



**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y DEL AMBIENTE SOBRE EL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD PANADERA DE DOS VARIEDADES DE TRIGO EN
LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA**

Alexandra Dillchneider Loza

Trabajo de tesis para optar el Título de

MAGISTER EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN REGIONES SEMIÁRIDAS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa, La Pampa



**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y DEL AMBIENTE SOBRE EL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD PANADERA DE DOS VARIEDADES DE TRIGO EN
LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA**

Alexandra Dillchneider Loza

MSc. Daniel Funaro

Director de Tesis

Dr. Alberto Quiroga

Co-Director de Tesis

Integrantes del comité de tesis

Dr. Diego Riestra

Dra. Romina Fernández



EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y DEL AMBIENTE SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD PANADERA DE DOS VARIEDADES DE TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

Alexandra Dillchneider Loza

Aprobado por:

Dra. Elke Noellemeyer

Dra. Laura Lázaro

MSc. Laura Friguerio



AGRADECIMIENTOS

- A la EEA INTA Anguil por darme el espacio para poder realizar los ensayos experimentales correspondiente a la tesis.
- Al grupo de Suelo y al grupo de Tecnología de cultivo y producción vegetal de la EEA INTA Anguil por permitirme realizar la tesis y el apoyo incondicional en todo momento.
- Al la Facultad de Agronomía de la UNLPam
- A mi familia que me acompañó y apoyó en todo momento para que pueda continuar con mis estudios de posgrado.

INDICE

RESUMEN:	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	2
MATERIALES Y MÉTODOS	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Descripción de los sitios	19
Caracterización climática	19
Caracterización edáfica	20
Variables ecofisiológicas que determinaron rendimiento y calidad en interacción con el ambiente y manejo	24
Acumulación de biomasa y nitrógeno en planta	24
Rendimiento y sus componentes en interacción con el sitio, con el manejo y con las variedades	34
Proteína y la dinámica de acumulación	40
Efecto del manejo de la fertilización sobre la eficiencia de uso de los recursos en relación al sitio y la variedad	43
Eficiencias en el uso del nitrógeno	43
Eficiencia en el uso del fertilizante	52
Eficiencia en el uso del agua	54
Atributos de la calidad panadera de las variedades en respuesta al ambiente y la fertilización	56
CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFIA	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización edáficas de los 7 sitios evaluados.....	21
Tabla 2: Contenido de agua útil (mm) de los sitios a la siembra, floración y cosecha. Oferta hídrica para los cultivos determinada por la suma de agua útil a la siembra más las precipitaciones. UC= uso consuntivo del cultivo.....	24
Tabla 3: Tasa de crecimientos del cultivo de emergencia a macollaje (TCC m), de macollaje a floración (TCC fl), de floración a madurez fisiológica (TCC llg) y la tasa de crecimiento de emergencia a madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio, variedad y tratamiento.....	26
Tabla 4: Biomasa seca de los componentes de la planta en macollaje, floración y cosecha para cada sitio, correspondiente al testigo.....	27
Tabla 5: Biomasa seca de los componentes de la planta en macollaje, floración y cosecha para cada tratamiento de fertilización.....	28
Tabla 6: Biomasa seca de los distintos componentes de la planta en interacción variedad*sitio para macollaje, floración y cosecha.....	29
Tabla 7: Tasa de acumulación de nitrógeno hasta macollaje (TAN m), de macollaje a floración (TAN fl) y en todo el ciclo del cultivo hasta madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio, variedad y tratamiento.....	31
Tabla 8: Rendimiento en kg ha ⁻¹ en interacción sitio*variedad.....	35
Tabla 9: Fuente: destino (F:D llg) como la cantidad de biomasa total acumulada entre floración y madurez fisiológica por grano, y el peso de los granos para cada variedad y con en tratamientos de fertilización (Testigo y 80 kg N.ha ⁻¹ aplicado a la siembra).....	39
Tabla 10: Contenido de proteína de cada sitio con cada tratamiento de fertilización. Testigo, 40S= 40 kg N a la siembra, 80S= 80 kg N a la siembra, 40S+40M= 40 kg N a la siembra más 40 kg N en macollaje, 40M= 40 kg N en macollaje, 80M= 80 kg N en macollaje.....	41
Tabla 11: Nitrógeno a la siembra del cultivo (Nsi), Nitrógeno aportado por mineralización (Nmin) y el aporte total de N (Nsi+Nmin) para cada sitio y para cada tratamiento de fertilización.....	45
Tabla 12: Eficiencia de absorción de N (EAbsN), eficiencia interna (EI) y eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) para cada sitio (datos de testigo), variedad y tratamientos.....	48

Tabla 13: Eficiencia de uso de nitrógeno fisiológica para la Interacción Sitio x Tratamiento de fertilización.....	48
Tabla 14: Nitrógeno (N) absorbido en planta a cosecha, rendimiento (kg ha^{-1}), EUN: eficiencia de uso de nitrógeno ($\text{kg grano kg N aplicado}^{-1}$), ENab: Eficiencia de N absorbido ($\text{kg absorbido kg N aplicado}^{-1}$), EI: eficiencia interna ($\text{kg grano kg absorbido}^{-1}$) y ICN: índice de cosecha de N (%).....	53
Tabla 15: EUA para cada sitio, tratamiento y variedad. EUA= eficiencia de uso de agua: peso de granos/agua consumida por el cultivo.	55
Tabla 16: Promedios de parámetros de calidad de las variedades evaluadas con los tratamientos.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de los sitios experimentales en la planicie con Tosca: El sitio 2 y 3 de la EEA Anguil y 6, 7 de la localidad de Anguil y los pertenecientes a la Planicie Medanosa el sitio 1 de la EEA Anguil y los sitios 4 y 5 de la localidad de Macachín...	13
Figura 2: Distribución de las precipitaciones de la campaña 2017. En los meses de octubre y noviembre se señala el período crítico.	20
Figura 3: Temperaturas máximas y mínimas y radiación incidente diaria ocurridas en el año 2017. En los meses de octubre y noviembre se señala el período crítico	20
Figura 4: A= Biomasa del testigo a cosecha en función del Nitrógeno de Nitratos (N-NO_3^-) presente en el suelo al momento de la siembra. B= Biomasa del testigo a cosecha en función de los contenidos de arcilla+lino (A+L).	22
Figura 5: Capacidad de retención de agua útil (CRA) para los distintos sitios.	22
Figura 6: Análisis de conglomerados realizados a partir de las características edáficas de los sitios. Los números del 1 al 5 indican los sitios, que fueron agrupados según la semejanza de las variables edáficas. FP= franco profundo, AT= arenoso franco con tosca, FT= franco con tosca, AP= arenoso franco profundo.	23
Figura 7: Acumulación de biomasa seca de hoja, tallo y espiga en macollaje, floración y cosecha para el testigo y fertilizado (40S+40M) en los distintos sitios evaluados. FT= franco con tosca, FP= franco profundo, AT= franco arenoso con tosca, AP= franco arenoso profundo.....	25
Figura 8: Biomasa acumulada en espigas en ACA 315 y SY100 entre floración (FI) y madurez fisiológica (Mf) en función de la tasa de crecimiento del cultivo en el mismo período (TCC IIg).....	29

Figura 9: Contenido de nitrógeno (N) en planta entera en macollaje, floración y cosecha en la interacción variedad*sitio. Las letras mayúsculas representan diferencias significativas en hojas+tallos y las letras minúsculas las diferencias en espigas..... 33

Figura 10: Contenido de nitrógeno (N) en planta entera en macollaje, floración y cosecha para los distintos tratamientos de fertilización. Las letras mayúsculas representan diferencias significativas en hojas+tallos y las letras minúsculas las diferencias en espigas. 33

Figura 11: Respuesta de rendimiento para los distintos tratamientos de fertilización. 35

Figura 12: Número de granos y peso de mil granos (PMG) para cada tratamiento de fertilización. Las letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas de número de granos, y las letras minúsculas las diferencias en PMG..... 36

Figura 13: Rendimiento en función de la tasa de crecimiento del cultivo entre emergencia y madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio. 38

Figura 14: Relación entre la tasa de crecimiento de cultivo entre macollaje y floración (TCC pre-fl) y el número de granos (A). Relación entre fuente:destino (F:D) pre floración y el número de granos (B). 38

Figura 15: Relación entre el peso de los granos y la relación fuente: destino en el período de floración a madurez fisiológica (F:D llg) para cada tratamiento de fertilización. 40

Figura 16: Relación entre la biomasa acumulada en espiga entre floración y madurez fisiológica y la relación fuente:destino (F:D llg) en el mismo período para cada variedad evaluada..... 40

Figura 17: Contenido de proteína (%) para la interacción variedad*sitio (AP= franco arenoso profundo, FT= franco con tosca, AT= franco arenoso con tosca y FP= franco profundo). La línea negra representa el 11% de proteína exigido por el estándar de comercialización. 42

Figura 18: Proteína en función de la relación Fuente:destino de nitrógeno para los distintos tratamientos de fertilización para todos los sitios y variedades. La línea punteada indica el 11% de proteína exigido por la base de comercialización. 43

Figura 19: A) N mineralizado en función del contenido de Arcilla mas limo (A+L), B) N mineralizado en función del contenido de materia orgánica (MO). 44

Figura 20: Rendimiento del testigo en los distintos sitios en función del N disponible a la siembra más el nitrógeno aportado por mineralización. 45

Figura 21: Rendimiento de trigo en función del N absorbido en los distintos sitios (AT= arenoso con tosca, AP= arenoso profundo, FT= franco con tosca).....	46
Figura 22: Relación entre la Eficiencia de absorción de N (EAbsN) y el aporte de N del suelo durante el ciclo del cultivo.....	47
Figura 23: Relación entre la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EUN _{fis}) y el aporte de N (N-NO ₃ +Nmin+N fertilizante).	50
Figura 24: A) Contenido de proteína en función de los requerimientos de N para cada sitio. B) relación entre el contenido de proteína y la eficiencia fisiológica en el uso de N (EUN _{fis}) para cada sitio (AT= arenoso con tosca, AP= arenoso profundo, FT= franco con tosca).	51
Figura 25: Relación del contenido de proteína y el rendimiento con el aporte de N (N-NO ₃ + Nmin+ Nfertilizante).	52
Figura 26: A) relación entre el N absorbido y el N del suelo mas fertilizante y B) EUN _{fert} en función del N suelo mas fertilizante para los distintos tratamientos de fertilización.....	54
Figura 27: Respuesta al contenido de proteina en función de la Eficiencia de abosrción del fertilizante (EAbsN _{fert}) para los distintos tratamientos.....	54
Figura 28: Relación entre el contenido de gluten húmedo y contenido de proteína para cada una de las variedades utilizadas.	57
Figura 29: Fuerza Panadera(W)= Mjx10 ⁻⁴ y Gluten húmedo para los tratamientos testigo y 80S.....	58
Figura 30: Relación del contenido de gluten y proteína con la fuerza de la masa (W).	58
Figura 31: Curvas alveográficas: eje Y: P= tenacidad= presión máxima para la deformación (mm de agua); eje X: L= extensibilidad= longitud de la curva (mm de agua). W= fuerza panadera= área de la curva. P/L= relación de la configuración de la curva. A= Testigo B= Fertilizado (80S)	60
Figura 32: Curvas de farinograma: eje Y=UF= unidades farinográficas, eje X= minutos. Est= estabilidad= tiempo entre que la parte superior de la curva alcanza las 500 UF y el punto en el que la parte superior cruza nuevamente la línea de 500 UF. AFLO=aflojamiento= la diferencia de UF entre el centro de la curva de máxima consistencia y el centro de la curva 12 minutos después. (A) Testigo y (B) Fertilizado.	61



Figura 33: Fuerza de la masa (W) y gluten húmedo(%) en los diferentes tratamientos, calculados a partir de las ecuación de las regresiones. 63

Figura 34: Temperatura media y máxima en los días posteriores a antesis. La línea completa marca el límite de 25°C de temperatura moderadamente alta y la línea punteada el límite de 33°C de temperaturas muy altas. 64

RESUMEN:

El trigo es un cereal de gran importancia en la alimentación humana por lo que la valoración en la calidad es proporcional a la producción. No solo se debe pensar en la cantidad de granos que se van a producir sino también en su aptitud para lograr harina de calidad y con un uso eficiente de los recursos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar factores del ambiente y del manejo que determinan la calidad y productividad del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa. Se evaluaron dos variedades de trigo pertenecientes a dos grupos de calidad (GC) diferente (GC 1 y 2), en la planicie con tosca y en la planicie medanosa. Los tratamientos fueron un testigo sin fertilizar, fertilización a la siembra con dos dosis de nitrógeno (N) (40 y 80 kg ha⁻¹), postergada (40 y 80 kg N ha⁻¹) y fraccionada en siembra y macollaje. En cada sitio se realizaron una caracterización inicial de variables edafo-climáticas. En macollaje, espigazón y madurez de cosecha se determinaron humedad edáfica, nitratos en suelo y materia seca total. En madurez, se determinaron los componentes del rendimiento y atributos de calidad panadera. No se encontró interacción variedad-sitio-manejo. Los tratamientos 40S+40M y 80S lograron la mayor tasa de crecimiento, por lo tanto, más biomasa y rendimiento. El contenido de proteína tuvo interacción sitio-manejo. Los sitios diferenciados por su aporte de nutrientes y su calidad edáfica tienen requerimientos de N distintos para lograr un 11% de proteína con el mayor rendimiento, y optimizando la eficiencia en el uso del N. El mayor contenido de N incrementó el contenido de gluten y W. Las variedades no presentaron diferencias entre ellas y su comportamiento estuvo más influenciado por su sitio que por el GC. El sitio y la fertilización influyeron notablemente en la productividad y en la expresión de la calidad.

Palabras claves: atributos de calidad, estrategia de fertilización, proteína.

ABSTRACT

Wheat is a cereal of great importance for human diet, which is why the quality assessment is proportional to production. It is not only important the quantity of grains that are going to be produced, but also the usefulness to obtain quality flour and an efficient use of resources. The objective was to characterize environmental and management factors that determine the quality and productivity of wheat crops in the province of La Pampa. A field trial was carried out during 2017 in seven sites in the semiarid plains of La Pampa, Argentina. Two bread wheat cultivars of different quality groups (QG) (QG 1 and 2) and six nitrogen (N) fertilization treatments were evaluated. The Nitrogen's treatments were: Control; 40 kg N ha⁻¹ at sowing (40S); 40 kg N ha⁻¹ at sowing plus 40 kg N ha⁻¹ deferred (40S + 40D); 80 kg N ha⁻¹ at sowing (80S); 40 kg N ha⁻¹ deferred (40D) and 80 kg N ha⁻¹ deferred (80D). Every site was characterized edaphic and climatically. Aerial dry matter and its N content, soil moisture, nitrates in soil at different stages were calculated. Finally grain yield, yield components and grain quality were determined. Cultivar - site - management interaction was not found. The 40S+40M and 80S treatment achieved the highest growth rate, therefore, more biomass and yield. The protein content had site-management interaction. The site with its different nutrient contributions and soil quality had different N requirements to achieve 11% of protein with the highest yield, and N use efficiency optimized. The highest N content increased the gluten content and W. The cultivars did not show differences among them and their response was more determined by their site than by the QG. The site and fertilization had a notable influence on productivity quality expression.

Key words: quality attributes, fertilization strategies, protein.

