EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA PRODUCTIVIDAD FÍSICA Y ECONÓMICA DEL AGUA EN GENOTIPOS DE GIRASOL DIFERENCIADOS POR CALIDAD DE ACEITE.

Autores: Elortegui Rosmari.

Lorenzo Manuela.

Directora: Gaggioli Carolina.

Codirector: Quiroga Raúl Alberto.

Carrera: Ingeniería Agronómica.

Universidad Nacional de La Pampa.

Facultad de Agronomía.

Año: 2015.

INDICE

RESUMEN 2
PALABRAS CLAVES 2
INTRODUCCIÓN 3
OBJETIVOS 8
HIPÓTESIS 8
MATERIALES Y MÉTODOS 9
Mediciones de rendimiento y calidad de grano 10
Mediciones de humedad del suelo y uso consuntivo 11
Calculo de la eficiencia de uso de agua y productividad económica del agua 11
Análisis estadísticos 12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 12
Desarrollo fenológico del cultivo 12
Datos climáticos y dinámica del agua 12
Efecto híbrido 15
Calidad de aceite 21
CONCLUSIONES 22
AGRADECIMIENTOS 23
BIBLIOGRAFÍA 24

RESUMEN

Las regiones semiáridas están expuestas a la irregularidad de las precipitaciones que imponen fuertes limitaciones a la productividad de los cultivos. Varios autores señalan la necesidad de aumentar la productividad económica del agua (PEA) en estas regiones, sea por un incremento en la productividad física (PFA) como por la producción de cultivos de mayor valor. Con esta finalidad se estableció como objetivo de trabajo evaluar la PFA y PEA en genotipos de girasol diferenciados por calidad de aceite, bajo distintas dosis de fertilización. Girasoles medio esteáricos, alto oleicos y convencionales dispuestos en bloques aleatorizados fueron fertilizados con dosis de suficiencia y reposición manteniendo un testigo sin aportes de NPS. La experiencia fue conducida sobre un Entisol arenoso-franco, donde se determinaron los contenidos de agua útil a fin de establecer los usos consuntivos y las PFA y PEA. En los híbridos se determinó rendimiento de grano, aceite y composición de ácidos grasos. Los resultados no muestran interacción entre tipo de híbrido y fertilización, con rendimientos significativamente menores en los esteáricos (2200 $kg.ha^{-1}$) respecto de los convencionales (2955 $kg.ha^{-1}$) y alto oleicos (2811 $kg.ha^{-1}$). La PFA siguió la misma tendencia que el rendimiento, sin embargo no se registraron diferencias en la PEA, lo que significó que las bonificaciones en el precio de los materiales esteáricos compensaron su menor productividad física. La fertilización de reposición incrementó significativamente los $granos.m^{-2}$ y el rendimiento en 440 y 620 $kg.ha^{-1}$ respecto de los tratamientos de suficiencia y testigo. Cuando se analizó el MB no se encontraron diferencias entre los tratamientos, es decir, que la mayor producción generada por el agregado de nutrientes compensó el incremento de los costos por fertilizantes. Estos resultados son relevantes cuando se tiene en cuenta que en el tratamiento testigo hay una pérdida neta de nutrientes, mientras que en el tratamiento de reposición se aportan al suelo los nutrientes extraídos con la cosecha.

PALABRAS CLAVES

Eficiencia de uso de agua; calidades de girasol; región semiárida.

INTRODUCCIÓN

Resulta creciente la preocupación por los efectos que la actividad antrópica está generando en los recursos naturales y el ambiente. Según estimaciones de la FAO, se espera que para 2030 la producción agrícola se incremente un 49% en áreas de secano (Ali & Talukder, 2008), lo que representa un importante problema para la gestión del suelo y de los recursos hídricos dado que dicha expansión será, en gran parte, sobre tierras menos aptas para soportar la agricultura (Hillel, 2011).

El estudio de las Huellas del carbono y del agua han sido priorizados durante la última década. En el siglo XX, el consumo global de agua aumentó seis veces, (más del doble de la tasa de crecimiento de la población), con un valor promedio de 1.243.000 litros por habitante por año y un amplio rango de variación entre países/regiones. Las producciones agrícolas y ganaderas son las principales consumidoras de agua, representando más del 70% del agua utilizada. Es decir que una parte importante de la Huella Hídrica se produce “tranqueras adentro” de los sistemas de producción. Es por ello que mejorar la eficiencia de uso de agua (EUA) en los ambientes de mayor aptitud es un tema primordial para reducir la presión/expansión sobre los ecosistemas más frágiles (Hatfield et al., 2001; Wallace, 2000). Este incremento de la EUA en la agricultura puede lograrse por la inclusión de cultivos más eficientes en la rotación, además de la implementación de prácticas conservacionistas de manejo de suelos y protección de cultivos.

La Región Semiárida Pampeana (RSP) está sometida a la irregularidad de los fenómenos climáticos, especialmente la variabilidad anual y mensual de las precipitaciones. 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 (Rockström, 2003; Pala et al., 2007; Fernandez et al., 2008). Estas condiciones llevan a que la EUA y los rendimientos de

los cultivos sean considerablemente menores en comparación a los de regiones sin limitaciones hídricas.

Esta situación poco favorable se agrava sobre todo en la producción de los commodities, 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 & Entz, 2002; Zhang et al., 2007). Un ejemplo a considerar en el cultivo de girasol, puede ser el logro de un mayor índice de cosecha pero con una menor profundidad efectiva de raíces y consecuentemente menor capacidad de uso del agua almacenada en el perfil del suelo.

Otro enfoque sobre la productividad de los cultivos y su EUA, es considerar el valor económico de la producción en lugar de comparar solamente los rendimientos (Gaggioli et al., 2013). Varios autores señalan la necesidad de aumentar la *productividad económica del agua* (PEA), definida como el valor recibido por unidad de agua usada (u$s.mm^{-1}), especialmente en áreas donde este recurso es escaso (Aldaya et al., 2009; Ali & 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.

Esto último está recibiendo gran motivación en la actualidad, debido al desarrollo de la agroindustria y los cambios en los hábitos nutricionales de la alimentación humana que ha originado mercados diferenciados de productos por calidad. De esta manera surge la oportunidad de lograr un precio diferencial en el mercado mediante la producción de cultivos de calidad superior.

Noellemeyer et al. (2013) observaron que en los sistemas de producción agrícola de la RSP, las oleaginosas como el girasol, tienen valores de EUA considerablemente inferiores a las

gramíneas, pero cuando se tiene en cuenta su valor de mercado, la EUA por unidad de superficie se incrementa notoriamente hasta casi igualar la de maíz.

