



FACULTAD DE AGRONOMÍA  
**Universidad Nacional de La Pampa**

Proyecto final de Graduación

**FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE GIRASOL EN DISTINTOS  
AMBIENTES DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA**

Autores:

Cardonatto Juan Ignacio

Delfino Cristian Emmanuel

Directora:

Dra. Elke Noellemeyer

Co- Directora:

MSc. Alexandra Dillchneider Loza

Ingeniería Agronómica

Facultad de Agronomía Universidad Nacional de La Pampa

Año 2022

## ÍNDICE

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivos	6
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Descripción del sitio:	8
Metodología de trabajo:	8
Determinaciones edáficas:	9
Determinaciones climáticas	10
Determinaciones en el cultivo:	10
Análisis estadístico:	11
RESULTADOS	11
Caracterización edáfica e hídrica	11
Biomasa	13
Rendimiento	15
Aceite	19
DISCUSIÓN	20
CONCLUSIÓN:	23
BIBLIOGRAFIA:	25

## RESUMEN

El girasol es una de las principales oleaginosas cultivadas a nivel mundial, su aceite tiene efectos benéficos para la salud humana por su alto contenido de ácidos grasos insaturados. El objetivo de este trabajo fue caracterizar factores del ambiente y manejo que determinan la calidad y productividad del cultivo de girasol en la provincia de La Pampa. Se evaluó el híbrido de girasol NUSOL 4510 CL AO, en suelos representativos de la planicie con tosca y medanosa, en dos fechas de siembra. Los tratamientos fueron testigo (T1), 0N+20 P (T2), 40N+20 P (T3), 80 N+20 P (T4), 120 N+20 P (T5) y 160N+20P (T6). En cada sitio se realizó una caracterización edafo-climática inicial y durante el ciclo del cultivo. En el cultivo se determinó biomasa, tasa de crecimiento en distintos momentos fenológicos, los componentes formadores del rendimiento y calidad de aceite. La fecha de siembra demorada produjo mermas significativas en el rendimiento. Entre tratamientos de fertilización, el T6 obtuvo el mayor rinde sin diferencia con T4 y T5. Entre sitios no hubo diferencias en rendimiento, pero si entre tratamientos, siendo T5 y T6 los que más rindieron. En cuanto a aceite las diferencias se encontraron entre sitio, siendo el suelo Franco el que presentó el mayor valor.

Palabras claves: nutrición, fecha de siembra, aceite, ambiente

## Abstract

Sunflower is one of the most important oil crops in the world. Oil Sunflower has a beneficial effect on human health because it has a high content of unsaturated fatty acids. The aim of this work was to characterize environmental and management factors that determine the quality and productivity of sunflower cultivation in the province of La Pampa. The sunflower hybrid NUSOL 4510 CL AO was evaluated in soils representative of the semiarid plains with

caliche and the sandy plains in two sowing dates. Six nitrogen (N) levels were tested; T1= 0N, T2= 0N+ 20kgP, T3= 40 kgN-20kg P, T4= 80 kgN-20kg P, T5= 120 kgN-20kg P, T6= 180 kgN-20kg P. In each site a soil and climatic characterization was made at beginning and end of the crop cycle. Biomass, growth rate at different phenological moments, yield-forming components and oil quality were determined in the crop. The delayed sowing date produced significant decreases in yield. Fertilization T6 obtained the highest yield without significant difference with T4 and T5. Between sites, there were no differences in yield, but among treatments, treatments 5 and 6 had the highest yield. Regarding oil content, the differences were found between sites, with the highest value obtained in the loam textured caliche plains soil.

## INTRODUCCIÓN

El girasol es una de las principales oleaginosas cultivadas a nivel mundial ocupando una superficie de 26 millones de ha. La importancia de la producción del girasol aceitero es la obtención de aceite, de buena apariencia y sabor, proporciona más vitamina E que otros aceites y posee beneficios saludables por su alto contenido de ácidos grasos insaturados (Anushree et al., 2017). Hay varios tipos de aceites disponibles, el más utilizado es el “linoleico” por razones vinculadas al cuidado de la salud y la demanda para usos industriales, en particular tolerancia a altas temperaturas durante periodos prolongados, impulsaron el desarrollo de los girasoles medio oleico y alto oleico (National Sunflower Association, 2022). Actualmente, la industria alimenticia mundial con el objetivo de priorizar el cuidado de la salud humana incorpora aceites vegetales con altos contenidos de ácidos grasos insaturados, favoreciendo la perspectiva de uso para el aceite de girasol alto oleico (MAGyP, 2016).

En la Argentina se destinaron 1.742.844 ha promedio de los últimos 10 años para la siembra de girasol con un rendimiento medio de 1,9 tn/ha. El mercado argentino que comercializa girasol con destino a la industria aceitera y confitería (girasol confitero), tiene historia como proveedor de aceite y harinas proteicas con destino a consumo ganadero (BCR, 2020). En nuestro país el peso de aceite por unidad de superficie no es recompensado desde el punto de vista comercial, sino que al precio que recibe el productor por kilo de frutos se le aplican bonificaciones y/o rebajas de acuerdo a la base de comercialización (Norma IX) (Aguirrezábal y Andrade, 1998). La Pampa se ubica como la tercera provincia productora de girasol con una superficie de 177.900 ha con rendimiento promedio de 2200 tn/ha para la campaña 2019/20.

Las regiones semiáridas se caracterizan por presentar gran variabilidad en las precipitaciones, y baja probabilidad de ocurrencia durante el periodo estival donde crece y desarrolla el cultivo. Por ello, el rendimiento está muy asociado al contenido de agua en el suelo previo a la siembra (Funaro, 2007). El área agrícola de La Pampa se caracteriza por tener suelos clasificados como *Haplustoles énticos* y *Ustipsamment típicos* distribuidos en la Planicie con tosca y la Planicie medanosa. Las diferencias se atribuyen a la textura, la profundidad del perfil y la fertilidad química de los suelos. Por ello, hay que considerar tanto la restricción del clima y del suelo en forma conjunta sobre la productividad del girasol, por los efectos sobre la disponibilidad hídrica (Funaro et al., 2008).

El máximo rendimiento que puede alcanzar el cultivo en un ambiente en particular depende de asegurar la máxima coincidencia entre los momentos de mayor demanda de recursos por parte del cultivo y la oferta ambiental de los mismos, considerando la mínima probabilidad de ocurrencia de estreses en los períodos más críticos (Satorre et al., 2012). Por ello, el ambiente condiciona a través de la temperatura y el fotoperiodo, el escenario en el cual se desarrolla el cultivo. La disponibilidad de recursos (radiación-agua-nutrición) define las condiciones para el crecimiento del cultivo, tanto como la tasa de expansión foliar, el crecimiento de las raíces y los componentes numéricos que definen el rendimiento. Estos son: el número de plantas  $m^{-2}$ , número de aquenios  $m^{-2}$ , peso de aquenios y contenido de aceite, los cuales se definen en diferentes etapas fenológicas del cultivo, comprendidos entre siembra y madurez fisiológica (Trapani et al., 2015).

