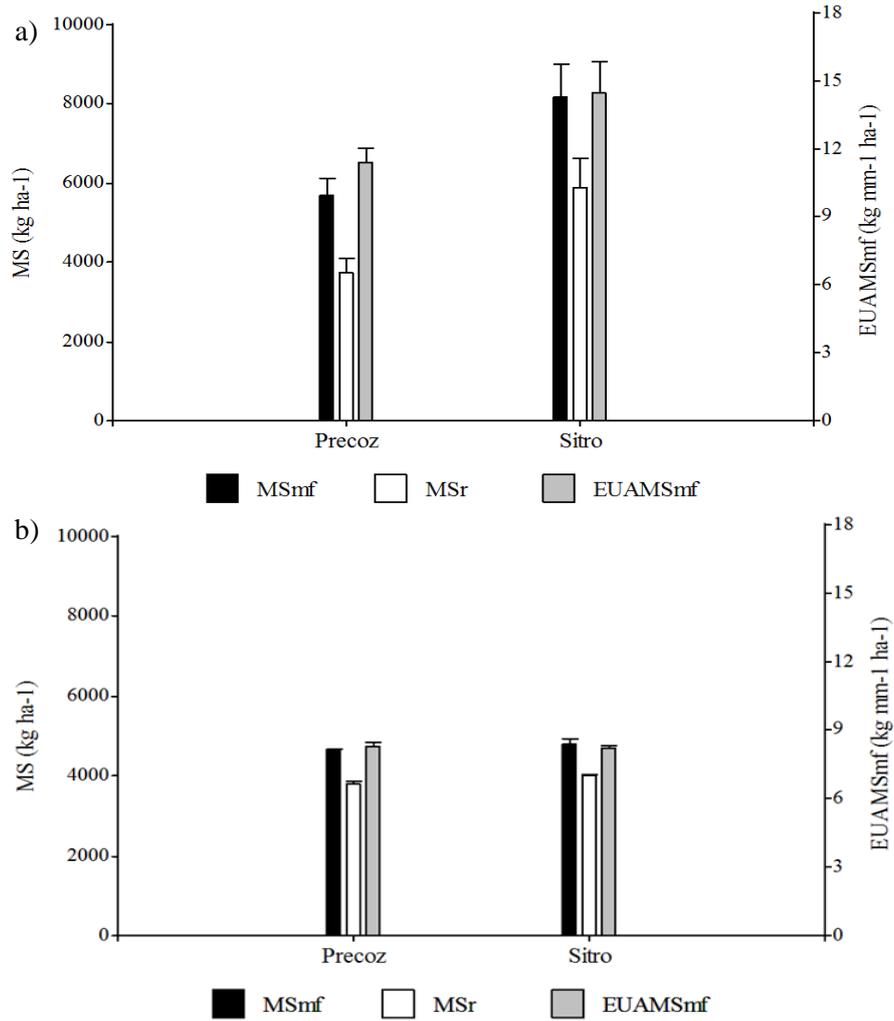


Figura 3.12. Materia seca en madurez fisiológica (MS_{mf}), materia seca del rastrojo (MS_r) y eficiencia de uso de agua para la producción de MS_{mf} ($EUAMS_{mf}$) de colza fertilizada en a) 2012 y b) 2014, en el Ustipsamnt. Las barras indican EE.

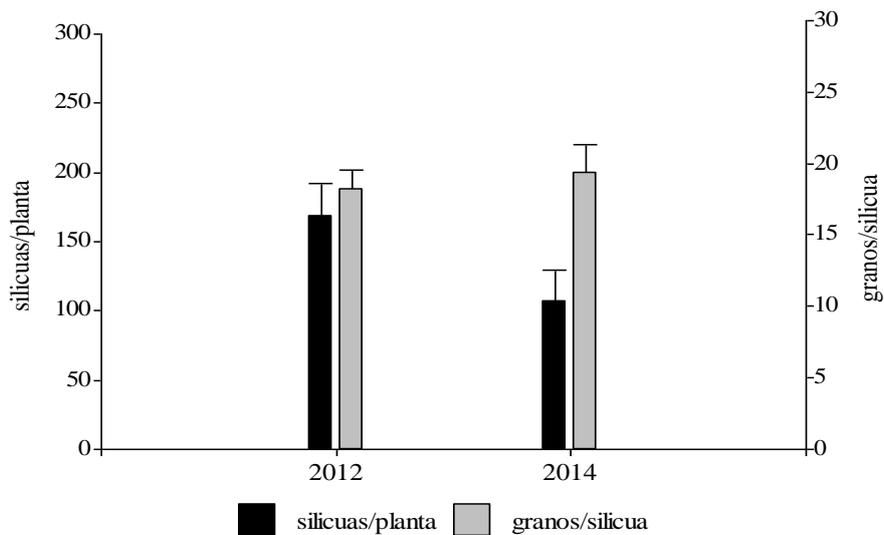


Figura 3.13. Silicuas por planta y granos por silicua del cultivar de colza Sitro, tratamiento fertilizado en las campañas 2012 y 2014 en el Ustipsamnt. Las barras indican EE.

Tabla 3.5. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de cada cultivar de colza en las campañas 2012 y 2014 en el Ustipsamment.

Cultivar	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ²	PMG (g)
2012						
Precoz	1587 b	42,0 a	613 b	3,0 b	30393 b	5,0 a
Sitro	2277 a	40,9 a	858 a	3,9 a	47099 a	4,5 b
<i>DMS</i>	<i>347</i>	<i>1,22</i>	<i>145</i>	<i>0,43</i>	<i>5031</i>	<i>0,42</i>
2014						
Precoz	814 a	41,8 a	313 a	1,3 a	19213 a	3,9 b
Sitro	688 a	40,5 b	257 a	1,1 a	15189 b	4,1 a
<i>DMS</i>	<i>194</i>	<i>1,14</i>	<i>75</i>	<i>0,3</i>	<i>3900</i>	<i>0,2</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

Tabla 3.6. Rendimiento en grano (Rdto), porcentaje de materia grasa en grano (MG), rendimiento de materia grasa (Rdto_{MG}), eficiencia de uso de agua para la producción de granos (EUA), granos por m² y peso de mil granos (PMG) de colza en tratamientos fertilizado y testigo en la campaña 2012 en el Ustipsamment.

Fertilización	Rdto (kg ha ⁻¹)	MG (%)	Rdto _{MG} (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	granos m ²	PMG (g)
Fertilizado	2315 a	41,4 a	882 a	4,1 a	48188 a	4,5 b
Testigo	1550 b	41,5 a	589 b	2,8 b	29305 b	5,0 a
<i>DMS</i>	<i>442</i>	<i>1,9</i>	<i>172</i>	<i>0,9</i>	<i>8994</i>	<i>0,3</i>

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD $p < 0,05$)