Se ha demostrado que a pesar de su baja EUA, el cultivo de girasol puede generar rendimientos satisfactorios con bajas precipitaciones en relación a otros cultivos. Esto se atribuye al extensivo y rápido crecimiento de su sistema radicular que le permite extraer agua del suelo a profundidades mayores a los 2 m (Stone et al., 2002; Johnston et al., 2002; Dardanelli et al., 1997; Ghironi et al., 2012). Esta característica le daría más ventajas en suelos profundos, donde la sequía se asocia a escasez de lluvia y/o alta evaporación (Sadras & Calviño, 2001).

El girasol posee un mercado especial por calidad, ya que a partir de distintos genotipos se producen aceites con diferente composición de ácidos grasos que los hacen aptos para diversos usos (consumo, industria, biodiesel). Es decir, que la predominancia de uno u otro ácido graso le confiere diferentes propiedades al aceite.

Los ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) al poseer más dobles ligaduras, que son más reactivas, tienen una menor resistencia a la oxidación, son líquidos y necesarios para la dieta ya que son ácidos grasos esenciales y el hombre no los puede sintetizar (Izquierdo & Aguirrezábal, 2010). El aceite tradicional de girasol es rico en estos ácidos grasos (aproximadamente 63 %) y es el destinado a la cocina hogareña ya que funciona bien en frituras normales y aporta la ingesta de ácidos grasos esenciales que necesita el organismo. Además, es utilizado en mayonesas y salsas industriales por su característica de no cristalizar a bajas temperaturas. El girasol tradicional recibe bonificación en el precio cuando el contenido de materia grasa (MG) del grano supera el 42%.

Los ácidos grasos monoinsaturados, como el oleico, son resistentes a la oxidación, son líquidos y se recomienda su ingesta en términos de salud ya que disminuye los niveles de colesterol en

sangre. Los aceites con altos niveles de este ácido graso en general son deseados para consumo directo, frituras prolongadas, fabricación de productos comestibles en la industria y producción de biodiesel (Izquierdo & Aguirrezábal, 2010). El aceite de girasol alto oleico posee alrededor de 80% de dicho ácido y, además de bonificar por materia grasa, recibe una bonificación de 30-40 u$s sobre el precio pizarra del girasol. La temperatura puede afectar la relación oleico/linoleico de algunos materiales alto oleico pero la influencia de ese factor es mucho menos que en materiales tradicionales. Pequeños cambios en la composición acídica provocados por el ambiente podrían causar que a la comercialización de los frutos producidos se apliquen rebajas, o incluso que no sean aceptados como pertenecientes a la calidad alto oleico, si el nivel de dicho acido en los mismos es menor a la base de tolerancia (Aguirrezábal & Pereyra, 1998).

Los ácidos grasos saturados son muy resistentes a la oxidación, puesto que no poseen ninguna doble ligadura, son sólidos a temperatura ambiente y en la salud se recomienda limitar su ingesta por estar asociados a enfermedades coronarias. Sin embargo, se ha postulado que el ácido esteárico (18:0), a pesar de ser saturado, no produciría este efecto sobre el organismo. Los aceites con mayor contenido de ácidos grasos saturados son importantes en la fabricación de margarinas, así como galletitas, alfajores y tortas, dado que no requieren la hidrogenación o transesterificación, proceso para estabilizar y disminuir la fluidez del aceite pero que produce las perjudiciales “grasas trans” (Melgarejo, 2007). Recientemente aparecieron cultivares de girasol con niveles de ácidos grasos saturados incrementados (≥18%) como los alto esteáricos, y estos a su vez pueden o no, estar combinados con el carácter alto oleico (Izquierdo & Aguirrezábal, 2010). La empresa que recibe la producción de materiales medio y alto esteáricos, bonifica los mismos con un 8% del precio pizarra del girasol más 70 u$s.tn^{-1}.

Por otra parte, 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), como también lo hace el manejo del barbecho, y sobre todo la cobertura y control de malezas durante este período (Aboudrare et al., 2006; Fernandez et al., 2008). Sin embargo, la respuesta a la fertilización del girasol es errática y condicionada por diversos factores. 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. En los sitios con respuesta a la fertilización nitrogenada se obtuvieron incrementos de 100 a 200 $kg.ha^{-1}$ de MG (200-450 $kg.ha^{-1}$ de grano). Dado que el cultivo requiere 40 kg de N por tonelada de grano, aportes de 20 a 30 $kg.ha^{-1}$ de nitrógeno (N) se corresponderían con dosis de suficiencia. Para rendimientos de 3500 $kg.ha^{-1}$ y con un porcentaje de exportación de N en grano del 60% la dosis de reposición de este nutriente sería del orden de los 85 $kg.ha^{-1}$. También se ha comprobado que excesos de N pueden dar lugar a disminuciones en la concentración de MG en grano (Díaz Zorita, 1997). Sin embargo estudios realizados en el oeste bonaerense y La Pampa muestran que hay incrementos de MG con fertilización nitrogenada con respecto a los testigos cuando se transforman los valores de porcentaje a kilos de aceite. ha^{-1} (Díaz Zorita & Duarte, 2002; Bono et al., 2003 y 2005).

La respuesta a la fertilización fosforada está influida por diversos factores de oferta y demanda: la cantidad de fósforo (P) disponible en el suelo y la forma de aplicación del fertilizante, profundidad del perfil explorado por las raíces, capacidad de almacenaje de agua, época de siembra, densidad y genotipo. Las experiencias a campo muestran que con cantidades de P menores a 7 ppm existe una respuesta positiva, independientemente de la forma de aplicación, mientras que con valores mayores a 15 ppm no hay respuestas y, en las cantidades intermedias, la respuesta es altamente dependiente de la forma de aplicación, obteniéndose mayores eficiencias

de conversión con la fertilización profunda (Maddoni et al., 2003). Estudios en estado vegetativo del girasol, han mostrado un importante aumento de la longitud de las raíces secundarias de las plantas fertilizadas con P con respecto al testigo. Otro aspecto beneficioso es el aumento de la velocidad de implantación y el desarrollo de área foliar (Bono & Romano, 2012).

En suelos deficientes en P y pobres en materia orgánica (MO) los mejores resultados de fertilización se lograron combinando aplicaciones de N y P (Martin & Marangón, 1990).

En cuanto al azufre (S), los requerimientos por parte de los cultivos van del orden de los 4 a18 kg S por tonelada de grano para trigo y colza respectivamente. Las oleaginosas son las más exigentes en este nutriente, no obstante, en la región no se ha hallado respuesta del girasol a la fertilización azufrada (Romano, 2012).

OBJETIVOS

Evaluar la productividad física y económica del agua en genotipos de girasol diferenciados por calidad de aceite, bajo distintas dosis de fertilización.