Por lo tanto, el ambiente en el cual se desarrolla el cultivo quedaría definido por las propiedades físicas- químicas del suelo en interacción con las variables climáticas (Disponibilidad de radiación y agua, así como también de los diferentes regímenes térmicos), y decisiones de manejo (fecha de siembra y dosis de fertilización).

El conocimiento del momento en que es influenciado cada componente permitiría establecer periodos críticos en la definición del rendimiento. El número, peso y contenido de aceite de los aquenios, están estrechamente relacionados con el área foliar (crecimiento o senescencia foliar). Por ello, cuando los requerimientos nutricionales e hídricos no son satisfechos se resiente principalmente el área foliar y en consecuencia la eficiencia fotosintética (Hall et al., 1995; Andrade et al, 1995). Los nutrientes requeridos principalmente por el cultivo son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). La necesidad para producir una tonelada de grano es de 41 kg N, 5 kg de P, 29 kg K, 18 kg Ca, 11 kg Mg, 5 kg Z y 0.07 kg B (adaptado de Blamey et al., 1987). La mayor tasa de extracción de N tiene lugar 30 días previos a la floración, coincidiendo con las etapas de mayor crecimiento y uso consuntivo del cultivo (Diaz Zorita y Duarte, 2002). Por ejemplo, las deficiencias de N reducen el área foliar del cultivo, principalmente por una reducción en el tamaño de las hojas (Trápani y Hall, 1996). Limitaciones en la disponibilidad de nutrientes que condicionan el desarrollo del área foliar y la fotosíntesis se traducen en una menor intercepción de la radiación y eficiencia de conversión de la radiación interceptada, dando como resultado una menor tasa de crecimiento del cultivo (Andrade et al., 2002).

El sistema radical del girasol excede la profundidad máxima alcanzada por otros cultivos, por ende, le confiere cierta tolerancia a la sequía. Sin embargo, la tasa de extracción y la cantidad total de agua extraída está afectada por las condiciones del suelo, que limitan la exploración de las raíces, determinando una baja eficiencia en el uso de agua, principalmente a partir de los 25 días desde la emergencia, período donde se registran importantes tasas de crecimiento foliar, y acumulación de N en biomasa (Aguirrezábal et al., 1996).

Considerando los elevados requerimientos de agua y N durante el período que va desde 2-4 pares de hojas (V4) hasta floración (R5,5) y las condiciones climáticas de la región, el manejo

de las fechas de siembra tiene importante incidencia en el logro del cultivo. (Duarte and Díaz-Zorita, 2002). La fecha de siembra incide en la duración de la etapa de emergencia a antesis. Durante este período los requerimientos hídricos del cultivo pueden alcanzar los 300 mm, mientras que las precipitaciones son en promedio de 140 mm (Aguirrezábal et al., 1996). Por lo tanto, las características edáficas como cantidad de agua útil que puede almacenar el suelo, la textura, el contenido de MO y la profundidad a la tosca, son de importancia en la determinación de los rendimientos de girasol. Se ha demostrado que para la región semiárida el agua útil al momento de la siembra explica el 79% de la variación en el rendimiento (Funaro, 2007).

La calidad se define por el contenido de aceite en grano. El aceite de girasol está compuesto principalmente por triglicéridos, cuya síntesis se realiza, principalmente a partir de hidratos de carbono, en las células de los frutos. Los triglicéridos formados son posteriormente almacenados en organelas denominadas cuerpos grasos, situadas en el citoplasma de las mismas. Los frutos del girasol, careciendo de tejido verde, no poseen la capacidad de fotosintetizar. Los hidratos de carbono utilizados para sintetizar los triglicéridos provienen, por lo tanto, de otros tejidos y son transportados por el floema hasta a los frutos, principalmente en forma de sacarosa. Las principales fuentes de hidratos de carbono para la síntesis del aceite son :1) La fotosíntesis que se realiza en forma contemporánea al llenado de los frutos 2) Los hidratos de carbono de reserva, almacenados principalmente en el tallo. Los mismos fueron sintetizados gracias a la fotosíntesis realizada en las etapas anteriores a la floración. En consecuencia, todo factor ambiental que afecte la fotosíntesis durante el llenado de los granos o el transporte de carbohidratos a los mismos durante esta corta etapa es potencialmente capaz de afectar la acumulación del aceite en los frutos (Aguirrezábal et al., 1996).



*Objetivos*

Evaluar el efecto del ambiente edáfico sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada en girasol.

Evaluar la interacción entre las fechas de siembra y el nivel de fertilización sobre los componentes de rendimiento y producción de aceite.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del sitio:*

El trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental INTA Anguil “Guillermo Covas”, donde se realizaron ensayos a campo en dos suelos de granulometría contrastante, un Molisol franco-arenoso representativo de la Planicie con Tosca y un Entisol arenoso-franco representativo de la Planicie Medanosa. La precipitación media anual para esta región es de 750 mm, con régimen monzónico.

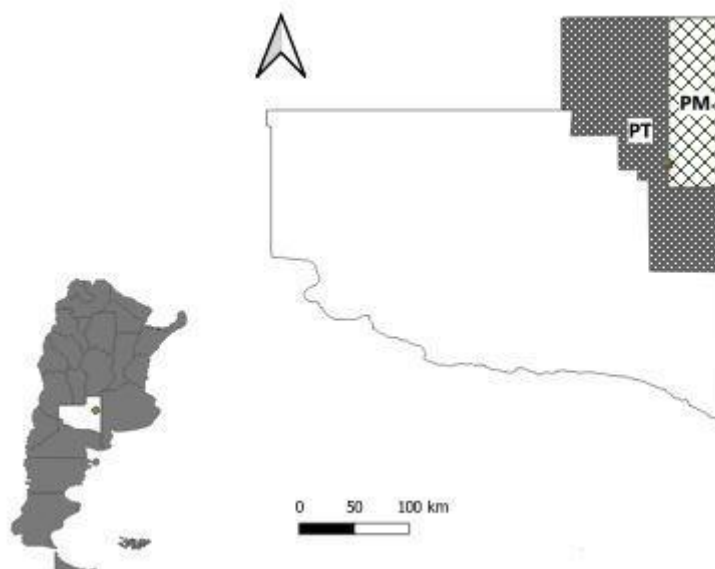


Figura 1: Ubicación geográfica de EEA INTA Anguil, provincia de La Pampa. PM=planicie medanosa, PT= planicie con tosca. Las líneas indican las isohietas.

### *Metodología de trabajo:*

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña 2018-2019 en ambos tipos de suelos (Sitio1= franco y Sitio 2=arenoso). Se utilizó el híbrido de girasol NUSOL 4510 CL AO. En el suelo franco la siembra se realizó en dos fechas, la primera fue el 31/10/2018 (Ftemp) y la segunda

el 28/11/2018 (Ftard) y en el suelo arenoso la siembra se realizó el 31/10/2018 (Ftemp). A cada una le correspondió un tratamiento de fertilización con dosis variable de nitrógeno (urea 46%) y de fósforo (Fosfato monoamónico). Los tratamientos fueron los siguientes: testigo (T1), 0N + 20 kg P (T2), 40 kg N + 20 kg P (T3), 80 kg N + 20 kg P (T4), 120 kg N + 20 kg P (T5) y 160 kg N + 20 kg P (T6). El diseño experimental fue en parcelas subdivididas completamente aleatorizadas donde la parcela principal es la fecha de siembra o el sitio y la subparcela los tratamientos de fertilización, con 3 repeticiones.