INTRODUCCIÓN

El trigo constituye el principal alimento humano seguido por el arroz, la papa, la soja y el maíz. La mayor parte de la producción se obtiene con rendimientos entre 2 y 7 t. ha⁻¹, logrando los mayores rendimientos en Europa. Las características ecológicas que favorecieron la difusión del cultivo de trigo fueron la buena adaptación a la mayoría de los suelos agrícolas del mundo, la amplitud de temperatura óptima para la fotosíntesis y por las distintas características fenológicas de los genotipos con diferentes requerimientos de temperatura, fotoperiodo y vernalización. La importancia del trigo en la dieta se debe a que es una de las principales fuentes de energía alimenticia y de proteína para el consumo humano. El grano de trigo tiene mayor concentración de proteína tanto en grano, en harina como en sus derivados comparados con otros cereales como el arroz, maíz y cebada (Abbate et al., 2017). La campaña triguera 2017/18 se caracterizó por altos rendimientos en granos pero con contenidos de proteína en general bajos, con un promedio de 10% a nivel nacional en las principales zonas productoras de trigo (Trigo Argentino, 2018). El 23 % de la producción se destinó a la exportación y el restante a consumo interno destinando 5,6 M tn ha⁻¹ a la molienda para la obtención de harina de trigo (MAGyP, 2019). Debido a la importancia de la harina en la alimentación humana, el valor de producción es proporcional a la calidad. Por lo tanto, no sólo se debe pensar en la cantidad de granos que se van a producir si no también en su calidad (Fraschina, 2017). La región pampeana pertenece a la Subregión triguera V Sur, que para tal campaña triguera 2017/18, presentó un rendimiento promedio de 2746 kg ha⁻¹ con un 10,7 % de proteína, 24,6 % de gluten, 258 Mj 10⁻⁴ de fuerza de la masa (W) y una relación P/L de 1,22 (Trigo Argentino, 2018). A su vez, cada región presenta brechas entre el rendimiento real y el máximo de referencia para esa región, tal variación en el rendimiento varía entre regiones y dentro de una misma región debido principalmente a la variación de las precipitaciones, cuanto mayores son las precipitaciones el rendimiento se encuentra más limitado por el nivel nutricional de los suelos, mientras que en campañas con déficit hídricos el agua es la principal limitante del rendimiento (Aramburu Merlos y Monzon, 2017).

Los suelos predominantes en la región semiárida pampeana (RSP) son Haplustoles énticos y están diferenciados por los contenidos de materia orgánica, el tamaño de las partículas minerales (Quiroga et al., 1998) y la profundidad efectiva del perfil (Bono et al., 2010b). La provincia de La Pampa comprende suelos de texturas variables (arenoso, arenoso franco, franco arenoso y franco) distribuidos en unidades geomorfológicas de la Planicie con Tosca y la Planicie Medanosas. Las Planicie

Medanosas (PM) poseen suelos profundos, de textura arenosa-franca y por la textura y los bajos contenidos de materia orgánica (MO) tienen baja capacidad de retención de humedad. La Planicie con Tosca (PT) posee suelos de profundidad muy sómera a más de 1,4 m limitados por un manto de tosca de espesor variable. Son suelos de textura franco arenosa a franca donde los contenidos de arena no exceden el 60% y se incrementan las partículas más finas (Fernandez, 1998) respecto a los de la Planicie Medanososa. Los contenidos de materia orgánica (MO) están fuertemente influenciados por las prácticas de manejo de los suelos. Ante un mismo contenido de arcilla más limo (A+L) y para un mismo manejo, la MO varía con la textura del suelo (Quiroga et al., 1998). Los suelos de arenosos con bajos contenidos de A+L, presentan menos contenido de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en comparación con suelos de textura franca (Noellemeyer et al., 2006). Los contenidos de MO son relevantes al momento de evaluar la influencia del uso sobre la sustentabilidad de los sistemas de producción. Con el uso agrícola la degradación está más asociada a la fracción lábil (MO_j) de la MO, por lo que es clave para interpretar cambios en la fertilidad de los suelos (Fernández et al., 2016; Quiroga et al., 2017). La variabilidad de las precipitaciones y la capacidad de retención de agua de los suelos (CRA) condicionan el consumo de los cultivos de la región. El contenido de A+L no solo condiciona la CRA, también tiene influencia sobre otros indicadores edáficos (Quiroga A. et al., 1996). Un indicador utilizado para caracterizar el uso de los suelos es el Índice de MO/A+L (IMO), que refleja la respuesta del crecimiento de las plantas con las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes estableciendo una estrecha relación positiva entre el rendimiento de cultivos tales como cebada (Quiroga et al., 2006) y, girasol (Funaro, 2007) ante aumentos del índice de MO/A+L. Si las disponibilidades hídricas no son limitantes, el rendimiento se asocia en mayor medida al IMO, mientras que cuando las precipitaciones son limitantes, el rendimiento está más asociado a la CRA de los suelos (Álvarez et al., 2005). La mineralización de la MO es una vía de suministro de N muy importante para el suelo que luego será utilizado por el cultivo. Considerar el contenido de nitratos (N-NO) al momento de la siembra más el N potencialmente mineralizable mejora los diagnósticos de fertilización para el cultivo de trigo (Zilio et al., 2017). Los aportes de mineralización están asociados a los contenidos de MO, el carbono orgánico particulado, las prácticas de manejo del suelo y las condiciones ambientales (Reussi Calvo et al., 2013). En la RSP se estableció una contribución del 29% del N total del sistema proveniente de la mineralización (Bono and Roberto, 2007).

En cuanto a las condiciones climáticas de la provincia de La Pampa, las regiones de la PM y PT no se diferencian en las temperaturas del aire, con un gradiente térmico negativo de Este a Oeste de la temperatura del suelo dado por variaciones en los tipos de suelo y el nivel de cobertura, sin embargo, la sección Norte de la Sur se diferencian por el periodo libre de heladas y por temperaturas mínimas más extremas en el Sur (Casagrande, 1998). En cuanto a las condiciones hídricas hay una variación en el sentido NE-SO con una precipitación media anual de 831 mm para ambas regiones en la sección Sur en el periodo 2008-2017 (Belmonte et al., 2017). La disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo está influenciada por las precipitaciones, por la capacidad del suelo para retener el agua (CRA), por el cultivo (ciclo, profundidad efectiva de las raíces), por las prácticas de manejo, la presencia de napa, factores que condicionan la captación de las precipitaciones y la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Quiroga and Studdert, 2014). Si bien todos los factores mencionados influyen en la producción de grano, el peso de cada uno varía entre los sitios con distintas características edafoclimática, por lo que identificar los principales factores y jerarquizarlos es imprescindible para sentar las bases del manejo de agua y optimizar la producción de granos (Quiroga et al., 2010). En la región se presenta un balance hídrico anual negativo, donde la evapotranspiración potencial es mayor que la cantidad de agua de lluvia. La evaporación produce pérdida de 50 al 70% del agua que retorna a la atmósfera sin ser utilizada en el sistema productivo (Romano et al., 2010). Para disminuir las probabilidades de déficit hídrico durante el ciclo, es importante contar con el agua almacenada antes de la siembra, que está relacionado con la eficiencia del barbecho. La textura del suelo y la profundidad efectiva de las raíces condiciona la eficiencia de los barbechos y el nivel de cobertura (Quiroga et al., 2005). El rendimiento del cultivo de trigo para un mismo nivel de cobertura varió con el espesor de suelo y con la textura, lográndose mayores rindes en suelos de textura más fina (Fontana et al., 2006).

Los procesos que regulan la fase de desarrollo de un cultivo son complejos, ya que responden tanto a factores ambientales como genéticos y la interacción entre ambos. Los factores ambientales que más influyen sobre el desarrollo del cultivo de trigo son la temperatura, la vernalización y el fotoperiodo (Miralles et al., 2003). Durante todo el desarrollo del cultivo hay sensibilidad al aumento en la temperatura, ya que se acelera el desarrollo a ser expuestas las plantas a mayor temperatura. En cuanto a la vernalización y el fotoperiodo son responsables de modificar la duración del ciclo de modo tal que la floración ocurra después de los meses con menor temperatura (Slafer

et al., 2015). El crecimiento del cultivo es el resultado de la producción, transporte y acumulación de fotoasimilados y nutrientes. En una primera etapa, el crecimiento es lineal a la fijación de CO₂ correspondiente a la generación de área verde, en una segunda etapa el crecimiento es menos que proporcional y se produce un aumento del peso seco de las espigas, y por último, una tercera etapa correspondiente al período de llenado de granos donde queda definido el peso por grano (Abbate, 2017). La tasa de crecimiento del cultivo resulta del balance entre la fotosíntesis y la respiración. Debido a que la fracción de carbono fijado que se destina a respiración es relativamente constante, aumento en la radiación interceptada incrementa la tasa de crecimiento del cultivo. La radiación interceptada es el resultado de la eficiencia con que la radiación incidente es capturada por el área verde del cultivo, mientras que la biomasa es el resultado de la eficiencia con que la radiación interceptada es utilizada para la producción de materia seca (Abbate, 2017; Cárcova et al., 2015). La cantidad de radiación interceptada depende de la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie (IAF). El IAF es modificado por la temperatura, que acelera la aparición de las hojas y el tamaño, y por la disponibilidad de recursos como el agua y los nutrientes, que son responsable de la expansión foliar (Cárcova et al., 2015). La disponibilidad hídrica, nutricional y la cantidad y actividad de los destinos juegan un papel fundamental en la regulación de la senescencia foliar (Triboi and Triboi-Blondel, 2002). Es importante que el cultivo alcance un IAF que le permita interceptar la mayor radiación disponible al inicio del periodo crítico para la generación del rendimiento. En trigo, al final de este período queda definido el número de granos por unidad de superficie, principal componente del rendimiento. El período crítico coincide con la etapa en que crecen las espigas. El crecimiento de las espigas empieza 20-30 días antes de antesis, cuanto mayor sea la radiación interceptada, mayor será la tasa de crecimiento del cultivo y de las espigas favoreciendo el peso de las espigas y el número de granos, al finalizar la etapa (Abbate, 2017; Fischer, 1985). El número de granos es el componente más afectado cuando el N es limitante debido a la reducción de área foliar y de la eficiencia de conversión de la radiación en materia seca (García and Reussi Calvo, 2014). Por otro lado, durante el periodo de llenado de grano, los granos son el principal destino de los asimilados (Cárcova et al., 2015). El peso de los granos depende de la cantidad de carbohidratos producidos y de la capacidad de los granos para almacenarlos. En condiciones normales la principal fuente de asimilados para el llenado de los granos es la fotosíntesis producida entre floración y madurez fisiológica. Si la fotosíntesis durante el llenado se ve limitada, se estimó que el 30% de peso de los

granos puede ser aportado por removilización por tallos y parte de la espiga. Pero generalmente, a partir del cuaje de los granos no se generan limitaciones en la capacidad fotosintética que pueda afectar al peso de los granos. Por ello se determina que el cultivo de trigo en la etapa de llenado no está limitado fuertemente por fuente (Borrás et al., 2004; Slafer and Savin, 1994). Las variaciones en el peso de los granos están atribuidas a condiciones ambientales que regulan la expresión de la potencialidad del peso de los granos. La temperatura y la disponibilidad nutricional por la manipulación fuente:destino previo a floración afecta el peso potencial de los granos. Calderini et al., (1999b) determinaron que las condiciones de crecimiento pre-floración están asociadas al crecimiento de los carpelos y al peso potencial de los granos. Mientras que en el periodo post-floración, las condiciones de temperatura y disponibilidad hídrica son las que controlan la tasa y la duración del periodo de llenado de los granos (Calderini et al., 1999c; Egli et al., 1981; Gooding, 2017). El número y el peso de los granos definen el rendimiento del cultivo de trigo. De los dos componentes, el número de grano es el que mejor explica las variaciones del rendimiento final, esto se debe a que el crecimiento de los granos post-floración generalmente no experimentan alguna limitación por fuente, por lo que los granos crecen sin una fuerte competencia, por ende a mayor número de grano mayor será el rendimiento (Slafer et al., 2015). La formación de un alto número de granos depende de la tasa de crecimiento alrededor de floración y de que particione gran parte de ese crecimiento a los órganos reproductivos (espigas), el cultivo debe desarrollar suficiente área foliar que intercepte el 90-95% de la radiación incidente. Para lograr esos objetivos se requiere una adecuada disponibilidad de nutrientes. El cultivo necesita una determinada cantidad de nutrientes para lograr producir una tonelada de grano, al momento de floración el cultivo absorbe el 70-75% de N (Divito et al., 2017).

La fertilización nitrogenada tiene una importante influencia en la cantidad y la calidad de proteína lograda en el grano en madurez fisiológica. Durante la fase de llenado de grano la acumulación de N en grano surge en gran medida del balance entre las limitaciones por Fuente:Destino. Sin embargo, muchos autores establecieron que la capacidad de síntesis de proteína en el grano podría estar afectada por los procesos de deposición. A su vez, la tasa de deposición de proteína está limitada por la cantidad de sustratos disponible antes de antesis para la formación de proteína. Por lo tanto, la deposición de proteína en el grano, es un proceso altamente limitado por fuente por los sustratos almacenados antes de antesis para la posterior removilización y/o por la absorción de N del suelo durante el llenado de grano (Triboi and Triboi-Blondel, 2002). La materia orgánica de los suelos (MO) es un reservorio importante de carbono y provee

nutrientes a las plantas y a otros microorganismos. Los nutrientes son fundamentales para el crecimiento de los cultivos, y conocer su dinámica de acumulación, sus requerimientos y el rol en la determinación del rendimiento es clave para lograr producciones altas, eficientes y sostenibles (Abbate and Andrade, 2014). La captación de nutrientes y agua por el cultivo dependen del desarrollo del sistema radical y la profundización de las raíces depende de la textura del suelo, de la especie y del estadio fenológico del cultivo, mientras que la distribución de las raíces depende de la nutrición de las plantas y de la estructura del suelo (Andriani, 2000). La eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), en trigo definida como el rendimiento en grano por unidad de nitrógeno suministrado por el suelo y el fertilizante es baja a pesar que las demandas sean altas, en parte debido a que el mejoramiento no ha seleccionado en base a mejoras en el sistema radical. Esta baja eficiencia puede ser mejorada incrementando la eficiencia de absorción de nitrógeno del suelo o incrementando la eficiencia del N absorbido para producir rendimiento en grano (Palta, 2010). La absorción de nutrientes depende de la demanda por parte del cultivo, de la oferta de nutrientes del suelo y de la disponibilidad hídrica para transportar ese nutriente. En trigo la mayor tasa de acumulación de nutrientes se produce en el período pre-floración cuando la tasa de crecimiento del cultivo es máxima. Hacia el final de ese período la acumulación de N en el cultivo alcanza el 80% del total absorbido hasta madurez. A partir de floración, se produce una removilización del nitrógeno acumulado en prefloración de los distintos órganos hacia los granos (Dreccer et al., 2003). La cantidad de nitrógeno absorbido durante post-antesis puede ser variable dependiendo de la demanda de N por la planta y el estado nutricional hasta antesis. La demanda de N por parte de los granos está involucrada en la regulación del N absorbido por las raíces debido a que la capacidad de absorción es mayor que la cantidad demandada. Se genera una regulación negativa que disminuye el N absorbido por una señal de saciedad mayor que la señal de demanda de N (Triboi and Triboi-Blondel, 2002), tal proceso se rompe cuando la demanda supera a la cantidad de asimilados circundante en el floema. Sin embargo, la baja eficiencia de absorción también está asociada a la baja sincronización entre la disponibilidad de N en el suelo y en el momento en que se genera la mayor demanda de N por parte del cultivo, y el aumento del suministro de fertilizante nitrogenado al momento de la siembra es responsable de la disminución en la eficiencia en la absorción (Palta, 2010). En Argentina, la eficiencia fisiológica del uso de nitrógeno (EUN_{fis}), definida como los kilos de granos producidos por unidad de N absorbido, ronda entre 38 y 42 kg kg N⁻¹; si al cultivo se le suministra menos N la EUN_{fis} aumenta pero siempre a costa de perder

rendimiento o proteína, en cambio si el suministro de N es mayor al óptimo disminuye la EUN_{fis} sin ninguna ventaja comercial (Abbate, 2017). Para mejorar la captura de N es fundamental un crecimiento temprano y vigoroso del canopeo y del sistema radical y de la disponibilidad de agua en el suelo (Cossani et al., 2012; Liao et al., 2006). La inversa de la EUN_{fis} son los requerimientos relativos de N, es decir los kg de N necesarios para lograr una tonelada de grano. Los requerimientos varían en función del rendimiento y el nivel de proteína que se quiere lograr, si bien en general se plantea una relación negativa entre el rendimiento y la cantidad de proteína, esa asociación puede alterarse al aumentar la disponibilidad de N. Por lo que se establece una situación de compromiso entre alta proteína y alta EUN, aunque tal eficiencia puede optimizarse pero no maximizarse ya que su óptimo depende del nivel de proteína buscado (Abbate and Andrade, 2014; Gooding, 2017). La cantidad de asimilados nitrogenados disponibles a nivel de grano son usados principalmente para la síntesis de proteína que es almacenada en el endosperma de los granos, al igual que los asimilados carbonados para la formación de almidón. La acumulación de asimilados depende tanto de la tasa como de la duración del período de llenado de granos. Tales mecanismos son regulados por las propiedades intrínsecas del grano, (el metabolismo del N y la demanda de N de los granos), de la capacidad de la planta para la absorción de N por las raíces y la posterior senescencia de las hojas y producción de asimilados; y por último por la relación entre el sistema fuente:destino (Triboi and Triboi-Blondel, 2002). Estudios de varios cultivares en Barcarse mostraron marcadas diferencias en la EUN_{fis} pero no en el índice de cosecha de N (ICN) (Abbate, 2017).