HIPÓTESIS

- Híbridos con distinta calidad de aceite se diferenciarán en la productividad física del agua aunque no necesariamente exista correspondencia con la productividad económica.
- La fertilización tendrá un efecto positivo sobre la productividad física en las distintas calidades de girasol, aunque la incidencia en el MB dependerá de la relación de precios fertilizante/producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la EEA INTA Anguil, La Pampa (latitud: 36º 31’ 00’’ S y longitud 64º 01’ 00’’ W), durante la campaña 2013/14, se condujo un ensayo en secano donde se evaluaron 6 genotipos de girasol de la empresa Advanta diferenciados por la composición de ácidos grasos de su aceite: dos medio esteáricos (MS04 y MS06), dos alto oleicos (OLISUN 4 y ADV5203) y dos tradicionales (CF 31 Y CF 202). Los híbridos se dispusieron en un diseño en bloques aleatorizados con 4 repeticiones y cada unidad experimental (66 m^2) fue dividida en subparcelas para ubicar al azar los tratamientos de fertilización. Dichos tratamientos fueron:

Testigo: sin agregado de fertilizante.

Suficiencia: 26 kg N, 7 kg P y 3 kg S por ha, que representa la fertilización necesaria para incrementar en 600 kg el rendimiento respecto al testigo.

Reposición: 87 kg N, 26 kg P y 8 kg S por ha, que son los nutrientes extraídos del suelo en grano por un cultivo de girasol que rinde 3500 $kg.ha^{-1}$, producción estimado en la zona cuando no hay limitaciones hídricas (Bono & Romano, 2008).

El suelo sobre el que se llevó a cabo el ensayo fue un Entisol de textura arenosa-franca (2% de arcilla, 16% de limo y 82 % de arena), con 0,86 % de MO, pH de 6,8 y 15 ppm de P disponible en los primeros 20 cm del perfil, con presencia de capa freática que fluctúa alrededor de los 3 m. Los contenidos de agua útil y nitratos a la siembra fueron de 140 mm/200 cm y 23,3 kg de $N\text{-}NO_3^-$/60 cm de espesor de suelo.

La siembra se realizó sobre rastrojo de maíz el 28 de octubre de 2013, utilizando una sembradora experimental de granos gruesos Baumer, neumática, a 0,52 m de distancia entre surcos. Al estado V2 del cultivo (escala fenológica: Schneiter & 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 el momento de siembra se fertilizó al voleo, utilizando para el tratamiento de suficiencia 24 kg de cebador ACA (20-9–0–12,5) y 25 kg de FDA (18-20-0), mientras que para el tratamiento de reposición se emplearon 70 kg de cebador ACA y 100 kg de FDA. La segunda fertilización se hizo el 9 de diciembre, cuando el cultivo se encontraba en estado V10 aplicando al voleo en el tratamiento de suficiencia 35 kg de Urea (46-0-0) y en el de reposición 120 kg de Urea.

Durante el ciclo del cultivo se realizó control químico de malezas. El 18 de septiembre se inició el barbecho utilizando 0,4 $l.ha^{-1}$ de 2,4-D ester y 3 $l.ha^{-1}$ de Glifosato (48%). Antes de la siembra se pulverizó con 3.5 l de Glifosato (48 %), 0,7 l de haloxifop-P-metil (12,5 g) y 1.5 l de aceite mineral. Luego, en pre-emergencia se aplicaron 0,2 l de Sulfentrazone, 0,5 l de Flurocloridona y 1 l de S-metolaclor. La última pulverización fue el 5 de diciembre con 0,7 l de haloxifop-P-metil (12,5 g) y 1,5 l de aceite mineral, para controlar roseta.

Los datos climáticos fueron tomados en la estación meteorológica presente en el sitio experimental.

Mediciones de rendimiento y calidad de grano

El cultivo se cosechó cuando alcanzó la madurez de cosecha, el 11 de marzo los híbridos ADV 5203, CF 202, MS06, MS04 y 7 días después CF 31 y Olisun 4. La cosecha se realizó a mano, mediante la recolección de los capítulos correspondientes a 3 m lineales de los dos surcos centrales de la parcela (3,12 m^2). Dichos capítulos se trillaron con una máquina estática. Luego se midió el porcentaje de humedad con humedímetro portátil y se pesó la muestra cosechada para calcular el rinde en $kg.ha^{-1}$ a 11 % de humedad. Además se determinaron los componentes de rendimiento: peso de mil granos (PMG) y número de $granos.m^{-2}$. En cuanto a calidad se midió el porcentaje de materia grasa (MG) en grano por el método Butt. Además, se realizó el análisis de

composición de ácidos grasos en los materiales alto oleico para las diferentes fertilizaciones debido a la influencia del porcentaje de ácido oleico en su precio. Esta determinación fue realizada por el análisis de la materia grasa en un cromatógrafo de gas (GLC) Serie 6000.

Mediciones de humedad del suelo y uso consuntivo

En los momentos de emergencia (VE), floración (R5) y madurez fisiológica (R9) del cultivo, se determinó la humedad del suelo en cada parcela por el método gravimétrico, a intervalos de 0,2 m hasta 2 m de profundidad. Para las mismas profundidades se determinó la densidad aparente a fin de calcular el agua almacenada en el suelo en milímetros. El uso consuntivo (UC) del cultivo en mm se obtuvo sumando al contenido de humedad en el suelo a la siembra las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, y restando la humedad del suelo a cosecha (López & Arrue, 1997).

Cálculo de la eficiencia de uso de agua y productividad económica del agua

La EUA ($kg.mm^{-1}$) se calculó mediante el cociente entre la producción de grano ($kg.ha^{-1}$) y el UC (mm) (López & Arrue, 1997). Para calcular la PEA ($u\$s.mm^{-1}$) se multiplico la EUA ($kg.mm^{-1}$) por el valor de 1 kg de grano, con las bonificaciones o descuentos correspondientes por calidad (Molden et al., 2010). La cotización de girasol utilizada para este cálculo fue el promedio del mes de marzo de 2014 en la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca (271,3 $u\$s.tn^{-1}$). Para obtener el precio 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. Los materiales alto oleicos recibieron además 30 $u\$s.tn^{-1}$, dado que todos presentaron un contenido de ácido oleico mayor al 80%. El precio de los medio-esteáricos estuvo integrado por la bonificación/descuento por contenido de materia grasa, una prima de 70 $u\$s.tn^{-1}$ y el 8% del precio pizarra del girasol (21,7 u$s).