#### *Determinaciones edáficas:*

Al inicio del experimento se realizó un muestreo de suelos para la caracterización de los sitios mediante la determinación de fracciones texturales (arcilla, limo y arena) (Bouyoucos, 1962), materia orgánica total (MO) (Walkley y Black), fósforo extractable (P) (Bray y Kurtz), CIC y bases intercambiables (Hendershot y Lalonde, 2007) y pH en una suspensión suelo- agua de 1:2,5. A partir de la diferencia entre CC y PMP se calculó la capacidad de retención de agua útil (CRA) y el cociente entre el porcentaje de MO y A+L se determinó el índice MO/A+L (Quiroga et al., 2006).

Se tomaron muestras de suelos cada 20 cm hasta una profundidad de 200 cm o el manto calcáreo, en distintos estados fenológicos del cultivo (siembra, floración y madurez fisiológica) para determinar humedad actual a través del método gravimétrico. A partir de la diferencia entre el contenido de humedad en CC y el PMP se determinó el agua útil (AU). En los mismos momentos se determinó el contenido de N-NO hasta los 60cm a partir del método del ácido cromotrópico.

### *Determinaciones climáticas*

Durante el periodo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha, se registraron las siguientes variables climáticas: precipitaciones, temperatura (Máxima, Mínima, Media), heliofanía y radiación global. Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 ubicada en la EEA Inta Anguil. Las mismas fueron utilizadas para los cálculos realizados en el trabajo.

### *Determinaciones en el cultivo:*

En el cultivo se realizaron cortes de biomasa de 5 plantas elegidas al azar de cada tratamiento en V7, estrella (R1), floración (R5,5), post-floración (R7) y madurez fisiológica (R9) según la escala de Schneiter and Miller, (1981). En cada corte se fraccionaron las plantas en hoja, tallo y capítulo y se llevó a estufa de 60°C para determinar biomasa seca. En base a la biomasa en cada momento y el tiempo transcurrido para cada etapa se calculó la tasa de crecimiento del cultivo.

Se marcaron 5 plantas en cada tratamiento para evaluar la evolución de área foliar a través del método no destructivo (Aguirrezábal, 1996) en los estados de V7, R1 y floración (R5,5). Al momento de cosecha se calculó el número y peso de mil granos para determinar el rendimiento y contenido de aceite (Método Butt modificado) para evaluar calidad de aceite. Se determinó la eficiencia de uso de agua (EUA) como el cociente entre el rendimiento por unidad de agua consumida, la misma fue calculada por el dato de lluvias y el balance de agua en el suelo del cultivo (López and Arrúe, 1997), y la eficiencia de uso de nitrógeno de fertilizante (EUN) como el cociente entre el incremento de rendimiento y la dosis de N aplicada.

### *Análisis estadístico:*

Los resultados se analizaron a través de análisis de varianza y test de comparación de medias a través del Test de Fisher LSD, ( $p < 0,05$ ) con la utilización del paquete estadístico Infostat, versión 2020 (Di Renzo et al., 2020)

## RESULTADOS

### *Caracterización edáfica e hídrica*

Los sitios se diferenciaron según la textura, la profundidad del perfil, y la fertilidad química del suelo. La capacidad de retención de agua (CRA), asociada a las primeras variables, fue de 177 y 112 mm para el suelo franco y franco arenoso respectivamente (Tabla 1). Si bien el contenido de materia orgánica fue similar en los dos sitios, el contenido de fósforo y de nitratos a la siembra, fue mayor en el suelo franco. La fecha de siembra tardía tuvo menores disponibilidad de nitratos respecto de la siembra temprana.

Tabla 1: Caracterización edáfica de los dos sitios en estudio. Profundidad= profundidad del perfil, MO= materia orgánica, IMO= índice de MO/A+L, P= fósforo, N de nitratos a la siembra (para cada fecha), CRA= capacidad de retención de agua útil.

Sitio	Profundidad cm	Arcilla %	Limo %	Arena %	Textura	MO %	IMO	P ppm	N Ftemp kg ha-1	N FTard	CRA mm
"Arenoso"	180	6	24	70	franco arenoso	1,7	5,8	6,5	33,7		112,3
"Franco"	140	14	34	52	franca	1,6	3,3	11,3	40,0	12	177,4

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones fueron de 359 mm y 323 mm para FTemp y FTard respectivamente. La temperatura media para Ftemp fue de 19,4 °C, con máximas de 27,1 °C y mínimas de 11,7°C y para Ftard la media fue 21,7 °C, con máxima de 29,4 °C y

mínima de 14°C (Tabla 2). Del total de precipitaciones, el 28 % ocurrió durante el periodo crítico en FTemp y el 8% en FTard, considerando como periodo crítico 20 días previo a floración y 10 días después (R2-R6) (Tabla 2).

Tabla 2: Caracterización climática durante el ciclo completo y el periodo crítico del cultivo (-20 + 10 días de floración)

	Ciclo Completo				Periodo Crítico			
	T°min	T°max	RI	PP	T°min	T°max	RI	PP
	°C		Mj m <sup>-2</sup> d <sup>-2</sup>	mm	°C		Mj m <sup>-2</sup> d <sup>-2</sup>	mm
Ftemp	11.7	27.1	22.9	359.0	13.6	30.3	23.0	102.0
Ftard	14.0	29.4	22.2	323.0	14.9	30.7	23.1	28.8

La diferencia en las propiedades edáficas tales como textura, IMO y CRA condicionaron el agua disponible para el cultivo al momento de la siembra, y su disponibilidad durante el resto del ciclo del cultivo, siendo mayor en el suelo franco y sin diferencia entre fechas de siembra (Tabla 3). Hasta floración (R5,5) los tratamientos con menor dosis de N consumieron significativamente menos agua en ambos suelos y sin diferencias entre tratamientos para la fecha tardía. El consumo de agua durante todo el ciclo del cultivo fue mayor en el suelo franco FTemp, seguido por el suelo arenoso y, menor consumo en el suelo franco FTard., para cada situación se presentaron diferencias entre los tratamientos de fertilización, donde el testigo en todos los sitios presentó menor consumo (Tabla 3).

Tabla 3: Determinación del agua útil (AU) a la siembra (si), floración (fl) y madurez fisiológica (mf), las precipitaciones ocurridas de siembra- madurez (PC) y el consumo de agua (UC) para cada fecha de siembra, en cada sitio y tratamiento de fertilización.