La nutrición del cultivo, y su manejo a través de la fertilización, constituye uno de los principales recursos que limitan la producción de trigo en muchas regiones del mundo. Las buenas prácticas de aplicación de fertilizante involucra cuatro requisitos: la dosis correcta de nutriente, la fuente adecuada, la forma y momentos correctos (Garcia and Reussi Calvo, 2014). La aplicación de la dosis correcta involucra la evaluación de los niveles de N previo a la siembra, el manejo del lote, las precipitaciones en cantidad y frecuencia, el rendimiento y nivel de proteína objetivo. Para ajustar la disponibilidad de N que provee el suelo Calvo Reussi et al., (2013) plantean incorporar la determinación del N potencialmente mineralizable como N anaeróbico (Nan), que mejora en un 41% la explicación del rendimiento en cultivos sin fertilizantes, evitando así subestimaciones de N en situaciones de bajo Nan o sobrestimaciones en ambientes con alto Nan. Por otra parte, la eficiencia de uso del N del fertilizante (EUN_{fert}) depende de la fuente, el método y el momento de aplicación. La incorporación del fertilizante al suelo mejora la EUN_{fert}

en comparación con aplicaciones al voleo, y en cuanto al momento los requerimientos de N son mayores a partir de fin de macollaje por lo que los nutrientes ya tienen que estar disponibles para tal momento. Las precipitaciones modulan el momento de fertilización. Con baja probabilidad de precipitaciones en el momento de macollaje, las fertilizaciones a la siembra logran mayor o igual EUN_{fert} que una fertilización particionada. En cambio, si las precipitaciones acompañan en el período de macollaje del cultivo, se han determinado que aplicaciones diferidas pueden presentar mayor EUN_{fert} influyendo en mayores rendimientos y menores pérdidas de N que con aplicaciones únicamente a la siembra. Esto se debe a que si hay excesos hídricos con más de 80 mm en el mes de septiembre las aplicaciones en la siembra incrementan el riesgo de pérdidas por lavado por los bajos requerimientos de N del trigo en los primeros estadios (García and Reussi Calvo, 2014; Loewy, 1990; Reussi Calvo and Echeverría, 2006). Las fertilizaciones tardías incrementan el contenido de N en planta pero disminuye el ICN por ende deja más N en el rastrojo, aumenta la absorción de nutriente pero disminuye la EUN (Rasmussen et al., 2015). Si el nivel de N en el suelo es bajo, la fertilización nitrogenada influye principalmente en el rendimiento y mantiene o baja la concentración de proteína en el grano. Si las disponibilidades de N son medias el incremento en el N mejoran tanto el rendimiento como la proteína. En cambio, si hay alta cantidad de N las fertilizaciones inciden sólo en el incremento del contenido de proteína (Brach, 2012; García and Reussi Calvo, 2014). Esto se debe a que ante sucesivos incrementos en la disponibilidad de N el rendimiento se satura antes que el nivel de proteína (Gooding, 2017). Como las fertilizaciones nitrogenadas a la siembra tienden a ser muy elevadas para mejorar el rendimiento y la proteína, se hace más eficientes aplicaciones fraccionadas. Fertilizaciones tardías en hoja bandera, están asociadas al incremento de contenido de proteína en grano, pero tal respuesta depende de la interacción del cultivo con el ambiente, dependiendo de la fertilidad del suelo, el rendimiento alcanzado y las condiciones ambientales durante el llenado (Frolla et al., 2017).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) definida como los kilos de granos producidos por unidad de milímetros de agua, depende de las propiedades edáficas que capturan y almacenan el agua proveniente de las precipitaciones y de la disponibilidad de N en el suelo. A mayor cantidad de agua disponible se incrementa la producción de biomasa aérea y por lo tanto la EUA (Quiroga and Studdert, 2014). En estos sistemas además de presentar bajas precipitaciones los suelos tienen baja capacidad de retención de

agua por la textura y la profundidad del perfil. Además, son suelos con baja disponibilidad de N asociado a los bajos contenidos de MO, y lo que actualmente agrava más aún más la situación es el bajo uso de fertilizantes en zonas más marginales (Grasso and González, 2018). En estos ambientes las diferencias entre el rendimiento potencial y el alcanzable se debe al grado de co-limitación entre la EUA y la disponibilidad de N (Sadras, 2004), existiendo también limitaciones con otros nutrientes tales como el S (Barraco et al., 2009; Salvagiotti et al., 2009), P y K (Duncan et al., 2018). Quiroga et al., (2007) encontraron que, en suelos de la RSP con baja capacidad de retención de agua debido a la textura arenosa, el aporte de la fertilización nitrogenada incrementó un 47% la EUA.

La calidad se define como los atributos de los granos que son valorados objetiva y subjetivamente dependiendo del destino final del producto. Cuando nos referimos a la calidad harinera una de las principales características a la que se hace referencia es la cantidad de proteína, a la composición de esas proteínas y la presencia de ciertos alelos beneficiosos para la formación de una masa con propiedades que permita un producto final de alta calidad (Larroque, 2010; Savin. and Sorlino, 2015). Las proteínas del gluten abarcan cerca del 80% de las proteínas de los granos. El gluten está conformado por gliadinas y gluteninas las que se diferencian entre sí por su solubilidad. Las gliadinas son proteínas monoméricas, que están relacionadas con la viscosidad intrínseca y con la extensibilidad que le confiere a la masa. Las gluteninas son estructuras poliméricas unidas por uniones disulfuro, responsable de la elasticidad de la masa (Larroque, 2010). El mayor grado de polimerización ocurre en la mitad del llenado de grano coincidiendo con la etapa de desecación del grano. Los que factores ambientales como la fertilización, la temperatura y la disponibilidad de agua afectan la composición y polimerización de las proteínas del gluten (Alzueta, 2008; Calderini et al., 1999b; Savin, 2010; Wardlaw et al., 2002). La presencia de enfermedades también son agentes modificadores de la calidad potencial (Serrago et al., 2010).

Hay una necesidad creciente de tener consistencia y certidumbre en la calidad de trigo por parte de la industria, para evitar cambios en los procesos industriales; y por parte de los exportadores para conocer y mantener la calidad que le permita mejorar precios y obtener más mercados (Otamendi, 2004). Para clasificar los cultivares, la ex Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) estableció la formación de un índice de calidad (ICT) para el sistema de clasificación de Variedades de trigo (Miranda and Salomón, 2001) que no fue aprobado oficialmente. Este índice se

calcula por la suma ponderada del peso hectolítrico, proteína en grano, el porcentaje de gluten húmedo, relación de rendimiento de harina/ceniza del grano, fuerza farinográfica y volumen de pan (Abbate et al., 2010). Actualmente, el comité de cereales de invierno (CONASE) del Instituto Nacional de Semilla (INASE) utiliza el IC para categorizar cada nueva variedad en uno de los tres Grupos de calidad (GC) (INASE, 2019) en comparación con cultivares de referencia. El GC 1 corresponde a trigos correctores aptos para panificación industrial, el GC 2 para panificación tradicional con fermentaciones de más de 8 horas y el GC 3 incluye trigo para panificación directa con menos de 8 horas de fermentación. Abbate et al., (2010) a partir del análisis de las variedades por el ICT, reportaron que el efecto de la localidad y el año fueron más importantes que el efecto del cultivar y la interacción localidad-año pueden tener un efecto marcado en la calidad molinera, comercial e industrial. Por lo tanto la clasificación por GC no es estable entre localidades y la clasificación de la calidad cambia con la localidad y con el año (Abbate et al., 2010). A su vez, no hay relación entre la calidad de gluten y la calidad genética expresada en los grupos de calidad (Cuniberti and Mir, 2012). Esto deriva en que un trigo clasificado como de alta calidad podría tener una calidad menor en función del ambiente explorado o viceversa (Alzueta, 2008). La calidad finalmente lograda en cada zona depende de las condiciones de manejo, especialmente de las estrategias de fertilización nitrogenada. Bajo estas condiciones los trigos presentan distintos contenidos de proteína debido al nivel de eficiencia de uso de nitrógeno dependiendo de la performance de rendimiento de cada variedad (Cuniberti and Mir, 2016). La proteína es utilizada como un estimador rápido, aproximado, pero no exacto de la calidad y positivamente relacionada con el contenido de gluten, pero tal relación varía con el año, el cultivar y la localidad. La cantidad de proteína y gluten no siempre están asociadas a la calidad ya que pueden o no relacionarse con parámetros como la fuerza de la masa (W) por la influencia de la genética en la calidad (Cuniberti and Mir, 2012). De los componentes de W , el valor P está relacionado con la tenacidad de la masa y el L con la extensibilidad. La fertilización nitrogenada afecta ambos parámetros con mayor influencia en la extensibilidad (L), y como consecuencia disminuye la relación P/L por lo que se logra una masa más equilibrada (Fuertes-mendizábal et al., 2010). La variedad, el manejo y la localidad tienen distinto efecto sobre el rendimiento y la calidad del grano. El rendimiento está mayormente influenciado por el efecto del ambiente, en cambio, la calidad está más asociada a efectos de las prácticas de manejo y el genotipo (Studnicki et al., 2016).

Hipótesis:

1. Las características del ambiente edafo-climático inciden sobre la expresión del potencial genético de las variedades.
2. Existe una relación inversa entre el rendimiento y la calidad industrial de trigo que puede ser modificada mediante el aporte de nutrientes. Con concentraciones adecuadas de fósforo y sin limitantes hídricas severas, a mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo mejora la calidad panadera.
3. Suelos diferenciados en la capacidad de retención de agua y en el aporte de N condicionan los momentos de aplicación de fertilizantes nitrogenados para definir rendimiento y calidad.

Objetivo General: Caracterizar factores del ambiente y del manejo que determinan la calidad y productividad del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa

Objetivos Específicos:

1. Evaluar la interacción ambiente-manejo del cultivo para la determinación de la calidad y productividad.
2. Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad, el rendimiento del cultivo y la productividad física del agua en diferentes ambientes.
3. Determinar la expresión genotípica en calidad del grano en respuesta a la fertilización nitrogenada y al ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 7 ensayos a campo en sitios distribuidos en las Unidades Geomorfológicas de las Planicies con Tosca y Planicie Medanososa de la Provincia de La Pampa.

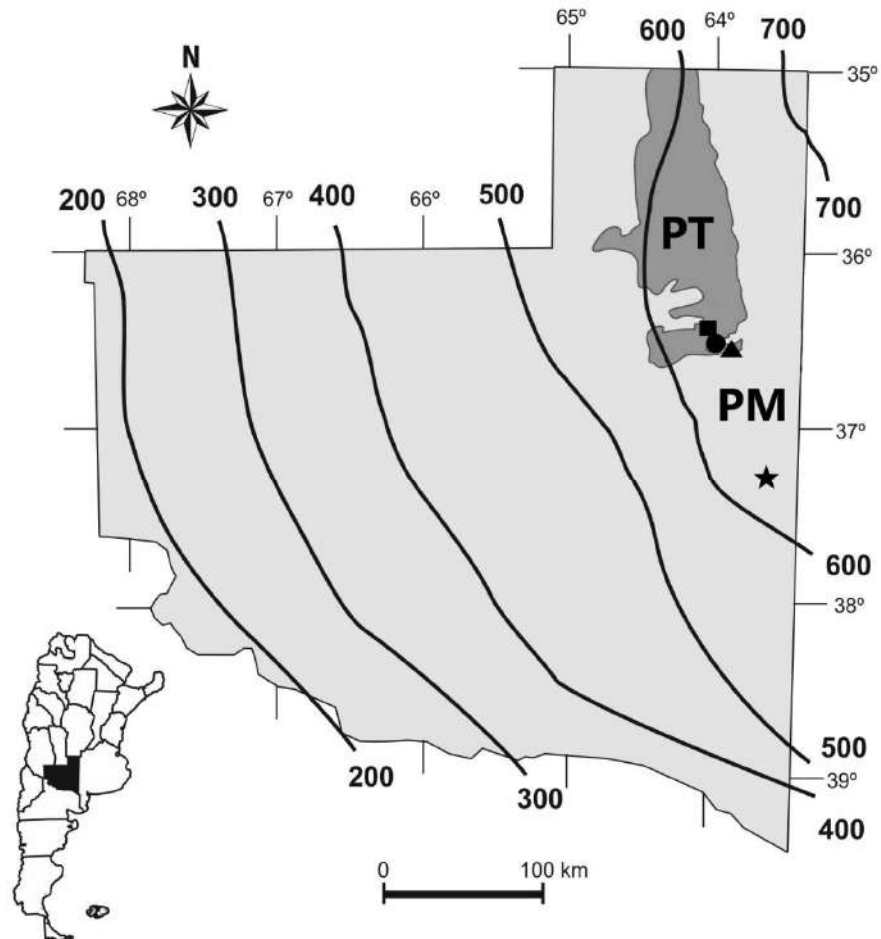


Figura 1: Localización de los sitios experimentales en la planicie con Tosca: El sitio 2 y 3 (▲) de la EEA Anguil y 6, 7 (■) de la localidad de Anguil y los pertenecientes a la Planicie Medanososa el sitio 1 (●) de la EEA Anguil y los sitios 4 y 5 (★) de la localidad de Macachín.

Se eligieron dos variedades de trigo de grupo de calidad contrastante: uno apto para panificación industrial (ACA 315, GC 1) y otro para panificación tradicional (SY 100, GC 2) de ciclo intermedio. Los cultivares fueron seleccionados a partir de la base de datos de la evaluación de cultivares de INTA y de los cultivares más utilizados por los

productores del área de estudio. Se realizaron ensayos de fertilización con ambas variedades con aplicación de 40 y 80 kg N ha⁻¹ a la siembra y aplicación postergada de 40 y 80 kg N ha⁻¹ entre Z 2.9 y Z 3.0 (fin de macollaje- inicio elongación de tallo) utilizando como fuente Urea (46% N). Los tratamientos fueron:(1) Testigo ; (2) Fertilización a la siembra 40 kg N ha⁻¹ (40S); (3) Fertilización a la siembra 40 kg N ha⁻¹ y postergada 40 kg N ha⁻¹(40S+40M); (4) Fertilización a la siembra 80 kg N ha⁻¹(80S); (5) Fertilización postergada 40 kg N ha⁻¹(40M) y (6) Fertilización postergada 80 kg N ha⁻¹(80M). Se corrigieron las deficiencias de fósforo con superfosfato triple para que no sea una limitante en el cultivo, y se realizaron controles de enfermedades foliares de mancha amarilla (*Dreschlera tritici repentis*) y roya amarilla (*Puccinia striiformis f. sp. trititci*) con la aplicación de 0,5 l ha⁻¹ de fungicida Amistral X en Z4.1. El diseño experimental fue en parcelas sub-sub-divididas completamente aleatorizado con 4 repeticiones donde el factor principal (A) fue el sitio, el factor secundario (B) la variedad y el tercer factor (C) los distintos tratamientos de fertilización. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 m².

		SY 100						ACA 315					
10 m		40S+40M 19	40M 20	80M 21	TESTIGO 22	40S 23	80S 24	40S+40M 19	40M 20	80M 21	TESTIGO 22	40S 23	80S 24
10 m		40M 13	80M 14	TESTIGO 15	40S 16	80S 17	40S+40M 18	40M 13	80M 14	TESTIGO 15	40S 16	80S 17	40S+40M 18
10 m		80M 7	TESTIGO 8	40S 9	80S 10	40S+40M 11	40M 12	80M 7	TESTIGO 8	40S 9	80S 10	40S+40M 11	40M 12
10 m		TESTIGO 1	40S 2	80S 3	40S+40M 4	40M 5	80M 6	TESTIGO 1	40S 2	80S 3	40S+40M 4	40M 5	80M 6
		5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m

Figura 2: Diseño experimental donde la sub parcela principal es la variedad y las sub - subparcelas los tratamientos de fertilización. Se estableció el mismo diseño en todos los sitios (parcela principal).