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante Análisis de la Varianza, comparación de medias por el test de Tukey ($p<0,05$) y análisis de correlación ($p<0,05$), utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et. al 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo fenológico del cultivo

Las plántulas de girasol emergieron 7 días después de la siembra, alcanzando todos los híbridos el estado de estrella (R1) el 19/12 e inicio de floración (R5.1) el 8/01. Considerando que el período crítico para la determinación del rendimiento en girasol se extiende desde 30 días antes hasta 20 días después de antesis (Trápani et al., 2003), en este ensayo el mismo transcurrió entre mediados de diciembre hasta fines de enero. El estado de madurez fisiológica (R9) se alcanzó alrededor del 15 de febrero.

Datos climáticos y dinámica del agua

En la Figura 1 se muestran las lluvias ocurridas durante el ciclo del cultivo en la campaña 2013/14 y el promedio histórico de precipitaciones (1921-2013) correspondiente a la estación meteorológica de la EEA Anguil. Durante el periodo de barbecho (septiembre – octubre) las precipitaciones fueron superiores al promedio histórico, permitiendo que al momento de siembra el contenido de humedad del suelo alcance valores cercanos a CC en todo el perfil (Figura 2). Estas condiciones hídricas favorables posibilitaron una buena implantación del cultivo y uniformidad en el stand de plantas.

Como se observa en la Figura 1, la evapotranspiración potencial (ETP) superó las precipitaciones en los meses de noviembre, diciembre y enero, momento en que ocurre la mayor tasa de

crecimiento y demanda hídrica del cultivo. La lámina de agua en el perfil descendió hasta llegar en floración a valores de PMP (Figura 2), lo cual pudo ser limitante para el desarrollo de flores, antesis y cuaje de granos (Trápani et al., 2003). Sin embargo, el leve aumento en la humedad del suelo a profundidades cercanas a los 2 m indica que pudo haber existido cierto aporte de agua al cultivo por ascenso capilar de la napa, que en ese momento se encontraba a 3 m de profundidad (dato tomado en freatrímetro instalado en el lugar). Esto es posible debido a la capacidad del girasol para desarrollar un sistema radicular que explora el suelo más allá de los 2 m de profundidad cuando no se presentan limitaciones físicas (Stone et al., 2002; Johnston et al., 2002; Dardanelli et al., 1997; Ghironi et al., 2012).

Cabe resaltar que durante los meses de diciembre y enero se sucedieron varios días con temperaturas elevadas, registrándose máximas de 39°C a 44°C (Figura 3). Esta adversidad pudo provocar una disminución en el tamaño del área generativa y el número de primordios florales debido a una menor duración de la fase de diferenciación floral, además pudo afectarse el cuaje de frutos (Trápani et al., 2003). En consecuencia, el n° de granos.m^{-2} y la producción del cultivo fue inferior respecto a la obtenida años anteriores en el mismo ambiente (comunicación personal técnicos INTA).

En el mes de Febrero, cuando el cultivo se encontraba en la fase de llenado de granos, las precipitaciones fueron superiores a los valores históricos, permitiendo la recarga de humedad en los primeros 100 cm del perfil (Figura 2). Las temperaturas durante este período tampoco fueron limitantes para el llenado de granos y acumulación de aceite (Figura 3).

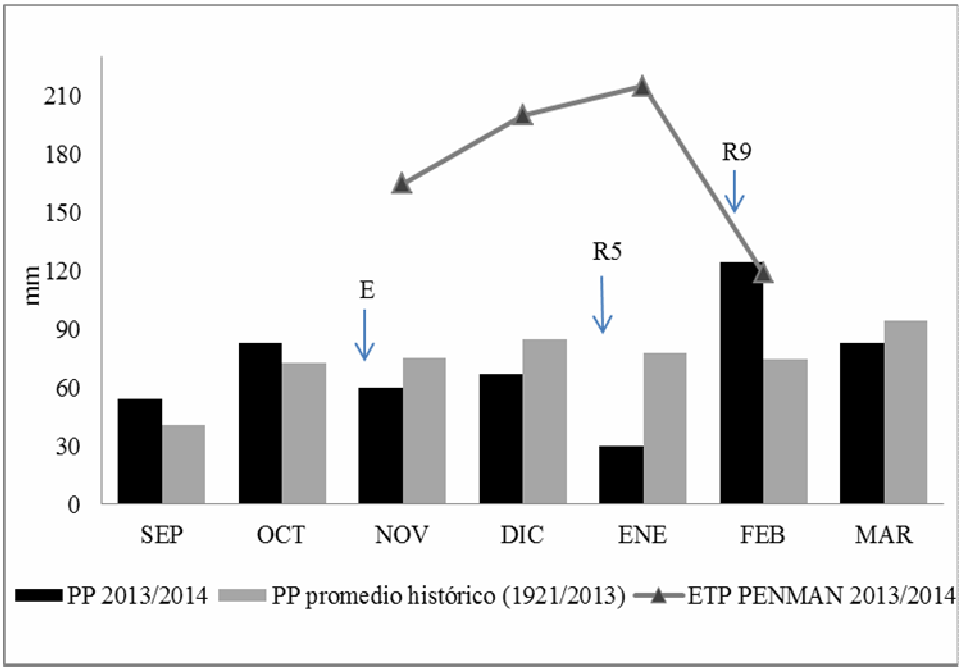

Figura 1: Precipitaciones (PP) mensuales, evapotranspiración (ETP) en el ciclo del girasol (2013/14) y precipitaciones históricas en la EEA INTA Anguil. Las flechas indican los estados de emergencia (E), comienzo de floración (R5) y madurez fisiológica (R9) del cultivo.

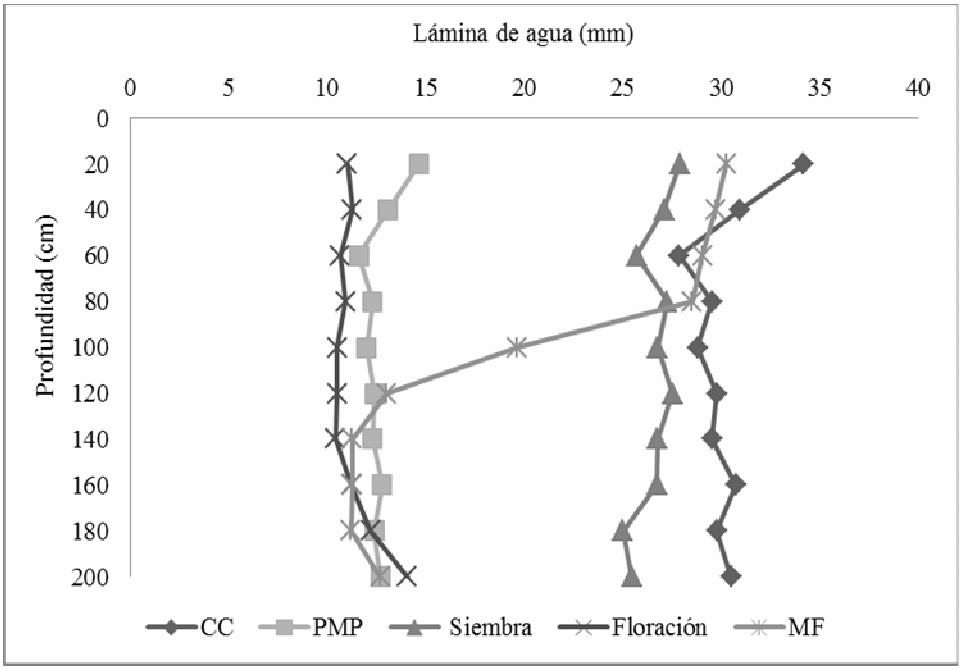

Figura 2: Perfiles hídricos promedio en los momentos de siembra, floración del cultivo y madurez fisiológica (MF), se indica además capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