Sitio	Fecha siembra	Tratamiento	AUsi	AUfl	AUmf mm	PP	UC
Franco	FTemp	1	97.98 a	34.7 a	18.3 a	359	438.6 c
		2		33.2 a	11.6 abc		445.4 abc
		3		27.3 ab	6.8 abc		450.1 abc
		4		19.9 abc	15.4 ab		441.5 bc
		5		11.1 c	3.5 bc		453.4 ab
		6		12.3 bc	3.5 c		453.5 a
	FTard	1	103.66 a	26.9	81.7 a	323	345.0 b
		2		22.0	54.9 b		371.7 a
		3		23.5	85.8 a		340.9 b
		4		12.5	50.4 b		376.2 a
		5		17.9	61.8 b		364.9 a
		6		14.1	48.6 b		378.0 a
Arenoso	FTemp	1	53.01 b	26.7 a	5.9 a	359	406.1 b
		2		19.0 ab	0.0 b		412.0 a
		3		5.9 bc	0.0 b		412.0 a
		4		8.4 bc	0.0 b		412.0 a
		5		21.7 ab	0.0 b		412.0 a
		6		0.0 c	0.0 b		412.0 a

Las letras indican la diferencia significativa entre cada tratamiento para cada sitio y fecha de siembra ( $p < 0.05$ )

### *Biomasa*

La biomasa del cultivo para las FTemp fue aumentando en los sucesivos estadios fenológicos alcanzando la máxima acumulación en madurez fisiológica (R9) en todos los tratamientos de fertilización. En el suelo Franco toma valores mínimos en V7 (339 kg/ha) y máximos en T6-R9 (12537 kg/ha) y en el suelo Arenoso V7 (368 kg/ha) y T6-R9 (8369 kg/ha) (Figura 2 a y Figura 3). Para FTard la mayor acumulación se alcanza en R7, el mínimo que se obtuvo fue en T1-V7 con 706 kg/ha y el máximo en T6-R7 con 5707 kg/ha. (Figura 2 b).

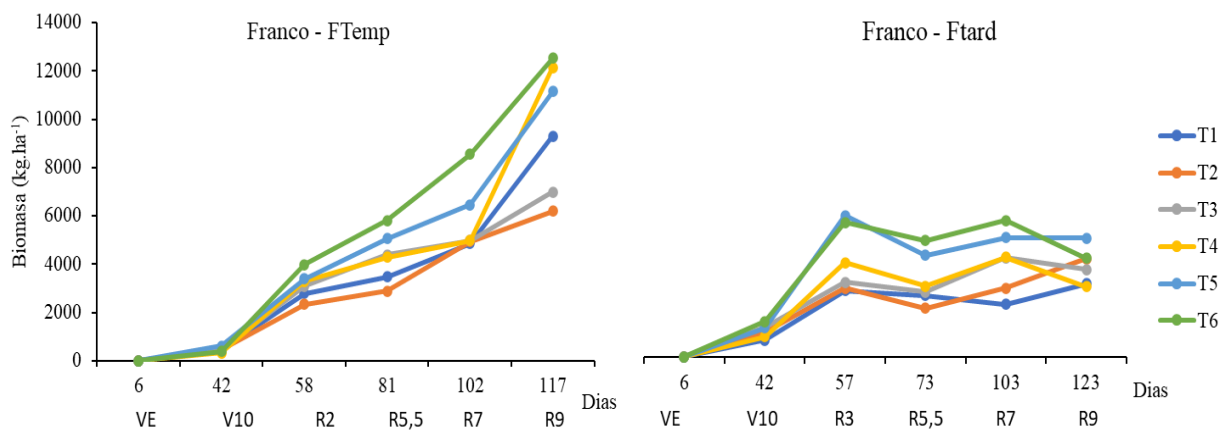


Figura 2: Acumulación de biomasa total a lo largo del ciclo del cultivo para el suelo franco en ambas fechas de siembra para cada tratamiento de fertilización FTemp= temprana Ftard= tardía.

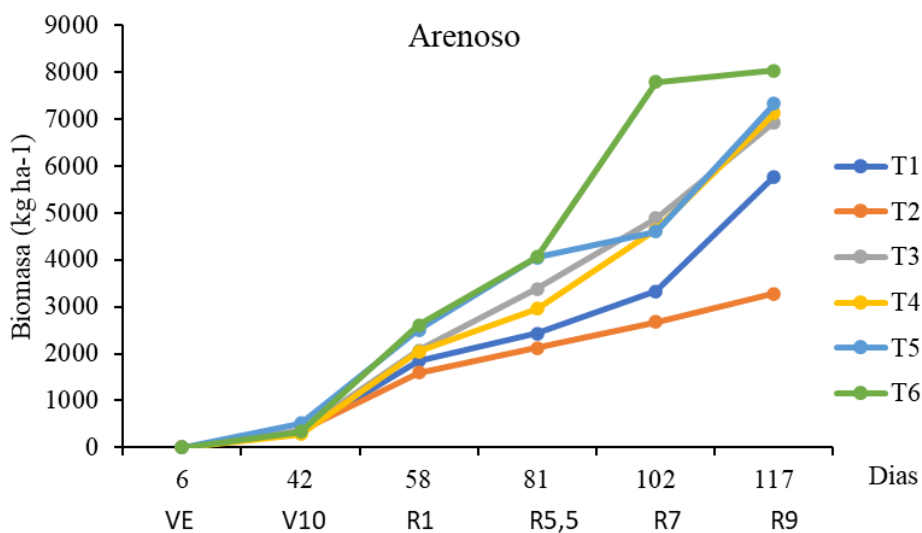


Figura 3: Acumulación de biomasa total a lo largo del ciclo del cultivo para el suelo arenoso para cada tratamiento de fertilización. FTemp= temprana



El cultivo alcanzó la máxima biomasa hasta floración con un IAF de 3,5. La formación de biomasa es función de la tasa de crecimiento del cultivo, las mayores tasas de crecimiento se dieron entre V7 y R2 alcanzando máximos de  $9.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (Figura 4), y a medida que aumenta la oferta de nutrientes para el cultivo la tasa de crecimiento se incrementó.

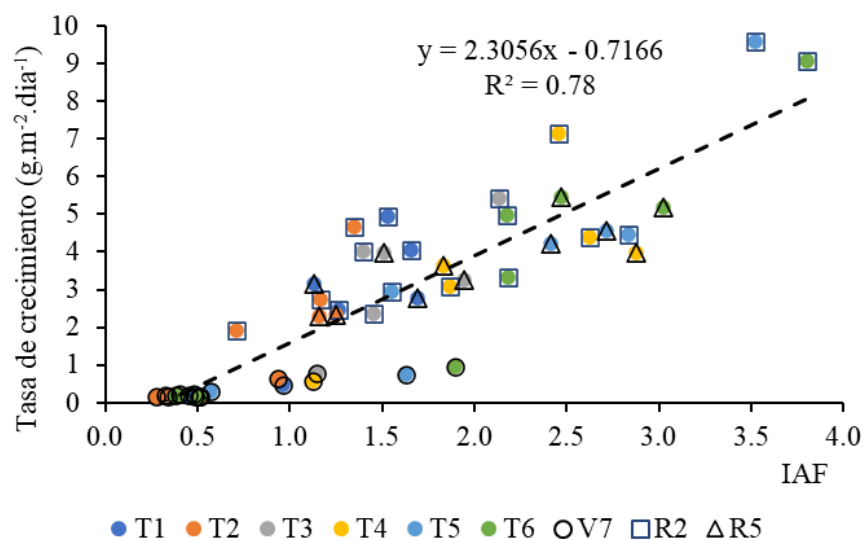


Figura 4: Biomasa total desde emergencia hasta floración en función del índice de área foliar (IAF) para cada tratamiento de fertilización.