Objetivo 1: Evaluar la interacción ambiente-manejo para la determinación de la calidad y productividad.

Para la caracterización del ambiente, en cada sitio se determinó el espesor de suelo (cm) y al momento de la siembra, se tomaron tres submuestras compuestas de suelo a 20 cm de profundidad para la determinación de propiedades edáficas. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas por 2 mm. Se determinó textura

(Bouyoucos, 1962), fósforo disponible (Bray-Kurtz), materia orgánica total (Skjemstad y Baldock, 2006) y pH en una suspensión suelo- agua de 1:2,5. Con el fraccionamiento de la materia orgánica, se determinó el contenido de carbono total de la fracción $>54 \mu\text{m}$ del suelo por combustión seca (LECO TruspecTM) que fue considerado como carbono orgánico joven (CO). El CO se convirtió en materia orgánica (MO) utilizando el factor de conversión de 1,724 (Skjemstad y Baldock, 2006). 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 determinó el contenido de N-nitratos (método del ácido cromotrópico) del suelo a 0-60 cm de profundidad al momento de la siembra, en macollaje y a cosecha.

Para evaluar la dinámica hídrica se analizó la cantidad y distribución de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de trigo (junio- diciembre) a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica de EEA INTA Anguil y los de la Cooperativa de Macachín. Se analizaron los déficits hídricos, por su distribución, probabilidad y tamaño de los eventos (Scian, 2002) y (Monzón et al., 2006). Se registraron las variables climáticas: temperatura media mensual, temperatura mínima y máxima diaria, radiación incidente diaria (Mj/día).

Objetivo 2: Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad, el rendimiento del cultivo y la productividad física del agua en diferentes ambientes

En cada sitio experimental al momento de la siembra, floración y madurez fisiológica se determinó el contenido de agua total en el suelo en intervalos de 20 cm de profundidad (método gravimétrico) hasta la presencia del manto calcáreo o hasta los 200 cm de profundidad si el suelo no presentó dicha limitante. Con esa información se calculó el agua útil del perfil (AU) descontando el contenido hídrico al PMP. El uso consuntivo (UC) se determinó a partir de la diferencia entre el agua total durante el ciclo del cultivo (agua a la siembra más precipitaciones) y el agua en el suelo a cosecha (López y Arrúe, 1997) y luego se calculó la eficiencia del uso del agua (EUA) (Fernandez et al., 2008).

En macollaje (Z 2.9), floración (Z 6.0) y madurez fisiológica (Z 9.0) se realizaron cortes de una superficie de $0,35 \text{ m}^2$ de toda la parte aérea de las plantas para calcular la biomasa seca aérea identificando sus componentes hojas, tallos y espigas. Se calcularon las tasas de crecimiento del cultivo de emergencia a madurez fisiológica (TCCmf), de emergencia a macollaje (TCCm), de macollaje a floración (TCCfl) y de

floración a madurez fisiológica (TCCllg) como el cociente entre la biomasa acumulada entre cada etapa y el tiempo en días transcurrido en cada etapa. Se determinó el contenido de nitrógeno del material vegetal de cada componente a través de los espectros de Infrarrojo Cercano (NIRS) para evaluar la dinámica de absorción del nitrógeno en el ciclo del cultivo y la tasa de acumulación de nitrógeno de emergencia a madurez fisiológica (TANmf), de emergencia a macollaje (TANm) y de macollaje (m) a floración (fl). A madurez fisiológica se evaluó el rendimiento en grano mediante cosecha manual de 1,05 m² y se llevó a humedad de 13,5% y se determinaron los componentes de rendimiento (número y peso de mil granos). El contenido de proteína en grano, con humedad base de 13,5%, se determinó mediante tecnología NIRS (equipo FOSS DS-2500). El peso hectolítrico (PH) se determinó con el método Delver. Se calcularon las relaciones fuente/destino pre floración (F:D pre floración) como la relación entre biomasa acumulada a floración y el número de granos y la relación fuente:destino post floración (F:D llg) como el cociente entre la biomasa acumulada entre floración y madurez fisiológica y el número de granos. Esta relación fue utilizada para estimar los fotoasimilados disponibles por cada grano. Mientras que para estimar el N disponible por cada grano se calculó la relación fuente/destino de N (F:D N) como la relación entre el N absorbido hasta floración y el número de granos.

Se determinaron variables de eficiencia del uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EUN_{fis}), eficiencia de absorción (EAbsN) y el Índice de cosecha de Nitrógeno (ICN).

Las eficiencias fueron calculadas como:

$$EUN = \frac{\text{Rendimiento}}{N_{\text{suelo}} + N_{\text{min}} + N_{\text{fertilizante}}}$$

$$EUN_{\text{fis}} = \frac{\text{Rendimiento}}{N_{\text{absorbido}}}$$

$$EAbsN = \frac{N_{\text{absorbido}}}{N_{\text{suelo}} + N_{\text{min}} + N_{\text{fertilizante}}}$$

$$ICN = \frac{N_{\text{grano}}}{N_{\text{absorbido}}}$$

Donde Rendimiento es el peso seco de los granos en kg ha⁻¹; N suelo es el nitrógeno de nitratos disponible al momento de la siembra, el N min es el nitrógeno mineralizado

durante todo el ciclo del cultivo y el N fertilizante es el N aportado en cada momento de fertilización. El N absorbido es el N en planta en madurez fisiológica.

Los requerimientos de N para producir una tonelada de granos se calcularon como la inversa de la EUN_{fis} .

Se determinó el N proveniente de la mineralización como:

$$N_{min} = (N_{pl} + N_{suelo})mf - N_{siembra}$$

Donde N_{pl} es el N absorbido en planta y N_{suelo} es el N- NO_3 en madurez fisiológica y $N_{siembra}$ es el N- NO_3 disponible al momento de la siembra.

El Aporte total de N durante el ciclo del cultivo es la suma del N mineralizado, N disponible a la siembra y el N agregado por el fertilizante.

Por otro lado, se evaluó la Eficiencia en el uso de fertilizante calculada como:

$$EUN_{fert} = \frac{(R_{fert} - R_{test})}{N_{aplicado}}$$

Donde R_{fert} es el rendimiento del tratamiento fertilizado; R_{test} el rendimiento del testigo; y $N_{aplicado}$ el N agregado como fertilizante.

La E_{AbsN} del fertilizante fue calculada como:

$$E_{AbsN} \text{ fert} = \frac{(N_{absorbido \text{ fert}} - N_{absorbido \text{ test}})}{N_{aplicado}}$$

La Eficiencia interna se calculó como:

$$EI = \frac{(R_{fert} - R_{test})}{N_{absorbido \text{ fert}} - N_{absorbido \text{ test}}}$$

Objetivo 3: Determinar la expresión genotípica en calidad del grano en respuesta a la fertilización nitrogenada y al ambiente.

Para establecer el efecto de la fertilización nitrogenada y del ambiente sobre la calidad panadera de granos de trigo se utilizaron los tratamientos testigo y máxima fertilización a la siembra (80 kg N ha⁻¹) solamente. Los granos se molieron con un molino experimental Buhler 202 D (Buhler, Suiza), y se midieron los siguientes parámetros de calidad: la relación molinera se calculó como el cociente entre el

rendimiento de la harina (Norma IRAM 15854, 2012) y el contenido de ceniza de la muestra (IRAM 15.851:2009). El gluten húmedo se determinó con equipo Glutomatic (Perten, Hagersten, Suecia), gluten seco con Glutork 2500, índice de gluten ((Peso gluten húmedo-gluten que pasa el tamiz)/peso gluten húmedo). La fuerza panadera (W) y relación tenacidad/extensibilidad (P/L) se determinaron con un alveógrafo Modelo MA 95 (Chopin Technology, Bolugne, Francia) según la Norma IRAM 15857 (1995). La absorción de agua (AA), tiempo de desarrollo (TD), estabilidad (EST) y aflojamiento (AFLO) se cuantificó con el farinógrafo modelo: Farinigraph E (Brabender, Duisburgo, Alemania) según la Norma IRAM 15855, 2000. La panificación se realizó siguiendo la Norma IRAM 15858-1 (1996), se registró el volumen de pan (VOL) y se pesó para calcular el peso específico (Ve). A partir de la suma ponderada de las siguientes variables: peso hectolítrico, porcentaje de proteína en grano, porcentaje de gluten húmedo, relación molinera, fuerza de la masa, estabilidad farinográfica y el volumen de pan se calculó el Índice de Calidad de Trigo (ICT) (Miranda y Salomón, 2001). Las determinaciones reológicas de la harina se realizaron en la Chacra Experimental Integrada Barrow, Provincia Buenos Aires.

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias mediante el test LSD Fisher ($p < 0,05$) para las variables respuestas: contenido de agua útil, TCC, biomasa, contenido de N en planta, TAN, rendimiento y sus componentes, proteína y las variables de eficiencia de uso de nitrógeno, de agua y de fertilizante. Se realizaron regresiones lineales simples para estudiar las relaciones entre variables edáficas, biomasa, rendimiento y sus componentes, las variables de eficiencia y de dinámica de N en planta y suelo. Se realizó un análisis de conglomerados para agrupar los distintos sitios según similitudes edáficas (Balzarini et al., 2008; Seber, 1984).

Modelo:

$$y_{ijkn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\gamma\alpha)_{ik} + (\gamma\beta)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + d_{in} + f_{ijn} + e_{ikjn}$$

Donde y_{ijkn} = representa la respuesta de las variables respuestas en el i-ésimo nivel del factor sitio, j-ésimo nivel de factor variedad y k-ésimo nivel del factor fertilización de la n-ésima repetición.



μ representa la media general, α_i el i -ésimo nivel del factor asociado a al sitio. β_j , el j -ésimo nivel del factor asociado a las variedades dentro de sitio. γ_k , el k -ésimo nivel del factor asociado a la fertilización (dentro de la variedad) y $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\gamma\alpha)_{ik}$, $(\gamma\beta)_{jk}$ y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$, las correspondientes interacciones. Los errores aleatorios: d_{in} , f_{ijn} y e_{ikjn} corresponden a los sitios, variedad y fertilizante, respectivamente; y cada uno con distribución normal con media cero y varianzas: σ_d^2 , σ_f^2 y σ_e^2 e independientemente distribuidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los sitios

Caracterización climática

Durante la campaña 2017 las precipitaciones durante el ciclo del cultivo fueron de 361, 397 y 458 mm para los sitios en Macachín, Anguil y en EEA INTA Anguil respectivamente, de dichos totales 97, 167 y 131 mm, respectivamente, ocurrieron en los meses de octubre y noviembre, donde se ubica el período crítico de definición de rendimiento del cultivo. (Figura 1). Para este año las precipitaciones en el mes de octubre fueron 46, 47 y 14 mm menores a las históricas para Macachín, INTA y Anguil, respectivamente. En el mes de noviembre solo Macachín tuvo 5,5 mm menos que el promedio histórico. Las temperaturas medias variaron entre 9,5°C en el mes de junio a 23°C en diciembre. Luego de la fecha de última helada (10 octubre +/- 19 días) se registró una mínima de 0,3°C (22 de octubre) en la localidad de Anguil; y una helada tardía el 20 de noviembre en la localidad de Macachín durante el llenado de grano (sitios 4 y 5). La radiación media diaria fue aumentando de junio a diciembre, se determinó un cociente fototermal de 1,64 para los 20 días previos y los 10 días posteriores a antesis, con una temperatura base de desarrollo de 4,5°C.

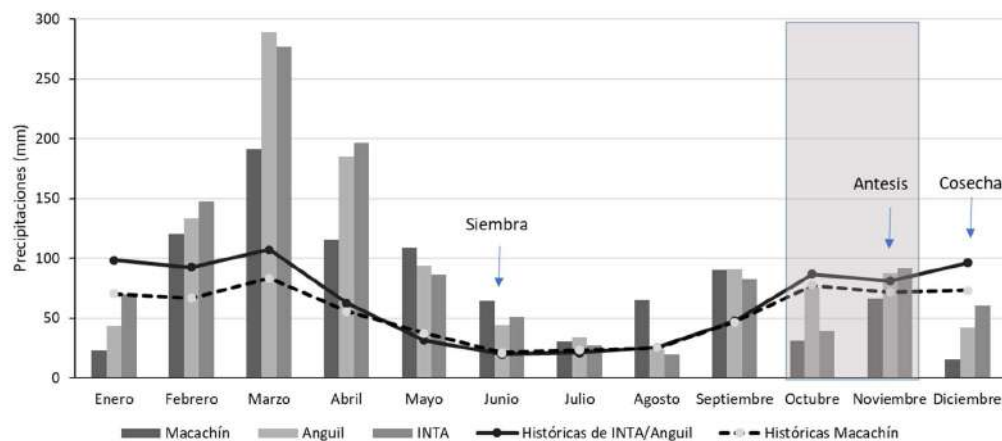


Figura 2: Distribución de las precipitaciones de la campaña 2017. En los meses de octubre y noviembre se señala el período crítico.

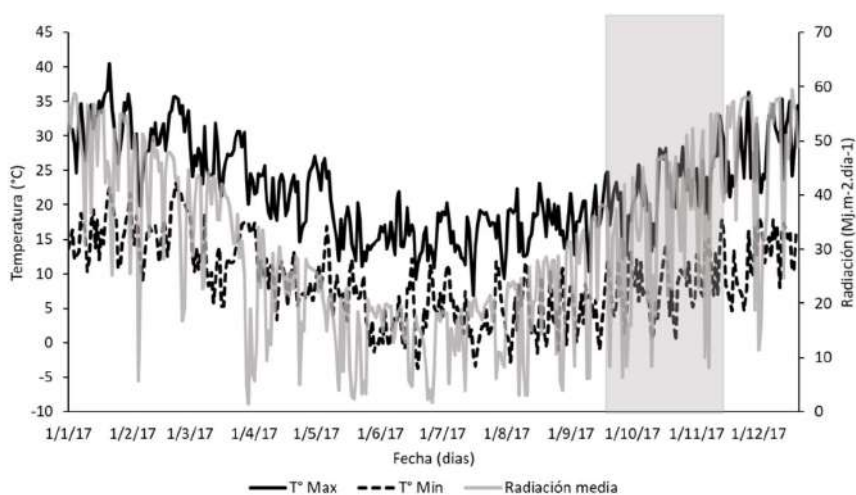


Figura 3: Temperaturas máximas y mínimas y radiación incidente diaria ocurridas en el año 2017. En los meses de octubre y noviembre se señala el período crítico

Caracterización edáfica

En la Tabla 1 se describen las características edáficas de los sitios evaluados. Los sitios de textura franco-arenosa (1, 6 y 7) con más de 66 % de arena se diferenciaron de aquellos de textura franca (2, 3, 4, 5) con contenidos de arena menores al 50 %. Los contenidos de materia orgánica (MO) variaron de 13,9 a 16,9 g kg⁻¹ para suelos arenosos y de 18,8 a 26,3 g kg⁻¹ para suelos francos. Dependiendo del tipo de manejo, la MO está relacionada con el contenido de arcilla+ limo (A+L) del suelo. El indicador MO/A+L (IMO) reflejó la respuesta del crecimiento de las plantas a las propiedades físicas del suelo. En el sitio 1 el IMO fue de 5,6 lo cual indica que para este suelo de

textura gruesa presenta altos contenidos de MO. En cambio, los sitios 6 y 7 al tener menos contenidos de materia orgánica el IMO es menor (4,5 y 4,1 respectivamente). Por otra parte, los sitios 4 y 5 tienen mayores valores de IMO que los sitios 2 y 3, la diferencia también está dada por los contenidos de MO. La materia orgánica es un indicador de la calidad de suelos y su productividad, siendo la fracción más joven o lábil la más sensible a cambios de fertilidad de los suelos por cuestiones de manejo. En los sitios 2 y 3 a pesar de tener bajos contenidos de MO el 29 % corresponde a la fracción más joven y en los sitios 4 y 5 el 23 %. El mayor contenido de arcilla y mejor estructura de estos suelos deriva en una mayor protección física de dicha MO, por lo tanto, deriva en un aumento de la proporción de MO vieja o estable.