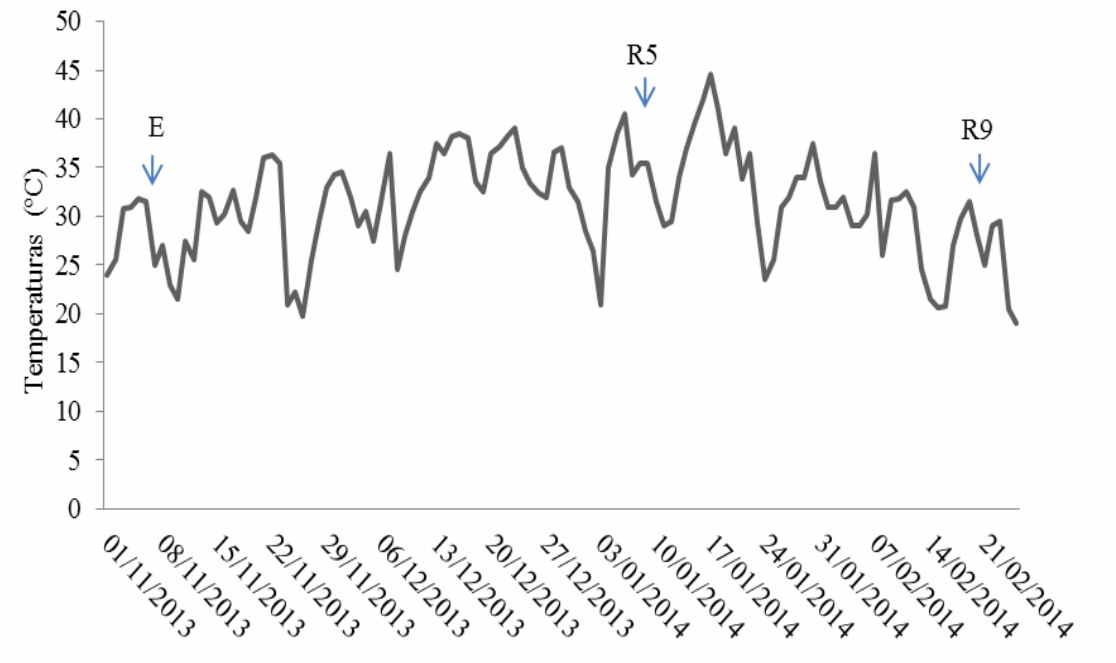

Figura 3: Temperaturas máximas diarias de la campaña 2013/2014 en el EEA INTA Anguil. . Las flechas indican los estados de emergencia (E), comienzo de floración (R5) y madurez fisiológica (R9) del cultivo.

Efecto híbrido

La interacción entre tipo de híbrido y fertilización no fue significativa para ninguna de las variables estudiadas, por lo tanto dichos factores se analizaron por separado.

En la Tabla 1 se exponen los datos correspondientes a los distintos tipos de híbridos evaluados. El rendimiento en grano del cultivo fue en promedio de 2650 kg.ha^{-1}, conforme con los rendimientos potenciales señalados por Quiroga et al. (2008) para suelos de alto contenido relativo de agua (CRA: 160 mm) de la RSP. Los híbridos convencionales presentaron el mayor rinde, con 2955 kg.ha^{-1}, sin diferenciarse estadísticamente de los alto oleicos que alcanzaron 2811 kg.ha^{-1}. Estos resultados confirman la paulatina disminución de las brechas de rendimiento entre girasoles tradicionales y alto oleicos, que viene ocurriendo desde el 2001 (Conti, 2010). Los materiales esteáricos en cambio, produjeron significativamente menos grano, con un rinde

promedio de 2200 $kg.ha^{-1}$. indicando que es necesario un mayor desarrollo de estos híbridos para alcanzar los rendimientos potenciales del girasol en estos ambientes. En este sentido, también se halló un 4% menos de contenido de MG en grano en los genotipos medio esteáricos respecto a los convencionales y oleicos. Estos últimos presentaron contenidos de aceite elevados, de 51,6 %, de acuerdo a las adecuadas condiciones ambientales durante el llenado de granos.

Dadas las semejanzas en rendimiento en grano y % de MG entre los girasoles convencionales y alto oleicos, fue lógico no hallar diferencias significativas entre ellos en rendimiento de MG, con una producción promedio de 1340 $kg.ha^{-1}$, mientras que los híbridos esteáricos sintetizaron 951 $kg.ha^{-1}$ de MG.

En cuanto a los componentes del rendimiento, no existieron diferencias estadísticas en n° de $granos.m^{-2}$ entre las tres clases de girasol, aunque puede destacarse la mayor generación de frutos en los híbridos tradicionales. El PMG estuvo más condicionado por el genotipo, ya que los medio esteárico produjeron granos pequeños, en contraste con los alto oleicos cuyo PMG fue superior en más de 10 g. Es importante subrayar que si bien el número de granos es el componente que explica en mayor medida las variaciones en rendimiento del girasol, el peso de los granos tiene mayor importancia relativa que en otras especies como trigo y maíz (Trápani et al., 2003). Para estos datos se halló una asociación positiva importante entre rendimiento y PMG ($r = 0,31$; $p < 0,05$).

La EUA siguió la misma tendencia que el rendimiento. A pesar de que todos los materiales tuvieron un UC similar de aproximadamente 350 mm, los esteáricos produjeron 2 kg menos de grano por mm de agua consumida que los convencionales y oleicos. La EUA de estos últimos fue superior a los 7 $kg.mm^{-1}$. Sin embargo cuando la EUA se midió en términos económicos (PEA), no se encontraron diferencias entre los híbridos, lo que significó que las bonificaciones en el

precio de los materiales esteáricos compensaron su menor productividad física. Similares resultados se observaron en el MB, que en este ensayo promedió los 430 u$s.ha^{-1} sin hallarse diferencias estadísticas entre los genotipos. De todos modos, los mejores márgenes se obtuvieron con los alto oleico que superaron a los convencionales y esteáricos en 50 y 80 u$s.ha^{-1} respectivamente.