### *Rendimiento*

El rendimiento logrado fue significativamente mayor en FTemp ( $2754 \text{ kg ha}^{-1}$ ) respecto de la FTard de  $1969 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabla 5) en el suelo franco. La máxima dosis de N aplicado logró el mayor rinde, pero sin diferencia con el T5. El peso de los granos varió de 39.4 a 49.9 mg y el número de 3726 a 6884 granos. $\text{m}^{-2}$ , ambos componentes aumentan con las dosis de fertilización.

Tabla 4: Rendimiento, peso y número de granos para cada tratamiento de fertilización y fecha de siembra del suelo Franco.

Franco		Rendimiento	Peso granos	Nº granos
		kg ha <sup>-1</sup>	mg grano	granos.m <sup>-2</sup>
<b>Tratamientos</b>	1	1373,7 c	36,6 b	3835,1 b
	2	1670,7 c	41,9 ab	4219,3 b
	3	2737,4 ab	42,3 ab	6579,1 a
	4	2601,7 b	46,0 a	5714,3 a
	5	2894,2 ab	44,4 ab	6608,3 a
	6	3425,7 a	50,0 a	6884,5 a
<b>Fecha</b>	FTemp	2754,3 a	40,9 b	6570,0 a
	FTard	2146,8 b	46,1 a	4710,2 b

Las letras indican diferencia significativa de los factores principales (Tratamientos y Fecha) con un  $p < 0.05$ .

Al comparar entre sitios, en promedio no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento para un  $p < 0,05$ , pero sí entre tratamientos. Los tratamientos 5,6 rindieron más que el resto. No hubo diferencias entre T3 y T4, los que menos rindieron fueron el T1 y T2. (Tabla 5).

Tabla 5: Rendimiento, peso y número de granos para cada tratamiento de fertilización y tipo de suelo.

Ftemp		Rendimiento	Peso granos	Nº granos
		kg ha <sup>-1</sup>	mg grano	granos.m <sup>-2</sup>
<b>Tratamientos</b>	1	1288,1 d	36,5 bc	3655,2 b
	2	1412,8 d	31,3 c	4368,6 b
	3	2475,7 c	41,1 b	6002,1 a
	4	2808,2 bc	43,4 ab	6540,9 a
	5	3165,3 ab	40,8 b	8075,4 a
	6	3634,6 a	49,2 a	7391,2 a
<b>Sitio</b>	Franco	2754,3	41,4	6543,2
	Arenoso	2173,9	39,9	5441,2

Las letras indican diferencia significativa de los factores principales (Tratamientos y Fecha) con un  $p < 0.05$ .

El potencial del lote define un rinde promedio de 1554 kg ha<sup>-1</sup>, la respuesta al agregado de nitrógeno se incrementa en 13kg. kgN<sup>-1</sup> para Ftemp, y en la FTard por encima de 140 kg N. ha<sup>-1</sup> en suelo más fertilizante, no hay respuesta significativa al agregado de N (Figura 5).

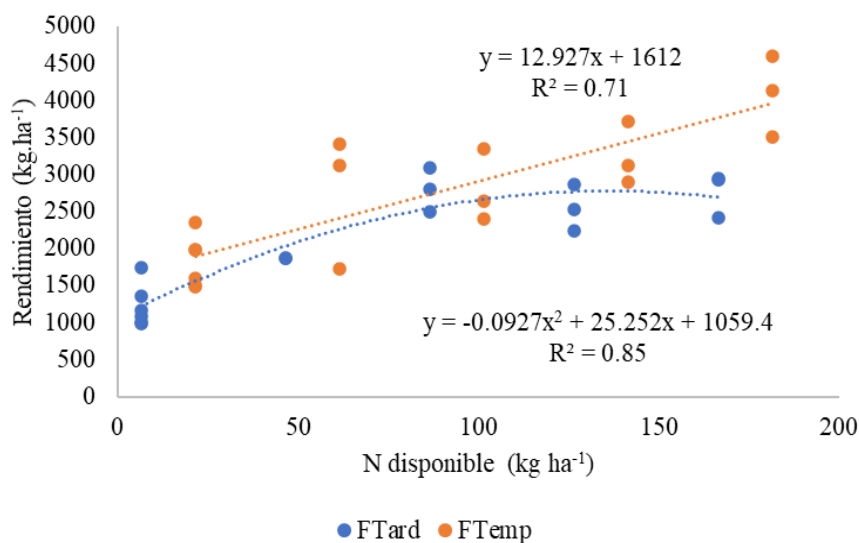


Figura 5: Rendimiento en función del nitrógeno disponible en suelo más fertilizante para cada fecha siembra.

Al comparar los dos sitios la respuesta al agregado de N fue igual, pero tienen distinta ordenada al origen es decir distinto potencial entre sitio. A medida que aumentamos la dosis de nitrógeno tenemos variaciones de un 71% en el rendimiento en el suelo Franco y de un 66% en el Arenoso. Según lo observado en la figura 6, en el suelo arenoso a partir de los 139.7 kg de N no hay diferencia en la respuesta a N, a diferencia de la relación lineal positiva en lo observado en el suelo Franco (Figura 6).

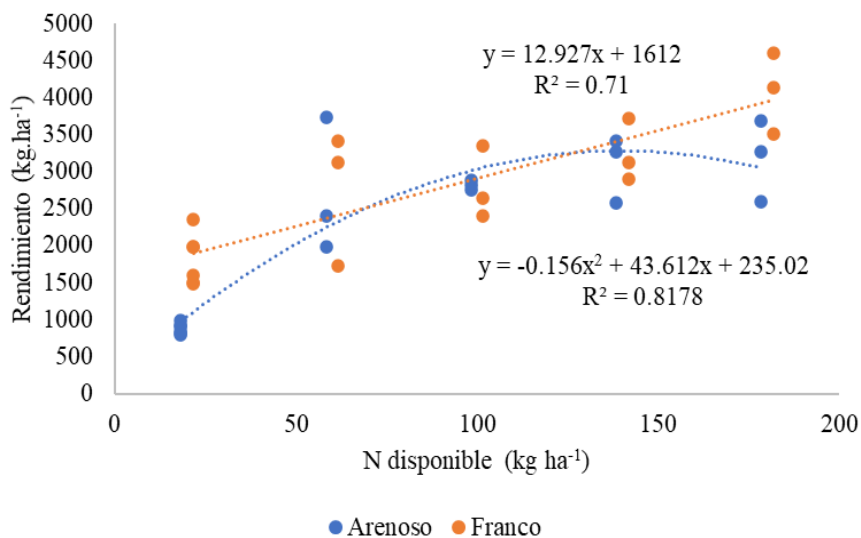


Figura 6: Rendimiento en función del N disponible en suelo más fertilizante para cada sitio (Arenoso y Franco).