Tabla 1: Caracterización edáficas de los 7 sitios evaluados

Localidad	Sitio	Prof	Textura	Arena	Limo	Arcilla	A+L	MO	MOj	IMO	pH	P
		cm				g.kg ⁻¹		tn.ha ⁻¹				
INTA	1	180	franco arenoso	701	240	59	299	16,9	14	5,6	6,6	6,5
INTA	2	120	franca	521	343	136	479	16,1	12	3,4	6,7	11,3
INTA	3	120	franca	441	410	149	559	18,8	13	3,4	6,6	9,9
Macachin	4	140	franca	374	453	173	626	26,3	13	4,2	7,1	23,2
Macachin	5	140	franca	461	420	119	539	22,5	15	4,2	7,6	11,8
Anguil	6	80	franco arenoso	674	240	86	326	14,7	13	4,5	6,7	6,7
Anguil	7	80	franco arenoso	661	250	89	339	13,9	11	4,1	6,7	5,1

Referencias: Prof= profundidad, A+L= Arcilla más Limo, MO= materia orgánica, MOj= materia orgánica joven, IMO= Índice MO/A+L, P= fósforo.

La fertilidad de los suelos depende de los contenidos de MO, a medida que aumentan los contenidos de MO total en los sitios aumenta el contenido de nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻). En contenido de N-NO₃⁻ disponible al momento de la siembra explica el 70 % de la variación de la biomasa total del cultivo, mientras que un 22 % de la variación estuvo determinada por los contenidos de A+L de los suelos (Figura 4-A y B).

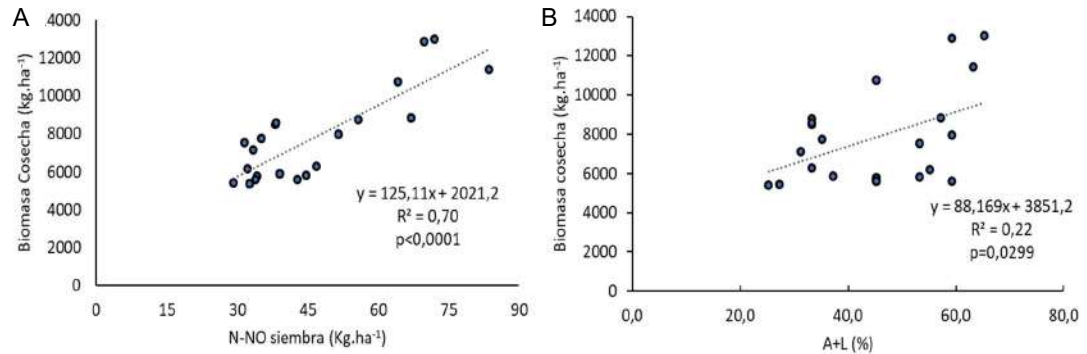


Figura 4: A= Biomasa del testigo a cosecha en función del Nitrógeno de Nitratos (N-NO₃⁻) presente en el suelo al momento de la siembra. B= Biomasa del testigo a cosecha en función de los contenidos de arcilla+limo (A+L).

En regiones semiáridas la productividad de los cultivos está condicionada por la textura de los suelos, y además por la capacidad de retención de agua (CRA). Los sitios 6 y 7 presentan una menor CRA por la presencia de tosca que limita la profundidad a los 80 cm, y los sitios 4 y 5 presentan mayor CRA por ser suelos francos y profundos (Figura 5).

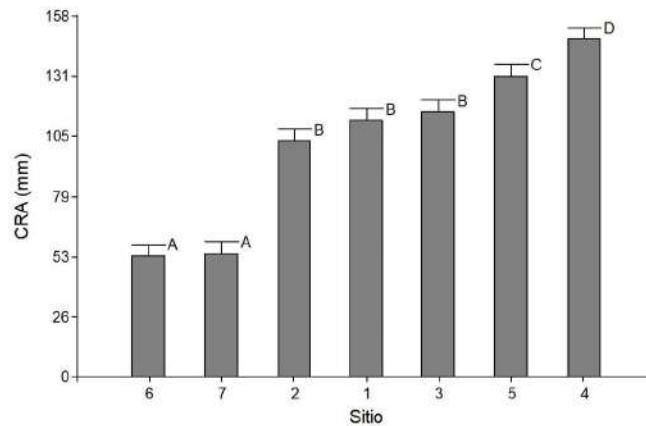


Figura 5: Capacidad de retención de agua útil (CRA) para los distintos sitios.

A partir de análisis global de los sitios, teniendo en cuenta la textura de los suelos y la profundidad del perfil podemos agrupar los sitios en: franco-arenoso profundo (AP), franco profundo (FP), franco-arenoso con tosca (AT) y franco con tosca (FT) (Figura 6).

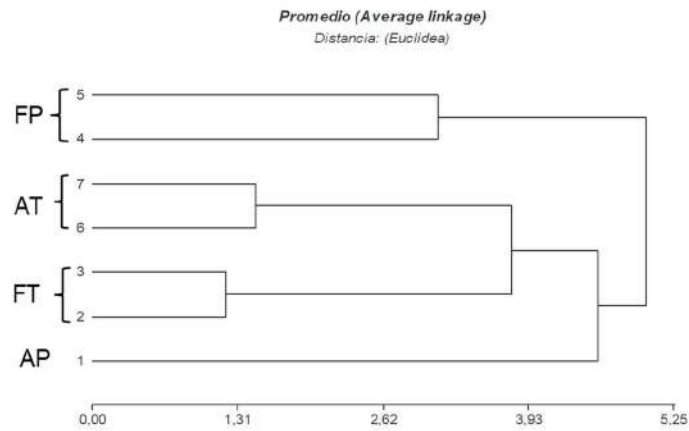


Figura 6: Análisis de conglomerados realizados a partir de las características edáficas de los sitios. Los números del 1 al 5 indican los sitios, que fueron agrupados según la semejanza de las variables edáficas. FP= franco profundo, AT= arenoso franco con tosca, FT= franco con tosca, AP= arenoso franco profundo.

En contenido de agua útil a la siembra varió entre 53 a 137 mm (Tabla 2). Los sitios AT tuvieron los menores valores al estar limitados en la CRA, al contrario de los sitios FP que tuvieron los mayores valores. Las precipitaciones en los meses previos permitieron que al momento de la siembra el perfil estuviese con el 100% del agua útil que cada suelo puede retener (Figura 2). En macollaje los sitio FP presentaron más agua útil diferenciándose del resto de los sitios, sin diferencia entre el testigo y el fertilizado ($p < 0,7503$). Tanto AT como FP, en este momento tenían el perfil con el 85 % del AU, en cambio, AP un 28% de AU y FT un 46 % del AU en el tratamiento fertilizado. Al momento de cosecha, se encontraron diferencias de agua útil en el perfil entre sitios y entre tratamientos de cada sitio. El aumento en la disponibilidad de nutrientes por medio de la fertilización favorece la producción de biomasa por ende el consumo del agua del perfil aumenta; en este caso, el tratamiento fertilizado en promedio consumió 23 mm más respecto el testigo. En los sitios AP y FT los tratamientos fertilizado dejaron el perfil sin AU a diferencia del testigo; y en los sitios AT y FP si bien dejaron en el perfil 4 y 22 mm de AU consumieron 31 mm más que el testigo.

Tabla 2: Contenido de agua útil (mm) de los sitios a la siembra, floración y cosecha. Oferta hídrica para los cultivos determinada por la suma de agua útil a la siembra más las precipitaciones. UC= uso consuntivo del cultivo.

Sitio	Tratamiento	Agua útil (mm)			Oferta Hídrica	Precipitaciones	UC
		Siembra	Macollaje	Cosecha			
AP	Testigo	110	B 54	A 15	a 507	B 397	C 492
	Fertilizado	110	31	0	b 507	397	507
AT	Testigo	53	A 48	A 35	a 450	A 397	A 416
	Fertilizado	53	43	4	b 450	397	447
FP	Testigo	137	C 120	B 53	a 498	B 361	B 445
	Fertilizado	137	119	22	b 498	361	476
FT	Testigo	107	B 70	A 20	a 565	C 458	D 545
	Fertilizado	107	50	0	b 565	458	565

Letra mayúscula representan diferencia entre sitios y letras minúscula diferencia entre testigo y fertilizado ($p < 0.05$).

En este año la producción de biomasa de los cultivos no se relacionó con la CRA de los suelos ($p: 0,1345$) debido a que las condiciones hídricas no fueron limitantes. El consumo de agua durante el ciclo del cultivo varió entre 416 y 565 mm, obteniendo valores por encima del promedio (319 mm) para la región pampeana (Bono et al., 2017) ya que el consumo se incrementa cuando el agua disponible del suelo es mayor (Dillchneider et al., 2019; Gaggioli et al., 2014). Como se mencionó anteriormente las propiedades químicas del suelo tal como, la disponibilidad de nitrógeno fueron las que tuvieron más influencia sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo y las variables ecofisiológicas que determinaron el rendimiento y la calidad de los granos.

Variables ecofisiológicas que determinaron rendimiento y calidad en interacción con el ambiente y manejo

Acumulación de biomasa y nitrógeno en planta

La producción de biomasa fue incrementándose a lo largo del ciclo. Los sitios se diferenciaron en la acumulación de biomasa y en la proporción de los distintos componentes (hoja, tallo y espiga) de la planta (Figura 8). La tasa de crecimiento (TCC) del cultivo varió entre sitios, variedades y tratamientos. La mayor tasa de crecimiento se dio entre macollaje y floración (TCC fl) con interacción sitio x variedad, sitio x tratamiento y variedad x tratamiento. La variedad ACA 315 obtuvo la mayor TCCfl en el sitio FP y SY100 en FT con valores de 15.9 y 16 g m⁻² día⁻¹ respectivamente. El tratamiento

40S+40M tuvo significativamente la mayor TCCfl en el sitio FT y FP seguido por los tratamientos 40S y 80S con valores entre 17.2 y 15.2 g m⁻²dia⁻¹, los testigos en el sitio AP y AT reflejaron las menores TCCfl con valores de 8,3 y 9,11 g m⁻²dia⁻¹. Y en cuanto a las variedades, la mayor TCCfl la obtuvo ACA 315 con 40S+40M y los menores valores fueron obtenidos por los testigos en ambas variedades. El mayor aporte externo de nitrógeno favoreció significativamente el aumento de biomasa aumentando la tasa de acumulación durante todo el ciclo del cultivo (Tabla 3).

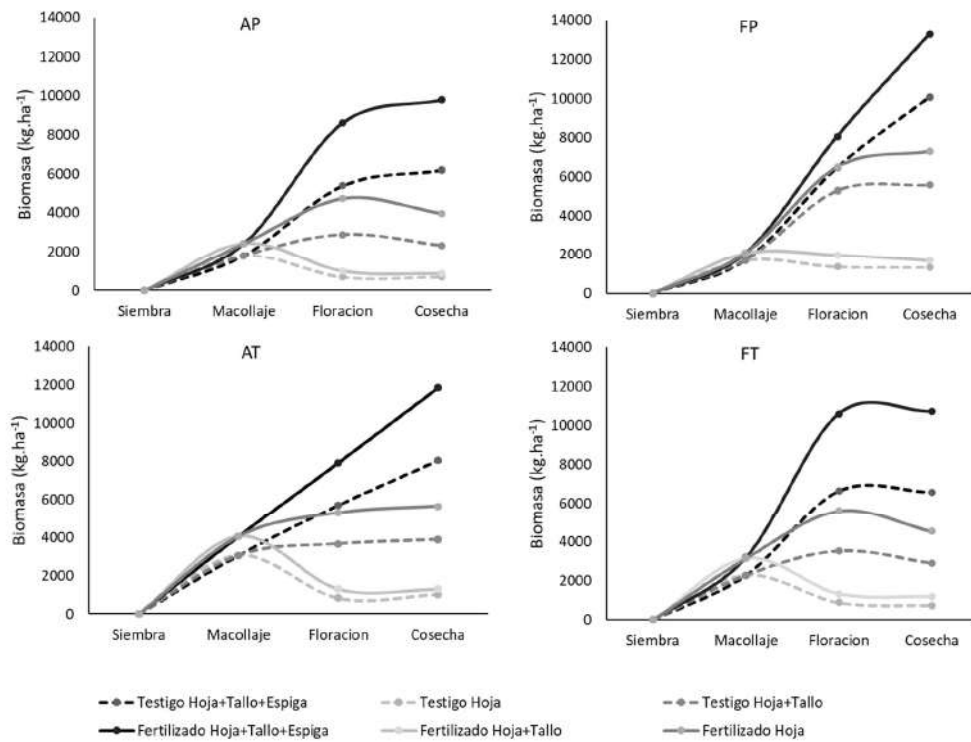


Figura 7: Acumulación de biomasa seca de hoja, tallo y espiga en macollaje, floración y cosecha para el testigo y fertilizado (40S+40M) en los distintos sitios evaluados. FT= franco con tosca, FP= franco profundo, AT= franco arenoso con tosca, AP= franco arenoso profundo.

Tabla 3: Tasa de crecimientos del cultivo de emergencia a macollaje (TCC m), de macollaje a floración (TCC fl), de floración a madurez fisiológica (TCC llg) y la tasa de crecimiento de emergencia a madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio, variedad y tratamiento.

	TCC m	TCC fl	TCC llg	TCC mf	
	g MS.m ⁻² .día ⁻¹				
Sitio	AP	1.97	11.50	5.82	4.62
	FT	2.49	14.00	4.44	5.23
	AT	3.49	12.68	14.34	6.91
	FP	2.31	15.18	14.45	8.14
Variedad	SY 100	2.65	13.30	7.84	5.88
	ACA 315	2.48	13.55	11.69	6.57
Tratamiento	Testigo	2.20	10.15	7.29	4.75
	40S	2.86	13.35	9.14	6.22
	80S	3.05	14.96	11.72	7.27
	40S+40M	2.89	15.31	10.29	6.98
	40M	2.20	13.03	9.24	5.86
	80M	2.19	13.25	10.90	6.27
Sitio	**	**	**	**	
Variedad	**	ns	**	**	
Tratamiento	**	**	*	**	
S*V	*	**	*	**	
S*T	ns	**	ns	ns	
V*T	ns	*	ns	ns	
S*V*T	ns	ns	ns	ns	

Los (**) significan p-valor <0,01 y (*) un p-valor <0,05.

En macollaje la biomasa del testigo correspondió a la formación de hojas, los sitios que más acumularon fueron los AT con 3076 kg ha⁻¹, luego siguieron los sitios FT con 2494 kg ha⁻¹, y los sitios AP y FP con menor producción no presentaron diferencia. En floración, la biomasa estuvo compuesta por hojas, tallos y espigas. La proporción de biomasa en hojas fue disminuyendo y aumentando la de los componentes restantes. Los ambientes no presentaron diferencias en la acumulación de biomasa total (6060 kg ha⁻¹ promedio). La menor acumulación de biomasa en espigas se dio en los sitios FP (1202 kg ha⁻¹), mientras que en los demás sitios en promedio el 42 % de la biomasa total correspondió a las espigas. A cosecha, el sitio FP logró mantener los niveles más

altos de producción de hojas y tallos (1334 y 4540 kg ha⁻¹) y acumuló el 45 % del total de la biomasa en espigas, mientras que en los demás sitios las espigas representaron el 54 % del total de biomasa. Durante el llenado de grano la tasa de crecimiento fue mayor en los sitios FP y AT, diferenciándose de los demás sitios (Tabla 4).

Tabla 4: Biomasa seca de los componentes de la planta en macollaje, floración y cosecha para cada sitio, correspondiente al testigo.

	Biomasa kg.ha ⁻¹	Sitios			
		AP	AT	FP	FT
Macollaje	Hoja	1802 A	3076 C	1703 A	2494 B
	Hoja	690	830	1368	956
Floración	Tallo	2200	2851	3914	2872
	Espiga	2509	2038	1202	2807
	Total	5554	5719	6484	6635
Cosecha	Hoja	700	1020	1334	728
	Tallo	1620	2884	4240	2184
	Espiga	3438	4156	4514	3668
	Total	6201 A	8059 AB	10089 B	6580 A

Las letras corresponden a las diferencias estadísticas para cada sitio en cada momento.