Tabla 1: Rendimiento de grano (Rdto); porcentaje de materia grasa (MG); rendimiento de materia grasa (Rdto MG); número de granos por m^2 (nº granos.m^{-2}); peso de mil granos (PMG); eficiencia de uso de agua (EUA); productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) del promedio de los híbridos de girasol convencionales (CV), alto oleicos (OL) y medio esteáricos (ES). Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p<0,05$; n: 24).

Híbrido	Rdto (Kg.ha^{-1})	MG (%)	Rdto MG (Kg.ha^{-1})	nº granos.m^{-2}	PMG (g)	EUA (Kg.mm^{-1})	PEA (u$s.mm^{-1})	MB (u$s.ha^{-1})
CV	2955 a	51,5 a	1366 a	4419 a	61,2 ab	7,6 a	2,5 a	425 a
OL	2811 a	51,8 a	1312 a	3949 a	64,2 a	7,3 a	2,6 a	474 a
ES	2201 b	47,5 b	951 b	3764 a	53,9 b	5,7 b	2,2 a	394 a

Efecto Fertilización

Los resultados obtenidos de los tratamientos de fertilización sobre el promedio de los híbridos se muestran en la Tabla 2. Las parcelas fertilizadas con la dosis de reposición incrementaron significativamente los rendimientos en 440 y 620 kg.ha^{-1} respecto de los tratamientos de suficiencia y testigo, respectivamente. Cuando se fertilizó con dosis de suficiencia el rendimiento aumentó un 7% con respecto al testigo, lo cual no fue estadísticamente significativo. Referido a esto, Funaro et al. (2006) hallaron que la probabilidad de respuesta al agregado de N se incrementa en suelos de elevado CRA y disponibilidad de agua a la siembra, como en este caso.

La fertilización incidió negativamente en el contenido de materia grasa, de modo que el tratamiento de reposición presentó 1,6 puntos menos que el testigo. Sin embargo, dado el mayor rendimiento de grano, la dosis de reposición produjo significativamente más MG (250 $kg.ha^{-1}$) que los otros dos tratamientos. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en estudios realizados en el Oeste de Buenos Aires y Centro Este de La Pampa, donde la fertilización nitrogenada incrementó la producción de aceite ($kg.ha^{-1}$) a pesar de que los contenidos en grano fueron menores (Díaz Zorita & Duarte, 2002; Bono et al., 2003 y 2005).

El principal componente del rendimiento afectado por la fertilización fue el n° de $granos.m^{-2}$, favorecido por la buena provisión de N antes de iniciación floral (Díaz Zorita & Duarte, 2002). Los tratamientos fertilizados a reposición generaron significativamente más frutos por unidad de superficie que los testigos, sin diferenciarse de la dosis de suficiencia. Esta mejoría en el n° $granos.m^{-2}$ con el agregado de nutrientes explicó el mayor rendimiento en grano de los tratamientos fertilizados, ya que existió una importante correlación entre ambas variables en este ensayo ($r = 0,85$; $p < 0,001$; Figura 4). Por el contrario, el PMG no varió entre tratamientos, con un promedio de 60 gramos.

La EUA se incrementó en 1,4 y 0,5 $kg.ha^{-1}.mm^{-1}$ con la dosis reposición y suficiencia, respectivamente. En ensayos de larga duración conducidos en el este de La Pampa se obtuvieron resultados similares con eficiencias de 6,5 $kg.ha^{-1}.mm.^{-1}$ para el tratamiento testigo y de 9,1 $kg.ha^{-1}.mm^{-1}$ para el tratamiento con aporte de N, P y S (Quiroga et al., 2007). La PEA siguió la misma tendencia que la EUA, siendo 0,4 $u\$s.mm^{-1}$ mayor en el tratamiento de reposición respecto al testigo.

Cuando se analizó el MB no se encontraron diferencias entre los tratamientos, es decir, que la mayor producción generada por el agregado de nutrientes compensó el incremento de los costos

por fertilizantes. No obstante no tener un beneficio en el MB, estos resultados son relevantes cuando se tiene en cuenta que en el tratamiento testigo hay una pérdida neta de nutrientes, mientras que en el tratamiento de reposición se aportan al suelo los nutrientes extraídos con la cosecha. Se debe destacar además que estos resultados son válidos para la relación de precios insumo/producto vigente durante la campaña 2013/14.

Tabla 2: Rendimiento de grano (Rdto); porcentaje de materia grasa (MG); rendimiento de materia grasa (Rdto MG); número de granos por m^2 (nº granos.m^{-2}); peso de mil granos (PMG); eficiencia de uso de agua (EUA); productividad económica del agua (PEA) y margen bruto (MB) del promedio de los híbridos de girasol para cada estrategia de fertilización. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p<0,05$; n: 24).

Fertilización	Rdto (Kg.ha^{-1})	MG (%)	Rdto MG (Kg.ha^{-1})	nº granos.m^{-2}	PMG (g)	EUA (Kg.mm^{-1})	PEA (u$s.$mm^{-1}$)	MB (u$s.$ha^{-1}$)
Testigo	2290 b	50,9 a	1101 b	3653 b	59,2 a	6,2 b	2,2 b	439 a
Suficiencia	2569 b	50,5 ab	1178 b	3958 ab	59,5 a	6,7 ab	2,4 ab	425 a
Reposición	3009 a	49,3 b	1350 a	4521 a	60,6 a	7,6 a	2,6 a	428 a