La dosis óptima agronómica en promedio de los sitios y fecha de siembra se ubicó en 145 kg N ha<sup>-1</sup> (T5) aunque la mayor eficiencia de uso de N del fertilizante se logró con 20.3 kg N ha<sup>-1</sup> (T3) (Figura 7). En promedio de las fechas de siembra en el suelo franco el T5 no tuvo diferencias con el T3, pero considerando los sitios, el T5 se diferenció del T3 aunque no fue significativa la menor EUN por mayor dosis de N.

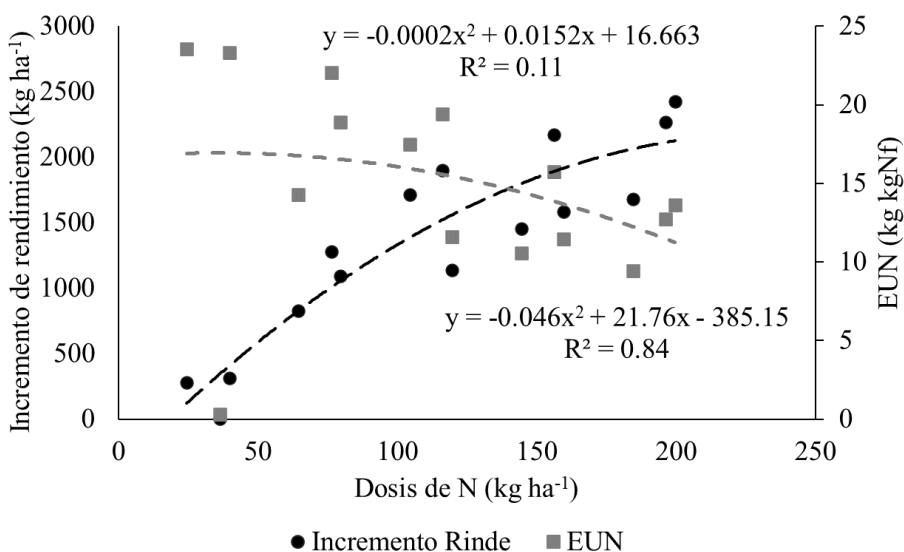


Figura 7: Incremento de rendimiento y eficiencia de uso de nitrógeno de fertilizante para cada dosis de N en suelo más fertilizante.

Cuando se relaciona la EUA con la EUN, en promedio de los sitios y fechas de siembra, a medida que aumenta la EUN, se incrementa la EUA hasta alcanzar un valor óptimo de 7,13  $\text{kg.mm}^{-1}.\text{ha}^{-1}$  con una EUN de 17,2  $\text{kg.kgN}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ , por encima del cual la relación se hace negativa (Figura 8). La mayor EUA se alcanzó con el T6 Ftemp y la mayor EUN en T3 Ftemp.

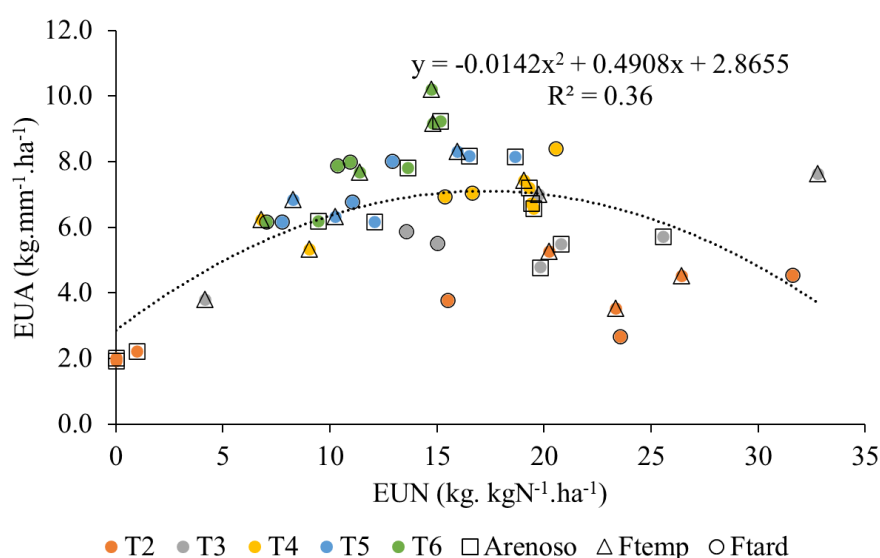


Figura 8: Relación entre la eficiencia de uso de agua (EUA) y la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN). Para cada tratamiento de fertilización y ambiente (Arenoso, Ftemp, Ftard)

### *Aceite*

En cuanto al contenido de aceite en grano, las diferencias se encontraron a nivel de sitio, donde el sitio franco tuvo 3.8% más de aceite que el suelo arenoso en promedio de los tratamientos. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) en las diferentes fechas de siembra del suelo franco y tratamientos de fertilización (Figura 9).

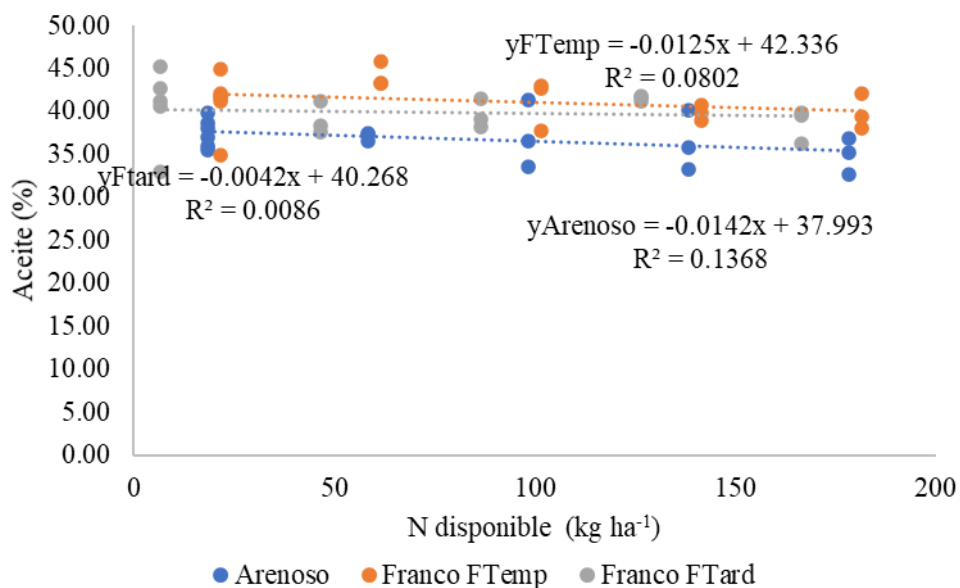


Figura 9: Contenido de aceite en grano en función del N disponible en suelo más fertilizante por los dos sitios y en las dos fechas de siembra del suelo Franco

## DISCUSIÓN

La capacidad de retención de agua fue mayor en el suelo Franco que el Arenoso, habiendo este retenido 65 mm más, lo cual se explica por la diferencia en la composición de la fracción textural (Arena, limo y arcilla), IMO (Tabla 1), ante las mismas precipitaciones (Tabla 2). Estas propiedades edáficas condicionaron el agua disponible para el cultivo al momento de la siembra, y su disponibilidad durante el resto del ciclo (Tabla 3). Coincidiendo con la calidad de los suelos (Quiroga et al., 1998) y productividad de los cultivos (Quiroga et al., 2002b) en las regiones semiáridas resultan dependientes de la magnitud de las precipitaciones y/o de la capacidad de retención y disponibilidad de agua de los suelos, principal determinante de los rendimientos (Johnston et al., 2002). La capacidad de retención de agua de los suelos es una característica más bien estable y es determinada por la composición granulométrica y el espesor del perfil (Fontana et al., 2006).