Con respecto a los tratamientos de fertilización, en macollaje, el tratamiento 80S obtuvo 883 kg ha⁻¹ más que el testigo mientras que el tratamiento 40S incrementó la biomasa en 688 kg ha⁻¹ respecto del testigo. En floración, la fertilización a la siembra (80S) y dividida (40S+40M) mantuvieron los mayores valores, produciendo 484, 1254,5 y 1010 kg ha⁻¹ más en hojas, tallos y espigas respectivamente, que el testigo. El tratamiento 40S+40M presentó la mayor TCCfl diferenciándose de los demás tratamientos. La mayor biomasa acumulada en el tratamiento fertilizado tiene relación con una mayor TCC a floración, se puede observar en las pendientes de las curvas de acumulación de biomasa (Figura 8). A cosecha, la respuesta a la fertilización 80S y 40S+40M acumularon más biomasa en hojas, tallos y espigas que los demás tratamientos, con una mayor tasa de crecimiento a madurez fisiológica (TCCmf) respecto del testigo (Tabla 3). La fertilización postergada (40M y 80M) si bien tuvo mayor producción respecto al testigo, no logró alcanzar la producción de 80S y no se diferencian de 40S. Es decir, con el tratamiento 40S+40M al complementar con 40 kg ha⁻¹ en macollaje se favoreció el aumento de biomasa a los niveles de 80S (Tabla 5).

Tabla 5: Biomasa seca de los componentes de la planta en macollaje, floración y cosecha para cada tratamiento de fertilización.

	Biomasa kg.ha ⁻¹	Tratamientos					
		Testigo	40M	80M	40S	40S+40M	80S
Macollaje	Hoja	2219 A	2226 A	2215 A	2907 B	2936 BC	3102 C
Floración	Hoja	961	1163	1223	1302	1430	1460
	Tallo	2959	3446	3452	3850	4215	4212
	Espiga	2139	2538	2647	2748	3161	3137
	Total	6060 A	7148 B	7322 BC	7900 C	8807 D	8810 D
Cosecha	Hoja	945	1028	1090	1127	1260	1353
	Tallo	2732	3383	3636	3714	4112	4237
	Espiga	3944	5148	5518	5265	6044	6275
	Total	7621 A	9559 B	10241 B	10107 B	11416 C	11865 C

Las letras mayúsculas corresponden a diferencias estadísticas entre los distintos tratamientos para cada momento

La diferencia entre las variedades, en macollaje, depende del sitio. Para el sitio AT con mayor producción promedio, ACA 315 obtuvo más biomasa que SY 100, lo contrario ocurrió en el resto de los sitios donde SY 100 acumuló más biomasa. Las variedades tuvieron interacción con el sitio en floración, al igual que en macollaje SY 100 acumuló más biomasa en todos los sitios, excepto en los AT. En este caso la mayor producción (9932 kg ha⁻¹) se dio con SY 100 en FT, diferenciándose del resto de los tratamientos. A cosecha, las variedades la interacción con el sitio fue significativa (p=0,0013). ACA 315 acumuló más biomasa que SY 100 a una tasa de 11,7 gMS m⁻² día⁻¹ en los sitios AP, AT y FP. La mayor producción de biomasa (14436 kg ha⁻¹) se obtuvo en el sitio FP (Tabla 6). Durante la fase de llenado de granos, la TCC (TCC Ilg) fue menor que en la fase macollaje a floración, pero explica un 87 y 68 % de la biomasa acumulada en espiga entre floración y madurez fisiológica, para ACA 315 y SY 100, respectivamente (Figura 9).

Tabla 6: Biomasa seca de los distintos componentes de la planta en interacción variedad*sitio para macollaje, floración y cosecha.

Biomasa	AP		AT		FT		FP						
	kg.ha ⁻¹		ACA 315	SY 100	ACA 315	SY 100	ACA 315	SY 100					
Macollaje	Hoja	2054	AB 2313	BC	3710	F 3412	E	2582	C 2948	D	1724	A 2063	B
Floración	Hoja	812	944	1257	1055	1055	1377	1711	1844				
	Tallo	2806	3199	3873	3457	3195	4375	4350	4259				
	Espiga	3107	3389	2597	2256	3438	4179	1551	1310				
	Total	6725	A 7532	AB	7727	B 6768	A	7688	B 9932	C	7611	B 7412	AB
Cosecha	Hoja	752	787	1235	1233	929	1040	1668	1428				
	Tallo	2607	2426	3857	3836	2831	3123	5682	4724				
	Espiga	4982	4649	5996	5128	5055	5546	7086	4484				
	Total	8342	AB 8011	A	11088	D 10196	CD	8815	AB 9709	BC	14436	E 10636	CD

Las letras mayúsculas corresponden a diferencias estadísticas de la interacción.

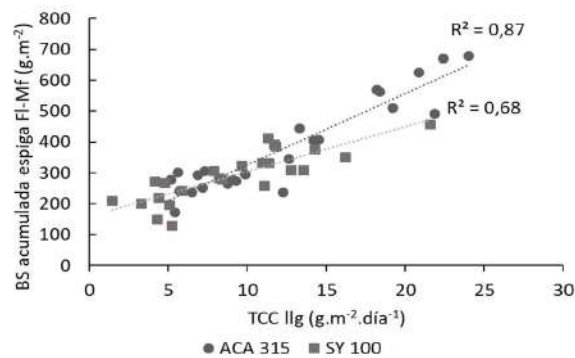


Figura 8: Biomasa acumulada en espigas en ACA 315 y SY100 entre floración (FI) y madurez fisiológica (Mf) en función de la tasa de crecimiento del cultivo en el mismo período (TCC Ilg).

Las características edáficas de los suelos determinan la producción de biomasa en el cultivo. La mayor biomasa acumulada se dio en los sitios FP, que presentaron los niveles más altos de materia orgánica y de nitrógeno a la siembra favorecidos por la textura y la CRA respecto al resto de los sitios.

La producción de biomasa y la tasa de crecimiento del cultivo dependen de la capacidad de interceptar la radiación fotosintéticamente activa (IPAR) que es función del índice de área foliar (IAF) de la estructura de la canopia, y de cómo esa radiación es convertida en biomasa (eficiencia de uso de la radiación, EUR). Tales componentes que condicionan la producción de biomasa pueden ser modificados por el genotipo, la temperatura (Andrade et al., 1993) y la disponibilidad de agua y nutrientes (Cárcova et al., 2015). Deficiencias nutricionales principalmente de N afectan en mayor medida el IAF y la IPAR, mientras que la EUR disminuye en menor proporción. La mayor disponibilidad de N incrementó la producción de biomasa y la TCCmf en un 35% con la

dosis 80S respecto del testigo. Similares valores fueron encontrados por Alzueta (2008) mientras que otros autores encontraron incrementos entre el 7 y 19% con TCC hasta anthesis de $6,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C días}^{-1}$ en niveles moderados de deficiencia de N (Salvagiotti y Miralles, 2008) y con respuesta del 50% con dosis de fertilización de $120\text{-}160 \text{ kg N ha}^{-1}$ en Argiudoles aquicos (Caviglia y Sadras, 2001). A su vez, la tasa de crecimiento del cultivo está determinada por la cantidad de N que puede absorber de acuerdo a la disponibilidad de N presente en el suelo (Juste et al., 1994).

La cantidad de nitrógeno absorbido presentó interacción sitios x variedad ($p=0,0045$). La acumulación de N en hoja en macollaje acumuló en promedio 39, 55, 67 y 40 kg N ha^{-1} para los sitios AP, FT, AT y FP, respectivamente. En AT, las variedades, no se diferenciaron acumulando en promedio 67 kg ha^{-1} , en FT SY 100 acumuló 8 kg N más que ACA 315, en FP SY100 acumuló 9 kg N ha^{-1} más que ACA 315; y el sitio AP con menor cantidad de nitrógeno en hojas las variedades no se diferenciaron (Figura 10 A) En cuanto a los tratamientos, 80S obtuvo 72 kg N ha^{-1} , acumulando 15 kg más de N que la dosis 40S y 34 kg más que el testigo (Figura 11 A).

En floración, el contenido de nitrógeno en toda la planta varió entre 207 y 399 kg N ha^{-1} por efecto de tratamientos ($p<0,0001$) y sitios ($p<0,0001$) sin presentar interacciones. El N absorbido en hojas y tallos no tuvo interacción sitio*variedad. Los sitios FP lograron acumular 453 kg N ha^{-1} diferenciándose del resto, el sitio AP acumuló los menores valores (173 kg N ha^{-1}). En este momento el cultivo de trigo absorbió el 77 % de nitrógeno total, a una tasa que varió entre sitios y entre tratamientos de fertilización. El sitio FP acumuló N a una TAN de $0,37 \text{ g N m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ diferenciándose del resto de los sitios (Tabla 7). El N en espiga tuvo interacción sitio*variedad ($p=0,0038$). El sitio FP acumuló más biomasa y con mayor contenido de N en hojas y tallos que el resto de los sitios, con solo un 6 % de N en espiga. En relación con la variedad SY100, en los sitios AP y FT, acumuló más N que ACA 315 en espigas, en promedio 23 % del total; mientras que los sitios AT acumularon 23 % de N sin diferencia entre variedad (Figura 10 B). En cuanto a la fertilización, 40S+40M acumuló 357 kg N ha^{-1} en hojas y tallos sin diferenciarse de 80M con 344 kg N ha^{-1} ; destinando en promedio 14 % de total de N a espigas (Figura 11 B).

A cosecha, los sitios presentaron interacción con la variedad ($p=0,0396$), el N en planta fue mayor en FP con ACA 315, acumulando 79 kg N y diferenciándose en 18 kg N ha^{-1} de SY 100. En los sitios FT y AP los cultivos acumularon menos N en planta con un promedio de 30 kg N ha^{-1} y no mostraron diferencias entre variedades. Con respecto al

N que se acumuló en espigas, en FT con SY100 se acumularon 63 kg N ha⁻¹ diferenciándose del resto de los sitios (Figura 10 C). Los tratamientos 40S+40M y 80M acumularon más N en hoja y tallo (54 kg N ha⁻¹) y también en espiga con 55 kg N ha⁻¹, diferenciándose de los demás tratamientos a una tasa de 0,26 g N.m⁻² día⁻¹ hasta floración. En el caso del tratamiento 40S y 40M las plantas acumularon en promedio 12 kg N ha⁻¹ más que el testigo (Figura 11 C). Con la fertilización dividida se obtuvo la mayor producción de biomasa total y se reflejó en el mayor contenido de N que luego pudo utilizarse para exportar a los granos. En cuanto a las variedades, ACA315 al ser de grupo 1 de calidad tiene más capacidad potencial para exportar el N al grano y formar proteína. En este ensayo, esta variedad acumuló más N en grano que la otra variedad (promedio de todos los sitios) a una tasa de 0,6 g N m⁻².día⁻¹ media de todo los sitios, excepto para FT donde la TAN fue mayor en SY 100 (Tabla 7).

Tabla 7: Tasa de acumulación de nitrógeno hasta macollaje (TAN m), de macollaje a floración (TAN fl) y en todo el ciclo del cultivo hasta madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio, variedad y tratamiento.

		TAN m	TAN fl	TAN mf
		g MS.m ⁻² .día ⁻¹		
Sitio	AP	0,04	0,12	0,04
	FT	0,05	0,16	0,05
	AT	0,07	0,18	0,06
	FP	0,05	0,37	0,08
Variedad	SY 100	0,05	0,21	0,05
	ACA 315	0,05	0,21	0,06
Tratamiento	Testigo	0,04	0,13	0,04
	40S	0,06	0,18	0,05
	80S	0,07	0,22	0,06
	40S+40M	0,06	0,25	0,07
	40M	0,04	0,22	0,06
	80M	0,04	0,26	0,07
Sitio		**	**	**
Variedad		**	ns	**
Tratamiento		**	**	**
S*V		**	**	**
S*T		**	**	**
V*T		ns	ns	ns
S*V*T		ns	ns	ns

Los ** indican diferencia significativa con un $p < 0.01$

Los recursos capturados por el cultivo son utilizados para generar biomasa, por ello, los nutrientes afectan directamente a la producción y el rendimiento. Durante el ciclo del

cultivo los requerimientos nutricionales varían en función de la tasa de crecimiento del cultivo y la composición nutricional de los nuevos tejidos (Dreccer et al., 2003). La captación de recursos es baja durante la etapa inicial y final del ciclo y máxima durante la etapa central del crecimiento (Alzueta, 2008; Delogu et al., 1998), alrededor del 70% del N se absorbe hasta floración. En general, el aumento de la disponibilidad nitrogenada al momento de la siembra incrementa la cantidad de N absorbido por el cultivo a madurez fisiológica, además el consumo es mayor con aplicaciones de N fraccionadas o con la aplicación de la mayor dosis en macollaje. La mayor TCC del cultivo se traduce en un aumento de la TAN por incremento en la radiación interceptada (Dreccer et al., 2003) y por la cantidad de agua almacenada en el suelo, en similares condiciones nutricionales. Si bien al momento de la siembra todos los suelos estaban en capacidad de campo, aquellos con una mayor CRA pudieron retener más agua. El sitio franco profundo (FP) con mayor cantidad de agua disponible al momento de la siembra fue el que logró acumular más cantidad de biomasa durante el ciclo del cultivo y mayor absorción de N total en planta. En ambientes semiáridos la disponibilidad de nitrógeno dado por la suma de N suelo, el N mineralizado y del N del fertilizante, debe coincidir con la adecuada disponibilidad de agua para maximizar los rendimientos (Cossani et al., 2010), y la disponibilidad no solo fluctúa espacialmente sino que también depende de las variaciones durante la estación de crecimiento del cultivo.

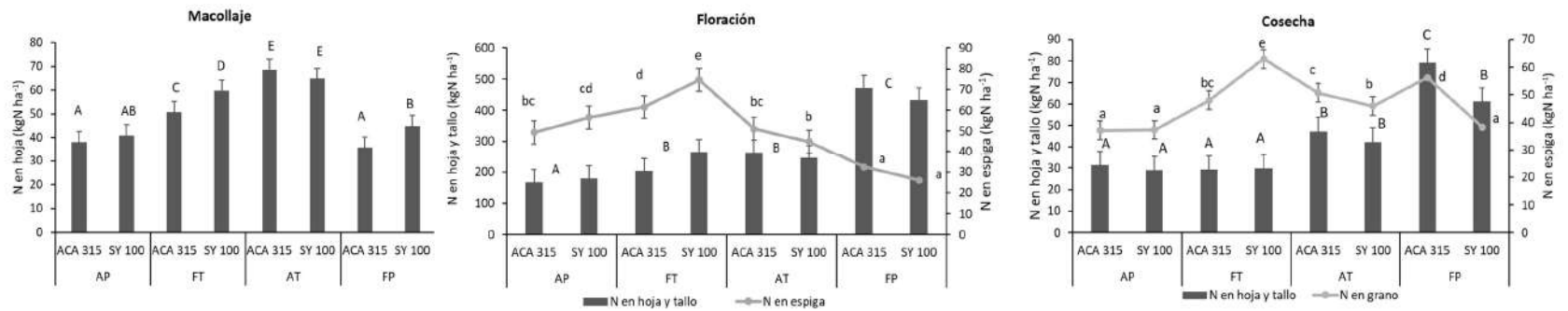


Figura 9: Contenido de nitrógeno (N) en planta entera en macollaje, floración y cosecha en la interacción variedad*sitio. Las letras mayúsculas representan diferencias significativas en hojas+tallos y las letras minúsculas las diferencias en espigas.

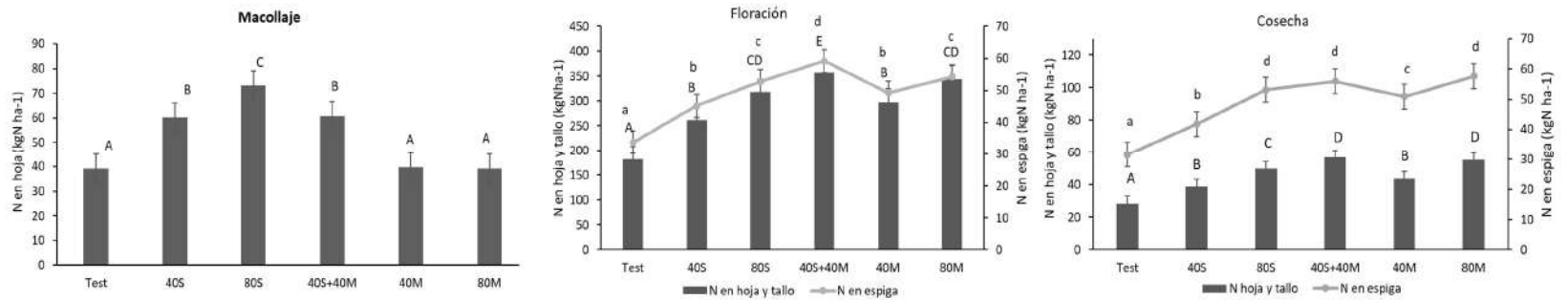


Figura 10: Contenido de nitrógeno (N) en planta entera en macollaje, floración y cosecha para los distintos tratamientos de fertilización. Las letras mayúsculas representan diferencias significativas en hojas+tallos y las letras minúsculas las diferencias en espigas.