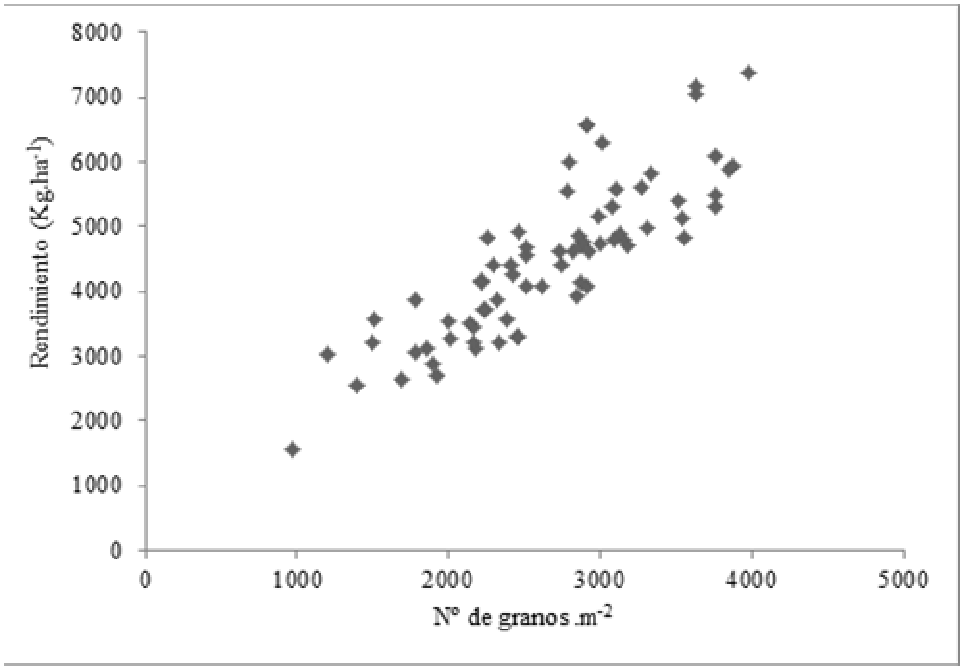

Figura 4: Correlación entre n°granos.m^{-2} y rendimiento en grano. ρ=0,85 (p<0,0001, n=72).

En la Figura 5 se graficó la respuesta de cada genotipo a los tratamientos de fertilización. Se observó que los tres tipos de híbridos alcanzaron los rendimientos más altos cuando se fertilizaron con dosis de reposición. Sin embargo el efecto de la fertilización de suficiencia fue menos claro, ya que estuvo presente en las parcelas de híbridos tradicionales y alto oleicos pero no en los esteáricos, que mostraron rindes semejantes a los testigos.

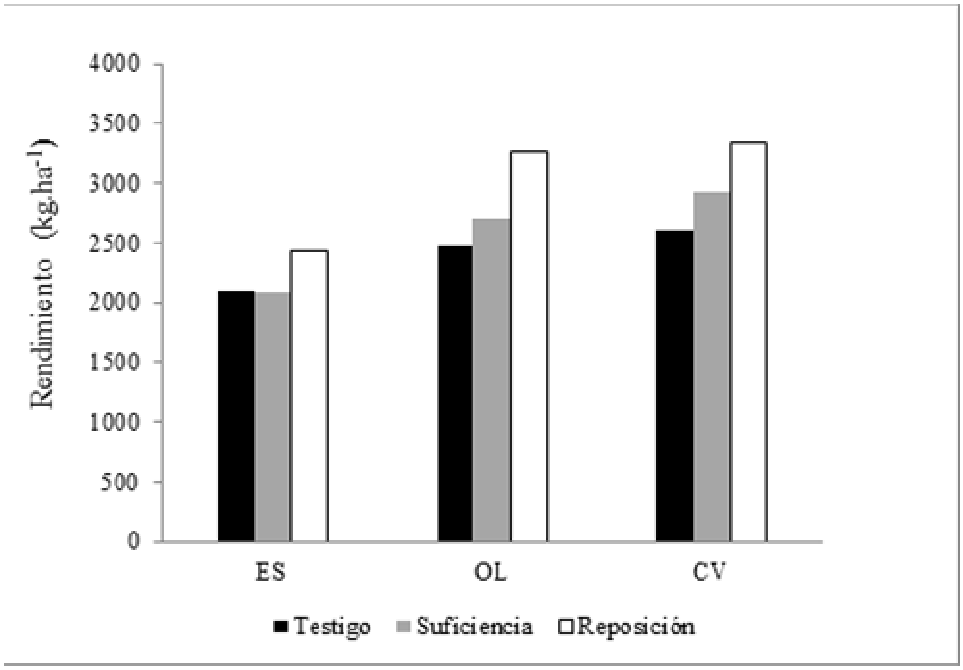

Figura 5: Rendimiento de grano de los distintos genotipos de girasol: medio esteáricos (ES), alto oleicos (OL) y convencionales (CV) bajo las distintas dosis de fertilización.

Calidad de aceite

La composición de ácidos grasos del aceite contenido en los granos cosechados en este ensayo se expone en la Figura 6. El aceite de los girasoles medio esteáricos estuvo formado por más de 12% de ácido esteárico, 72% de oleico y entre 5 y 8% de linoléico. Los girasoles alto oleicos presentaron más de 80% de ácido oleico en todos los casos, 4% de esteárico y 5 % de linoléico. En los girasoles convencionales predominó el ácido linoléico con un 57%, seguido del oleico con 29%, mientras que el porcentaje de esteárico fue inferior al 5%. Es importante destacar que no se observaron cambios sustanciales en la composición de ácidos grasos por la fertilización en los distintos híbridos.

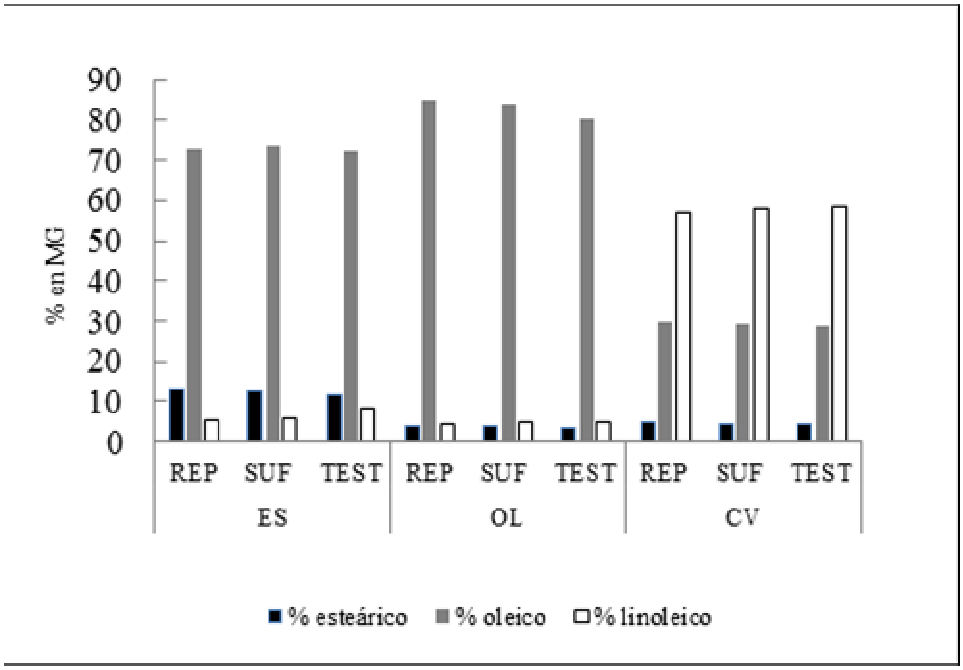

Figura 6: Proporción de ácidos grasos: esteárico, oleico y linoléico en los genotipos de girasol medio esteáricos (ES), alto oleicos (OL) y convencionales (CV), bajo las distintas fertilizaciones.