Las precipitaciones durante el periodo crítico del cultivo en el suelo Franco fueron mayores en la fecha temprana que la tardía, captando 73.2 mm más (Tabla 2). Debido a que al retrasar la fecha de siembra el periodo crítico (PC) del cultivo se desplazó hacia meses de menores precipitaciones, con consecuencias sobre la formación de los componentes de rendimiento (785 kg ha<sup>-1</sup> menos). Las restricciones en el PC tienen efectos sobre el logro en número y peso de los achenios. Se ha comprobado que sequías tempranas (previo a floración) afectan el crecimiento del cultivo condicionando una menor biomasa, área foliar y afectando la eficiencia en el uso de la radiación y, por ende, el rendimiento del cultivo (Andrade et. al. 2002). Por otra parte, sequías tardías (floración y post floración) afectan la actividad fotosintética disminuyendo el número, peso de los achenios y el porcentaje de aceite (Andrade et. al. 2002). La biomasa fue mayor en Ftemp por una mayor duración en días del ciclo, alcanzando los máximos valores entre V7 y R2, con un el IAF de 3.5 (Figura 4) y mayor disponibilidad de agua en el PC, lo que le permitió formar con menos restricciones los componentes de rendimiento, obteniendo mayor número de granos m<sup>-2</sup> y peso de los granos (Tabla 4). Por lo tanto, cambios en la fecha de siembra, modificó el ambiente de desarrollo y crecimiento para el cultivo y afectó su rendimiento potencial, produciendo un acortamiento del período emergencia-floración y un aumento en la tasa de crecimiento del periodo vegetativo. Además, la floración y llenado de granos se producen en días con menor radiación incidente y temperatura (febrero-marzo), condiciones menos favorables para la fotosíntesis por disminuir la fuente de asimilados para la fijación y llenado de granos, por lo que el rendimiento potencial de los cultivos se ve afectado (Trapani et al., 2015). Por cada día que se atrasa la fecha de siembra las pérdidas de rendimiento fueron de 47 kg ha<sup>-1</sup> en condiciones no limitantes de N (T6) similar a lo planteado por Funaro and Fernández, (2005).

La producción de biomasa fue incrementándose a lo largo del ciclo. El mayor aporte externo de nitrógeno favoreció significativamente el aumento de biomasa, con mayor tasa de crecimiento durante todo el ciclo del cultivo, siendo más notorio en los tratamientos de mayor dosis (Figura 4). Los sitios y fechas se diferenciaron en la acumulación de biomasa, la máxima acumulación en fechas tempranas se obtuvo en madurez fisiológica R9, siendo Ftemp la que alcanzó los mayores valores, esto se asoció al mayor potencial del sitio. Y en fecha tardía el máximo se obtuvo en R7 debido a que al retrasar la fecha de siembra aumenta la biomasa hasta floración, debido a que por un lado la duración en días del ciclo se acorta, teniendo menos tiempo para producir biomasa asociado a las altas temperaturas (Tabla 2), y por otro la tasa de crecimiento es mayor y compensa esa menor duración de las etapas con mayor crecimiento (Figura 2) (Chamorro et al., 2008). Contrariamente, la biomasa desde floración a madurez fisiológica, a medida que se atrasó la fecha de siembra disminuyó la biomasa producida, esta etapa en fechas tempranas cae en un periodo con días largos, alta radiación incidente y temperaturas, pero con fechas de siembras tardías ese mismo periodo coincide con los días acortándose y con una menor radiación y temperatura, cambiando el Cociente Fototermal.

Con respecto al rendimiento en función del N disponible  $\text{kg ha}^{-1}$  (N suelo + N fertilizante), el comportamiento en el suelo Franco y para las distintas fechas fue distinto. En Ftard no se encontró respuesta significativa por encima de los  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  a diferencia de Ftemp donde si hay respuesta al agregado de N y se incrementa en  $13 \text{ kg kg N}^{-1}$ . Esto puede explicarse porque al atrasar la fecha de siembra, se modifican las condiciones del ambiente y se afecta el potencial de rendimiento del cultivo. Comparando los sitios, la respuesta al agregado de N fue igual, pero al tener distinto potencial los sitios el comportamiento frente al incremento de dosis fue distinto. Se observó que en el suelo Arenoso a partir de los  $139,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  no se



encontró diferencia en la respuesta, a diferencia del suelo Franco donde hubo respuestas a mayores dosis, posiblemente por las diferencias en la disponibilidad de agua y nitrógeno, relacionadas con distintas granulometrías, IMO y CRA que hay entre los sitios (Funaro, 2007).

En producciones en secano la eficiencia de uso de agua está asociada a las precipitaciones ya que es la única fuente de agua disponible. Por lo tanto, el manejo del agua en el suelo tiene impacto positivo en la EUA (Hatfield et al., 2001). El agua en el suelo condiciona la absorción de N, la co-limitación representa a que la respuesta del crecimiento de la planta a la disponibilidad de un recurso depende de la disponibilidad de otros recursos (Cossani et al., 2010). En este trabajo la mayor EUA se logró con mayores dosis de N (Funaro, 2007), asociado a la mayor biomasa lograda y por lo tanto mayor rendimiento. Por otro lado, la mayor EUN se encontró en T3 (40kgN ha<sup>-1</sup>), la absorción de N está condicionada por la producción de biomasa y la disponibilidad de N en el suelo asociado a la disponibilidad de agua (Kunrath et al., 2020). Consecuentemente en ambientes con restricciones hídricas en algún momento del ciclo del cultivo, buscar el óptimos de uso de agua con las dosis óptimas de N mejora la productividad del cultivo y la sustentabilidad del ambiente.

Las diferencias granulométricas y del IMO, que tienen un rol muy importante en la capacidad de retención de agua en el suelo durante el ciclo del cultivo (Funaro et al., 2008), por lo que mayor disponibilidad de agua durante el periodo post-floración favorece la duración del área foliar verde, capaz de captar radiación, realizar fotosíntesis y contribuir a la transformación y traslocación de aceite al grano (Trapani et al., 2015). Esto explicaría las diferencias en los contenidos de aceite en grano entre los dos sitios evaluados. Generalmente el atraso en la fecha de siembra expone el cultivo a situaciones de menor radiación y temperatura para la acumulación de aceite en grano. En este ensayo no se encontraron diferencias estadísticas en

las diferentes fechas de siembra del suelo franco, ya que no hubo diferencias en radiación y temperatura en el periodo post-floración. El aumento de la dosis de N puede ser contraproducente con la formación de aceite en grano por la competencia proteína/lípidos (Gooding, 2017). Sin embargo, la acumulación de proteína en el grano es constante durante toda la etapa de llenado y el aceite en los primeros días de llenado efectivo ocurre a una baja tasa incrementándose entre los 18 y 35 días post anthesis (favorecido por la radiación, agua y temperatura), produciendo una dilución de la proteína en grano (Diovisalvi et al., 2018), lo que coincide con que el contenido de aceite en grano se mantuvo estable ante aumento del nivel de N por fertilizante (Figura 9).