Rendimiento y sus componentes en interacción con el sitio, con el manejo y con las variedades

El rendimiento del cultivo de trigo está sujeto a las condiciones edáficas y climáticas del sitio. El rendimiento del testigo tuvo relación con la biomasa producida al momento de anthesis ($R^2:0,38$ - $p=0,0142$) y con la textura del suelo. A medida que aumenta el contenido de A+L el potencial de rendimiento para los sitios aumenta ($R^2: 0,67$ – $p=0,0001$). El rendimiento no presentó interacción significativa ($p=0,8661$) entre el ambiente, la variedad y los tratamientos. Entre ambientes, el rendimiento del testigo varió entre 1858 y 2730 kg ha⁻¹, donde los sitios FT tuvieron el mayor rinde y los sitios AP, FP y AT los menores rendimientos sin diferencia entre ellos. El incremento en el rendimiento de cada tratamiento de fertilización no se diferenció entre sitios ($p=0,3998$) por lo tanto las variaciones ante una misma dosis y momento de aplicación depende de las propiedades intrínsecas de los sitios que determinan su rendimiento potencial. El mayor rendimiento del sitio FT se puede atribuir a que son suelos de textura franco y a las mayores precipitaciones ocurridas en el mes de noviembre que en los sitios FP. Estos últimos, presentaron una mayor fertilidad y potencial de rendimiento y acumularon más biomasa en su ciclo, sin embargo, en grano no lograron expresarlo debido a la ocurrencia de temperaturas bajo cero en el periodo crítico que afectó a los componentes de rendimiento. El menor rinde del sitio AP, se puede atribuir a los bajos contenidos de MO y a que son suelos de textura gruesa, este sitio a su vez presentó los menores valores en biomasa. En el caso de sitio AT, las limitaciones en el rendimiento están atribuidas a la baja CRA de los suelos por la presencia de tosca y por tener textura gruesa (Figura 6) lo que condiciona el agua útil disponible durante el ciclo del cultivo.

Las diferencias se dieron entre tratamientos, donde 80S y 40S+40M tuvieron el mayor rendimiento con 3147 y 3020 kg ha⁻¹ respectivamente. Con una respuesta promedio de 1030 kg respecto del testigo. Los tratamientos 40S, 40M y 80M no presentaron diferencias significativas, y la respuesta promedio a la fertilización fue de 661 kg ha⁻¹ respecto del testigo (Figura 12). Las variedades presentaron diferencias en interacción con el sitio ($p<0,0001$). El ambiente FT logró el mayor rinde de 3761 kg ha⁻¹ con SY100 diferenciándose de ACA 315 que obtuvo 820 kg menos. En AT y FP, ACA 315 rindió 430 y 774 kg más que SY100 respectivamente (Tabla 8).

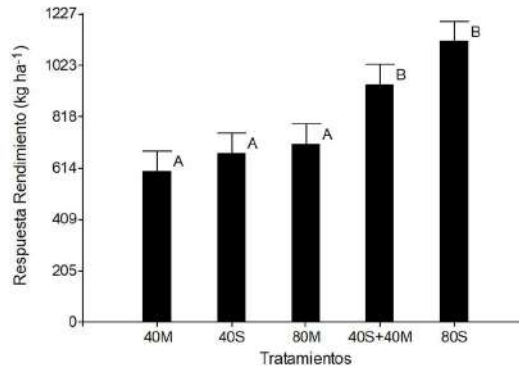


Figura 11: Respuesta de rendimiento para los distintos tratamientos de fertilización.

Tabla 8: Rendimiento en kg ha⁻¹ en interacción sitio*variedad.

Sitio	Variedades	
	ACA 315	SY 100
	Kg.ha ⁻¹	
AP	2364 B	2439 B
AT	2952 C	2523 B
FP	2846 C	2072 A
FT	2941 C	3761 D

Las letras muestran diferencias significativas con un $p < 0,05$

En regiones semiáridas la humedad a la siembra, la capacidad de retención de agua de los suelos, debida a la profundidad del perfil y la textura, tienen mayor influencia en el rendimiento; y la fertilidad de los suelos tienen menor impacto (Bono y Alvarez, 2008). Por lo tanto, no se evidencian importantes diferencias en la respuesta del cultivo al momento de fertilización, sugiriendo que aplicaciones de N a la siembra son más eficientes que al macollaje. Sin embargo, cuando las condiciones hídricas son abundantes, las propiedades físicas del suelo no son la mayor limitante, y surgen las propiedades químicas restringiendo el rendimiento (Díaz-Zorita et al., 1999). Tanto el sitio, como el ambiente dentro de cada sitio, el cultivar y la fertilización influyen en el rendimiento del cultivo de trigo (Dillchneider et al., 2019; Quiroga et al., 2008). Loewy (1990^a) relaciona las precipitaciones de septiembre con la respuesta a la fertilización. Señala un nivel crítico de precipitaciones de 40 mm donde hay respuesta a la fertilización postergada, pero sobrepasado los 80 mm puede aumentar el riesgo de pérdidas por lixiviación. En este caso, las precipitaciones favorecieron la respuesta a la fertilización y la media de los sitios fue de 87 mm en el mes de septiembre. En el mes

de octubre las precipitaciones fueron menores a la históricas y en noviembre similares, excepto para Macachín. Sin embargo, en todos los sitios la fertilización tuvo respuesta al momento y dosis de fertilizante lo que favoreció la acumulación y producción de biomasa hasta antesis que luego determinó el rendimiento.

De los componentes del rendimiento, el número de grano explicó el 96% de las variaciones en el rendimiento. No se presentó interacción sitio x tratamiento x variedad ($p=0.8858$). Las diferencias se dieron a nivel de sitio y dentro de cada sitio se observaron diferencias entre tratamientos de fertilización. Los sitios FT y FP tuvieron un mayor número de granos (8728 granos m^2) sin diferencia entre ellos, pero si con el resto de los sitios. En cuanto a la fertilización 80S y 40S+40M tuvieron más números de granos sin diferencia entre ellos, pero 40S+40M no se diferenció de 40S. Es decir, que la fertilización a la siembra determinó la formación de los componentes que más tarde definieron el número de granos. El tratamiento 80S logró 2921 granos más que el testigo sin diferenciarse del tratamiento 40S+40M que obtuvo 605 y 1063 granos más que 40S y 40M respectivamente. En cambio, el peso de mil granos (PMG) varió de 34,5 a 37 gramos en los tratamientos testigo y 80M respectivamente. Al contrario del número de granos, las fertilizaciones en macollaje contribuyeron a aumentar el peso de granos en 1,5 y 2 gramos más respecto de 80S y 40S. No hubo diferencias entre los tratamientos 80M, 40M y 40S+40M. Fertilizaciones a la siembra contribuyeron a aumentar el número de granos, pero con un menor peso (Figura 13)

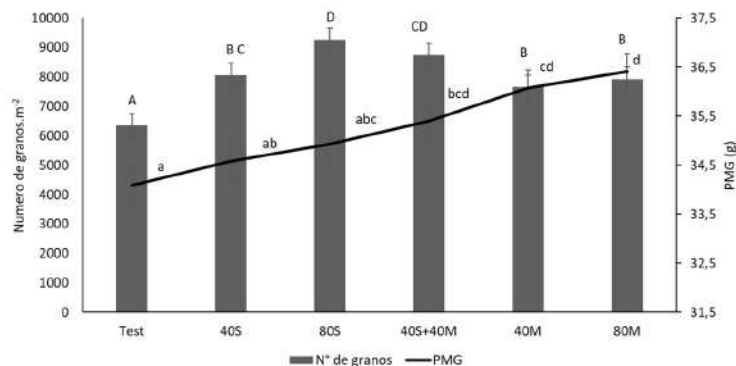


Figura 12: Número de granos y peso de mil granos (PMG) para cada tratamiento de fertilización. Las letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas de número de granos, y las letras minúsculas las diferencias en PMG.

La fertilización postergada (40M y 80 M) al tener menor número de granos tiende a compensar el rendimiento aumentando el tamaño de los mismos, pero no fue suficiente para alcanzar los rindes obtenidos con 80S y 40S+40M (Figura 12). Esto refleja que las

reducciones en el rendimiento por falta inicial de N afectan en mayor medida al número de grano que al peso de los mismos (Abbate et al., 1995).

Cuando los requerimientos nutricionales no son suficientes se reduce principalmente el área foliar y la eficiencia fotosintética por lo que la tasa de crecimiento se reduce (Abbate y Andrade, 2014). La variación en la tasa de crecimiento del cultivo durante todo su ciclo explicó el 73, 78, 80 y 41 % de la variación del rendimiento para los sitios FT, AT, FP y AP (Figura 14) respectivamente. Lograr altas tasas de crecimiento durante todo el ciclo del cultivo favoreció la formación de los componentes de rendimiento. Las condiciones de crecimiento alrededor de floración son importantes en la determinación del número de granos e inciden marcadamente y explican en mayor medida las variaciones en el rendimiento (Fischer, 2007). La tasa de crecimiento entre macollaje y floración explicó el 67% de la variación en el número de granos (Figura 15 A).

Si las deficiencias nutricionales generan una menor tasa de crecimiento durante las etapas críticas, el número de granos por unidad de superficie se verá afectado. El cultivo de trigo puede tolerar deficiencias nutricionales tempranas pero si estas son corregidas a tiempo para que no afecte el crecimiento en el momento de definición del número de granos (Abbate y Andrade, 2014) en rendimiento no se verá afectado. La disponibilidad de nitrógeno puede regular el número de granos a través de la influencia en la tasa de crecimiento del cultivo sobre la producción de macollos y la fertilidad de los mismos y la absorción de N está a su vez altamente regulada por el crecimiento del cultivo (Dreccer et al., 2003; Quiroga et al., 2008). El rendimiento final de los granos es función del número de granos por unidad de superficie y el peso potencial de los mismos. A medida que se diferenció un mayor número de granos por unidad de superficie, fue disminuyendo el peso potencial de los mismos (Figura 15 B) asociado a una menor relación F:D por cada grano. Además independientemente de la disponibilidad de asimilados, la fijación de un mayor número de grano por un incremento en la proporción de granos ubicados en la parte distal de las espiguillas donde el peso potencial de los mismos es menor, se reduce el peso promedio de los granos (Miralles y Slafer, 1995).

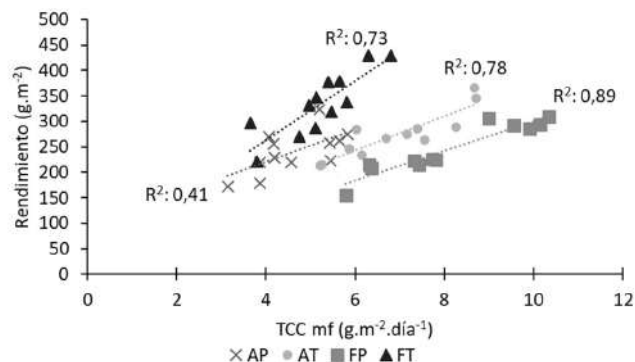


Figura 13: Rendimiento en función de la tasa de crecimiento del cultivo entre emergencia y madurez fisiológica (TCC mf) para cada sitio.

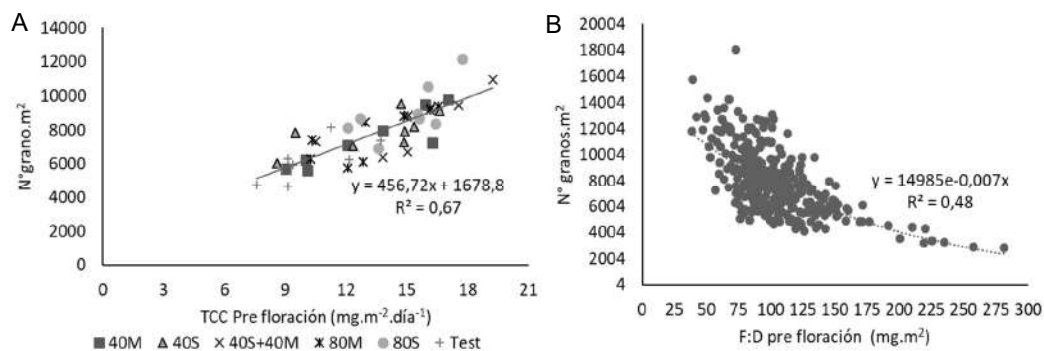


Figura 14: Relación entre la tasa de crecimiento de cultivo entre macollaje y floración (TCC pre-fl) y el número de granos (A). Relación entre fuente:destino (F:D) pre floración y el número de granos (B).

Durante el período de llenado de granos entre floración y madurez fisiológica se determina el peso final de los granos y de la calidad de los mismos. Las variaciones en la biomasa acumulada pos-floración generaron un amplio rango de relación F:D, los valores oscilaron entre 10 y 65 mg grano⁻¹ (Figura 16). El control del llenado de granos puede ser considerado por el suministro de fotoasimilados (limitado por fuente) o por la capacidad del grano para acumular carbohidratos disponibles (limitado por destino). En condiciones normales la principal fuente de aporte de asimilados es la fotosíntesis ocurrida entre floración y madurez fisiológica, y en menor medida por removilización. Si dicha fotosíntesis se ve limitada, los fotoasimilados provienen de asimilados producidos previo a floración, es decir, aumenta la removilización (Borrás et al., 2004; Kruk et al., 1997). Por lo tanto, a partir del cuaje de los granos es poco probable que limitaciones en la capacidad fotosintética puedan afectar el peso de los granos (Slafer et al., 2015). Por ello, el rendimiento en el cultivo de trigo estaría limitado por la capacidad potencial del grano en acumular asimilados, y las variaciones en el peso del grano se deberían a la capacidad potencial del tamaño de grano de cada variedad (Bingham et al., 2007) y

a las condiciones ambientales de temperatura y disponibilidad hídrica durante la formación de los carpelos florales y en el periodo de llenado de granos (Calderini et al., 1999a).

En este ensayo, la variedad ACA 315 alcanzó un peso de grano promedio de 35,5 g mientras que en SY 100 fue de 34,3 g, ACA 315 requiere más asimilados para llenar el grano que la otra variedad, por lo tanto, a igual número de granos la relación F:D será menor (Tabla 9). Sin embargo, en general para todos los tratamientos, variedades y sitios el PMG no estuvo limitado por fuente durante el llenado de grano, es decir, que a medida que aumenta la fuente disponible por cada grano no aumenta significativamente el peso de los mismos (Figura 16). No se tuvo en cuenta el sitio FP porque durante el llenado de grano se registraron temperaturas bajo cero que afectaron notablemente el llenado y el rendimiento. Otros autores, (Borrás et al., 2004; Slafer y Savin, 1994) tampoco encontraron grandes limitaciones por fuente. Las diferencias en el peso de los granos están relacionadas con el número de células endospermáticas establecidas durante la fase lag del llenado de granos, el número de gránulos de almidón formados (Brocklehurst, 1977), con el tamaño inicial de los carpelos en etapas pre-floración (Calderini et al., 1999a) y con el volumen de los granos. Por otro lado, la biomasa acumulada en espigas entre floración y madurez fisiológica fue explicada en función de la relación F:D ($R=0.73$, $p<0.0001$) (Figura 17). Es decir que la mayor disponibilidad de recursos se traduce en un aumento en el número y peso de los granos, ya que del total del peso de la espiga el 74% corresponde a peso de los granos y el resto a glumas, glumelas y raquis.