CONCLUSIONES

Los materiales esteáricos presentaron menor productividad física que los oleicos y convencionales, no obstante, debido a las bonificaciones en el precio de los mismos, la productividad económica y el MB fue similar para las tres clases de híbridos.

Todos los genotipos de girasol evaluados mejoraron la EUA con la fertilización de reposición. Sin embargo, cuando se analizó el MB no se encontraron diferencias entre los tratamientos, es decir, que la mayor producción generada por el agregado de nutrientes compensó el incremento de los costos de la fertilización. Puede concluirse que la fertilización de reposición permitió mantener el nivel de nutrientes en el suelo sin afectar la rentabilidad y haciendo más sustentable el sistema de producción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Advanta que brindó las semillas para la realización del ensayo, a la delegación de MAGyP en Gral. Pico y a la empresa "Gente de La Pampa" por los análisis de materia grasa y composición de ácidos grasos.

A todo el equipo de suelo la EEA INTA Anguil, especialmente a Alberto Quiroga, Carolina Gaggioli y a los Sres. Eduardo Calabaza y Roberto Gómez por su colaboración en el ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

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 Manage. 83, 183-196.

Aguirrezábal, L.A.N, Pereyra, V.R.,1998. Girasol. En: Calidad de productos agrícolas; Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico (Aguirrezábal, L.A.N; Andrade, F.H.). Edición de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) y de la EEA Balcarce del INTA. Pp. 139-197.

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.

Ali, M.H., Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. Agric. Water Manag. 95, 1201–1213.

Angadi, S. V., Entz, M. H., 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. Agron J. 94:136-145.

Bono, A.; Quiroga, A. Scianca, C., 2003. Fertilización nitrogenada en la región semiárida pampeana. En: Cultivos de cosecha gruesa. Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica Nº 77. EEA INTA Anguil. pp 66-78.

Bono, A., Sá Pereira, E., Barraco, M., 2005. Fertilización postergada con nitrógeno en girasol, en la región semiárida pampeana y subhúmeda pampeana. 3er Congreso Argentino de Girasol, Buenos Aires.

Bono, A., Romano, N., 2008. Nutrición mineral y fertilización. En: El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana (Quiroga, A.; Pérez Fernández, J.). Publicación técnica Nº 72. EEA INTA Anguil. pp 39-48.

Bono, A., Romano, N., 2012. Fósforo. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Edición 2012 (Quiroga, A.; Bono, A.). Boletín de Divulgación Técnica Nº 89. EEA INTA Anguil. pp 106-114.

Conti, I., 2010. Competitividad de los híbridos de girasol alto oleico y su aporte a la salud humana. En actas 5° Congreso Argentino de Girasol. pp: 101-111.

Dardanelli, J.L., Bachmeier, O., 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.

Díaz Zorita M., 1997. Girasol. En: La fertilización de Cultivos y Pasturas (Melgar, R y Díaz Zorita, M). Ed. Hemiferio Sur, Buenos Aires. pp. 125-138.

Díaz Zorita M., Duarte, G., 2002. Nutrición mineral y fertilización. En: Manual práctico para el cultivo de girasol. Ed: Hemiferio Sur. pp 77-96.

Di Rienzo J.A., M.G. Balzarini, I. González, M. Tablada, W. Guzmán, C.W. Robledo & F. Casanoves, 2002. Software INFOSTAT Versión 1.1. FCA, UNC. Córdoba.

Fernandez, 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.

Funaro, D., Peinemann, N., Noellemeyer, E., Saks, M., Quiroga, A., 2006. 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., Noellemeyer, E., Quiroga, A., 2013. Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. Revista de la Facultad de Agronomía, UNLPam. Vol.23, Nº2, 17-26.

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 Nº 90. EEA INTA Anguil. pp. 21-55.

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.

Hillel, D., 2011. An overview of soil and water management: the challenge of enhancing productivity and sustainability. Pp. 3-11. In: Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture (Hatfield, J.L.; Sauer, T.J.). Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

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.

Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S., 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.

Lopez, M., Arrue, J., 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid región of Spain. Soil & Till. Res. 44, 35-54.

Maddoni, G.A.; Ruiz, R.A., Vilariño, P.; García de Salamone, I., 2003. Fertilización en los cultivos para grano. En: Producción de granos; Bases funcionales para su manejo(Satorre, E.H., Benech Arnold, R.L. Slafer, G.A., de La Fuente, E.B., Miralles, D.J., Otegui M.E. y Savin, R.). Editorial Facultad de Agronomía UBA. Pp 501-557.

Martín, W., Marangon, N., 1990. Girasol. Fertilización en el CREA Henderson-Daireaux. Tecnicrea, 19, 44-49.

Melgarejo, M., 2007. Una calidad de aceite para cada uso. En: Actas 4º Congreso Argentino de Girasol, ASAGIR.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M., Kijne, J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. Agric. Water Manag. 97, 528–535.

Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A., 2013. Crop and Tillage Effects on Water Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. Agriculture 3, 1–11.

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.

Quiroga,A., Sack, M., Fernández, R., Otamendi, H. & Funaro, D., 2007. Efectos directos y residuales la fertilizacion sobre la productividad y propiedades edáficas de un Haplustol éntico. En: Espectos de la evolucion y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Ensayos de larga duración. Publicación técnica Nº 69. EEA INTA Anguil.pp 35 – 54.

Quiroga, A., Fernández, R., Frasier, I., Funaro, D., 2008. Aspectos del manejo del agua. En: El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana (Quiroga, A.; Pérez Fernández, J.). Publicación técnica Nº 72. EEA INTA Anguil. pp 33-38.

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.

Romano, N., 2012. Azufre. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Edición 2012 (Quiroga, A.; Bono, A.). Boletín de Divulgación Técnica Nº 89. EEA INTA Anguil. pp 115-118.

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.

Schneiter, A., Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Science. 21, 901-903.

Stone, L.R., Goodrum, D.E., Schlegel, A.J., Jaafar, M.N., 2002. Water Depletion Depth of Grain Sorghum and Sunflower in the Central High Plains. Agron. J. 94, 936–943.

Trápani, N., Pereira Lopez, M., Sandras, O. Victor., Hall, J.Antonio; 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generacion del rendimiento y la calidad del girasol. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. pp 205 - 241.

Wallace, J., 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agric. Ecosyst. Environ. 82, 105–119.

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.

Zhang, Z., Shao, H., Xu, P.,Chu, L., Lu, Z., Tian, J., 2007. On evolution and perspectives of bio-watersaving. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 55, 1-9.