## CONCLUSIÓN:

La evaluación del comportamiento del cultivo de girasol en cada ambiente, definido por fecha de siembra y tipo de suelo, arrojó como resultado que las propiedades edáficas (textura, la CRA, la disponibilidad de agua en el suelo) y el contenido de nitrógeno del suelo en conjunto condicionaron el potencial productivo. Definir cada ambiente impacta tanto en características productivas del cultivo como en la eficiencia de uso de los recursos. La fecha de siembra y el tipo de suelo definieron las condiciones de temperatura, radiación y disponibilidad de agua para el crecimiento y desarrollo del cultivo, que tuvieron impacto tanto en rendimiento como en la calidad del grano. En función de la disponibilidad de agua y de nutrientes (principalmente N) se pudo estimar dosis óptimas agronómicas para cada ambiente y la mejor relación entre ellos para optimizar la eficiencia de uso de agua y la eficiencia de uso de nitrógeno. Si bien el ambiente lo definen varios factores, queda la posibilidad para futuras investigaciones evaluar el ambiente definido por densidad de siembra y la disponibilidad de micronutrientes en la región semiárida.

## BIBLIOGRAFIA:

Aguirrezábal, L., Orioli, G., Hernández, L., Pereyra, V., Miravé, J.P., 1996. Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Unidad Integrada Balcarce.

Aguirrezábal, L.A.N y Andrade, F.H., 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad Integrada Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias. 315 págs.

Andrade, F.H., Uhart, S.A., Cirilo, A., 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. F. Crop. Res. 32, 17–25

Andrade, F, Gardiol, J.1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N° 132. EEA Balcarce INTA.

Andrade F. H., L. A. N. Aguirrezábal, R. H. Rizzalli. 2002. Determinación del rendimiento en girasol y soja. INTA, IDIA XXI: 102-106.

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, 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>

BCR, 2020. Industrialización y exportaciones de girasol 2019/20 | Bolsa de Comercio de Rosario [WWW Document]. AÑO XXXVII-Nº Ed. 1953. URL <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal-27> (accessed 4.14.22).

Blamey F., D. Edwards y C. Asher. 1987. Nutritional disorders of sunflower. Department of Agriculture, University of Queensland. St. Lucia, Queensland, Australia.

Bono, A; JC Montoya; FJ Babinec. 1999. Fertilización en Girasol. Resultados obtenidos en tres años de estudio. Publicación Técnica N° 48. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” INTA. 28 pp. Bono, A; A Quiroga; C Scianca. 2003. Fertilización Nitrogenada en La Región Semiárida Pampeana. Boletín de Divulgación Técnica N° 77. pp 66-78.

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils1. Agron. J. 54, 464.  
<https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

Chamorro, A., Bezus, R., Rossi, J., Pochelu, M., Span, P., 2008. Siembra de dos híbridos de girasol alto oleico en tres fechas de siembra en La Plata: Fenología, rendimiento y calidad de producto, in: XII Reunion Argentina de Agrometeorología. XII Reunion Argentina de Agrometeorología, Jujuy Argentina, pp. 109–110.

Cossani, M., Slafer, G.A., Savin, R., 2010. Co-limitation of nitrogen and water, and yield and resource-use efficiencies of wheat and barley. Crop Pasture Sci. 61, 844.  
<https://doi.org/10.1071/CP10018>

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Diovisalvi, N., Calvo, N.R., Izquierdo, N., Echeverría, H., Divito, G.A., García, F., 2018. Effects of genotype and nitrogen availability on grain yield and quality in sunflower. Agron. J. 110, 1532–1543. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0435>

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

Fontana et al., 2006 Fontana F., M. Paturlane, M. Saks, A. Quiroga. 2006. Efecto del espesor de suelo sobre las propiedades edáficas y el rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy. Actas en CD

Funaro, D., Fernández, J., 2005. Rendimiento potencial y fechas de siembra para maíz y girasol. Publicación técnica N°61 EEA INTA Anguil.

Funaro, D.O., 2007. Efecto del régimen hídrico y calidad de los suelos sobre el rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada de girasol en la Región Semiárida Pampeana. Tesis Magister. Universidad Nacional del Sur.

Funaro, D., Garay, J.,Rivarola, R., Quiroja, A., 2008. Algunos factores determinantes del rendimiento del girasol en la región semiárida central, in: El Cultivo de Girasol En La Región Semiárida Pampeana. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” INTA, pp. 33–38.

Gooding, M., 2017. The Effects of Growth Environment and Agronomy on Grain Quality, in: Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition. Elsevier Ltd, pp. 493–512. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00018-8>

Hall, A.J., Connor, D.J., Sadras, V.O., 1995. Radiation-use efficiency of sunflower crops: effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. F. Crop. Res. 41, 65–77

Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H., Hatfield, J.L., Sauer, T.J., 2001. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. USDA-ARS / UNL Fac. 1341.

Hendershot y Lalonde, 2007 Hendershot, W; Lalonde, H; Duquette, M. 2007. Ion exchange and exchangeable cations 2 ed. In Carter, MR; Gregorich, EG (eds.). Soil Sampling and Methods of Analysis. Canada, Canadian Society of Soil Science. p. 197-207

Johnston A. M., D. L.. Tanaka, P. R. Miller, S. A. Brandt, D, C. Nielsen, G, P. Lafond, N R. Riveland. 2002. Oilseed Crops for Semiarid Cropping Systems in the Northern Great Plains. 94, 231-240.

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.

MAGyP, 2016. Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Pesca. Estimaciones Agrícolas. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/>

National Sunflower Association, 2022. Sunflower Oil [WWW Document]. 2022. URL <https://www.sunflowernsa.com/oil/> (accessed 4.14.22)

Quiroga et al., 1998 Quiroga A., D. Buschiazzo, N. Peinemann. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. Soil Science 163:591 - 597.

Quiroga A., A. Bono, A. Corro Molas. 2002b. Aspectos nutricionales del girasol en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. INTA, IDIA XXI: 128-134.

Satorre, E.H., Benech, R.L., Slafer, G.A., de la Fuente, E.B., Miralles, D.J., Otegui, M.E., Savin., R., 2012. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo, 2010th ed. Editorial Facultad de agronomía

Schneiter and Miller, (1981) Schneiter, A.A., Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science* 21: 901-903.

Trapani, N., Pereira, M.L., Sadras, V.O., Hall, A.J., 2015. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol, in: *Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, pp. 205–241.