Tabla 9: Fuente: destino (F:D llg) como la cantidad de biomasa total acumulada entre floración y madurez fisiológica por grano, y el peso de los granos para cada variedad y con en tratamientos de fertilización (Testigo y 80 kg N.ha⁻¹ aplicado a la siembra)

	F:D llg	Peso grano
Testigo	mg.grano ⁻¹	
ACA 315	37,59	35,07
SY 100	42,80	33,98
<hr/>		
80S		
ACA 315	41,08	36,19
SY 100	39,48	34,74

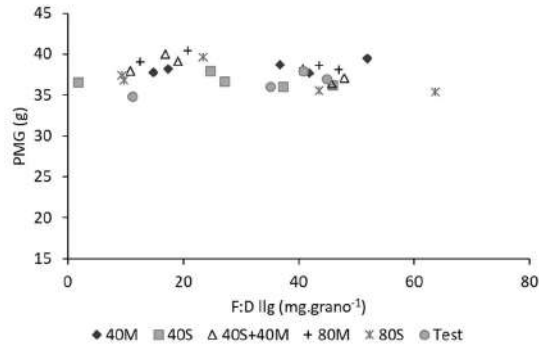


Figura 15: Relación entre el peso de los granos y la relación fuente: destino en el período de floración a madurez fisiológica (F:D Ilg) para cada tratamiento de fertilización.

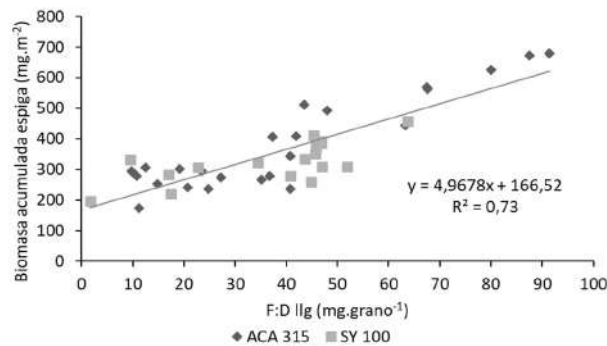


Figura 16: Relación entre la biomasa acumulada en espiga entre floración y madurez fisiológica y la relación fuente:destino (F:D Ilg) en el mismo período para cada variedad evaluada.

Proteína y la dinámica de acumulación

El contenido de proteína en grano del testigo presentó variaciones debido al potencial de cada sitio. Los mayores valores se alcanzaron en AP y FP con 10,1 y 10,6% de proteína respectivamente, mientras que en los sitios AT y FT lograron 8 y 9% de proteína. Según los tratamientos de fertilización en todos los sitios 80M obtuvo la mayor concentración de proteína (Tabla 10). En el sitio AP el testigo no se diferenció de 80M y los menores valores de proteína correspondieron a los tratamientos 40S y 80S. Este comportamiento se debería a un efecto de dilución de la proteína por el mayor rendimiento de 80S y 40S respecto del testigo. En el sitio AT, 80M acumuló 6% más de proteína respecto del testigo, pero los tratamientos 40S+40M, 40M y 80S alcanzaron el 11% de proteína sin diferencias significativas entre ellos. En el sitio FP el tratamiento 80M acumuló 2,4% más respecto de testigo y no se diferenció de 40S+40M. En cambio, en el sitio FT los tratamientos 80M y 40M no presentaron diferencia y fueron los únicos que

superaron el 11% de proteína. El sitio con mayor potencial de rendimiento tiene mayores requerimientos de nutrición nitrogenada para que lograr altos niveles de proteína en grano. En cuanto a la estrategia de fertilización dividida, en todos los sitios, los 40 kg de N aplicados a la siembra fueron destinados a determinar el rendimiento, y los 40 kg de N aplicados a macollaje parte se destinó a rendimiento ya que no presentó diferencia con 80S (Figura 12) pero parte también contribuyó a la acumulación de proteína ya que no tuvo diferencia con 40M.

Tabla 10: Contenido de proteína de cada sitio con cada tratamiento de fertilización. Testigo, 40S= 40 kg N a la siembra, 80S= 80 kg N a la siembra, 40S+40M= 40 kg N a la siembra más 40 kg N en macollaje, 40M= 40 kg N en macollaje, 80M= 80 kg N en macollaje.

Sitios		Proteína (%)			
		AP	AT	FP	FT
Tratamiento	Testigo	10.1 CDE	8.0 A	10.7 EF	9.0 BC
	40S	8.8 AB	9.4 BCD	10.7 EF	8.9 BC
	80S	8.9 ABC	11.0 EFG	12.0 HI	9.4 BCD
	40S+40M	9.3 BCD	11.9 GHI	12.6 IJ	10.8 EF
	40M	10.5 DEF	11.8 GHI	11.7 GHI	11.4 FGH
	80M	11.1 EFGH	14.0 K	13.1 J	11.9 GHI

Las letras representan diferencia significativa de la interacción Sitio x Tratamiento ($p < 0.05$)

La respuesta de la variedad al contenido de proteína, presentó interacción con el sitio ($p = 0,003$). El sitio AP tuvo los menores valores (9,8%) sin diferencia entre variedades, luego siguió el FT con 10,2% sin diferencias entre variedades, el sitio AT presentó diferencia entre variedades (SY 100 obtuvo 0,8% más proteína que ACA 315). Por último, las variedades presentaron diferencias en el sitio FP, en el cual ACA tuvo 0,7% más que SY 100 (Figura 18). Sólo se logró alcanzar el 11% de proteína en el sitio AT con SY 100 y FP con ambas variedades.

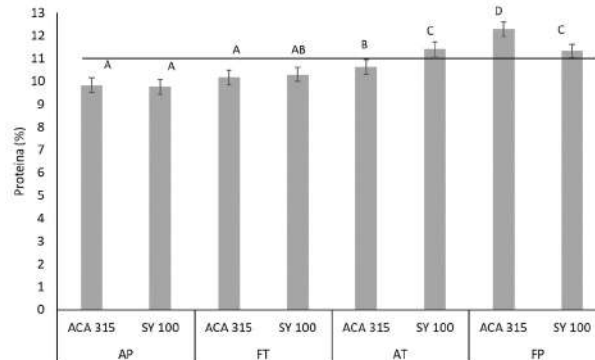


Figura 17: Contenido de proteína (%) para la interacción variedad*sitio (AP= franco arenoso profundo, FT= franco con tosca, AT= franco arenoso con tosca y FP= franco profundo). La línea negra representa el 11% de proteína exigido por el estándar de comercialización.

Con el fin de buscar una variable que involucre las diferencias en el contenido de proteína debido al ambiente, fertilización y variedad; se utilizó la relación fuente:destino de N (F:D N) que explica la cantidad de nitrógeno total acumulado en madurez fisiológica que se destinó a cada grano. Si bien el grano tiene un límite en la capacidad de acumular almidón, la síntesis de proteína, por lo contrario, está fuertemente limitada por fuente (Acreche y Slafer, 2009). Como se observa en la Figura 19, a medida que aumenta la relación F:D N, se incrementa el contenido de proteína en grano ($R^2=0.80$, $p<0.0001$). Por un lado, la disponibilidad de recursos dada por las condiciones potenciales de cada sitio determina que el cultivo alcance un contenido de proteína superior al 11 %; y el momento de fertilización, independientemente del sitio y de la variedad, con el tratamiento 80M se superó el 11% de proteína, mientras que el tratamiento 40S+40M y 40M solo en algunos de los sitios logró superar dicho porcentaje. En cambio, el testigo y las fertilizaciones a la siembra en ningún caso superaron el 11 %, debido a la fuerte limitación por fuente de nitrógeno. El mejoramiento en los cultivares de trigo a través de los años, favorecieron el aumento en el número de granos por metro cuadrado, esto conllevó, debido a que la cantidad de N no se aumentó en forma proporcional, a una dilución en el contenido de N en grano. La principal fuente de N para los granos es el nitrógeno acumulado en biomasa antes de antesis, sin embargo, si las condiciones ambientales son favorables durante el periodo de llenado de granos, una importante parte del N puede ser absorbido en ese período. En este caso, el contenido de proteína depende fuertemente de la relación F:D N establecida hasta madurez fisiológica.

La relación entre la fuente de N y la actividad del destino (grano) depende de mecanismos ambientales y propios de la planta que regulan la demanda del nutriente. Por un lado, de las propiedades intrínsecas del grano asociada al metabolismo de nitrógeno en la planta, la absorción de N por las raíces y la cantidad de destinos (N° grano m^{-2}) (Triboi y Triboi-Blondel, 2002). La menor disponibilidad de N previo a antesis disminuye el número de granos por planta, si esta limitación continúa post-antesis el flujo de N por grano y el contenido de proteína disminuye. No se encontró una relación entre el número de granos y el contenido de N por grano, por lo tanto, se puede inferir que la TAN fue suficiente para compensar el mayor número de grano en los tratamientos 80S y 40S+40M (Tabla 7) debido a que la absorción de N está altamente regulada por el crecimiento del cultivo (Uhart y Andrade, 1995).

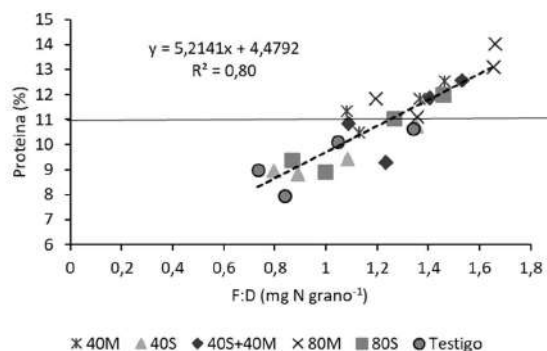


Figura 18: Proteína en función de la relación Fuente:destino de nitrógeno para los distintos tratamientos de fertilización para todos los sitios y variedades. La línea punteada indica el 11% de proteína exigido por la base de comercialización.

Efecto del manejo de la fertilización sobre la eficiencia de uso de los recursos en relación al sitio y la variedad

Eficiencias en el uso del nitrógeno

Como se observó anteriormente, la mayor dosis de fertilizante aumentó la biomasa producida y el rendimiento del cultivo. La fertilidad potencial del suelo, la dosis de fertilizante y el momento de aplicación condicionan la manera con que el N es absorbido y exportado a los distintos destinos en la planta, por lo que se esperarían cambio en la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN). La EUN está influenciada por la eficiencia de absorción (EABs) del nutriente del suelo y el índice de cosecha de N (ICN), es decir, la eficiencia con la que el nitrógeno absorbido es exportado al grano. Y se puede

considerar la eficiencia fisiológica de uso de N (EUN_{fis}) que se define como el cociente entre el rendimiento y la cantidad de N en planta al momento de cosecha (Abbate, 2017).

Para establecer un diagnóstico de fertilidad del suelo se tiene en cuenta tanto el nitrógeno disponible a la siembra como el nitrógeno potencial que va a aportar el suelo durante el ciclo del cultivo producto de la mineralización de la materia orgánica. El nitrógeno en el suelo al momento de la siembra presentó diferencia entre sitios variando entre 34 y 72 kg N ha⁻¹. El rendimiento del testigo no se explica por el contenido de N en el suelo ($R^2: 0,0003$). Tampoco se encontró una relación entre el contenido de MO y el rendimiento del cultivo. Pero considerando en conjunto, la variación en el aporte de N del suelo durante el ciclo del cultivo más el N a la siembra, explicó el 88% de la variación del rendimiento logrado por el cultivo testigo sin el aporte externo de N (Figura 21). El N proveniente de la mineralización aumenta con el contenido de MO de los suelos ($R^2:0,28$) y con el contenido de A+L de los suelos ($R^2:0,75$) (Figura 20). Similares relaciones encontraron Reussi Calvo et al., (2013) al estimar el N anaeróbico y relacionarlo con el rendimiento y los contenidos de MO. Vale aclarar que para esta relación no se tuvo en cuenta el sitio FP porque estuvo afectado por una helada tardía que afectó directamente el rendimiento del cultivo.

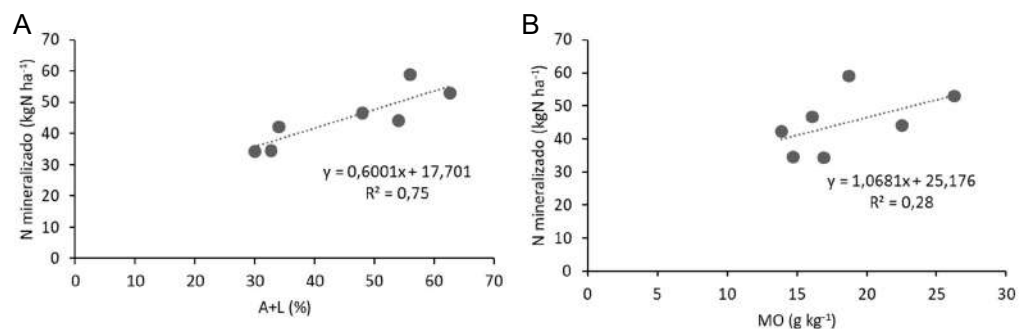


Figura 19: A) N mineralizado en función del contenido de Arcilla mas limo (A+L), B) N mineralizado en función del contenido de materia orgánica (MO).

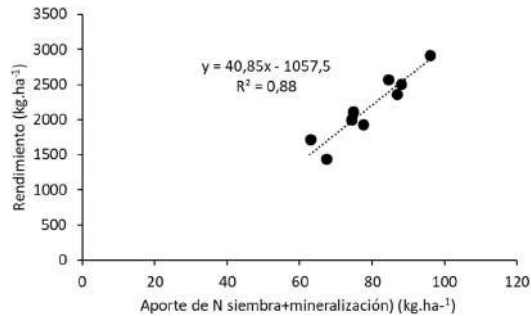


Figura 20: Rendimiento del testigo en los distintos sitios en función del N disponible a la siembra más el nitrógeno aportado por mineralización.

Tabla 11: Nitrógeno a la siembra del cultivo (Nsi), Nitrógeno aportado por mineralización (Nmin) y el aporte total de N (Nsi+Nmin) para cada sitio y para cada tratamiento de fertilización.

Sitio	Tratamiento	Nsi	Nmin	Aporte Total	Pérdida N
		kg N. ha ⁻¹			
AP	Testigo			68,1	-6,3
	40S			108,1	28,9
	40M	33,7	34,5	108,1	20,0
	40S+40M			148,1	43,9
	80S			148,1	46,2
	80M			148,1	44,3
FT	Testigo			89,4	1,1
	40S			129,4	30,5
	40M	36,6	52,8	129,4	3,2
	40S+40M			169,4	27,2
	80S			169,4	49,5
	80M			169,4	30,8
AT	Testigo			79,7	0,8
	40S			119,7	1,0
	40M	41,33	38,4	119,7	-4,6
	40S+40M			159,7	14,7
	80S			159,7	-23,6
	80M			159,7	1,4
FP	Testigo			120,8	2,8
	40S			160,8	28,8
	40M	72,5	48,3	160,8	5,8
	40S+40M			200,8	34,0
	80S			200,8	46,0
	80M			200,8	25,7

El aporte de N del suelo presentó variaciones entre los distintos sitios, por lo tanto, cada uno condicionó su potencial de rendimiento. Dentro de cada sitio, el aporte externo de N a través del uso de fertilizante mejoró el rendimiento del cultivo. El sitio FP presentó el mayor aporte de N con la aplicación de 80 kg N respecto de los otros sitios, seguido por el sitio FT con 169 kg N (Tabla 11).

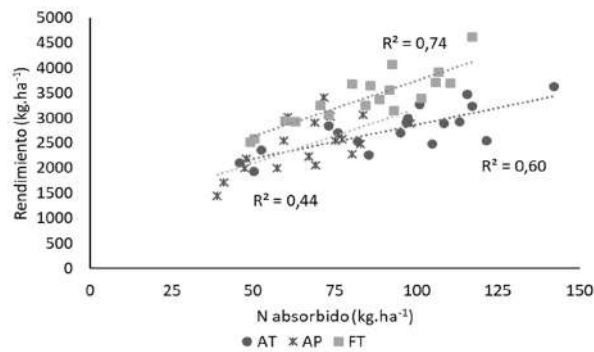


Figura 21: Rendimiento de trigo en función del N absorbido en los distintos sitios (AT= arenoso con tosca, AP= arenoso profundo, FT= franco con tosca).

La baja sincronización entre la disponibilidad de nitratos en el suelo y la demanda por parte del cultivo es una de las principales causa de pérdidas de N y por lo tanto, es la responsable de la disminución de la eficiencia de absorción de N con el agregado de fertilizante nitrogenado al momento de la siembra (Palta, 2010). Al relacionar el rendimiento con la cantidad de N absorbido por la planta, en general suele observarse una respuesta lineal y luego un plateau. En los ambientes explorados y bajo las condiciones climáticas presentes, a medida que aumentó el N absorbido por el cultivo el rendimiento aumentó de manera lineal sin llegar a un punto de saturación (Figura 22). Si bien el aporte de N del suelo varía entre sitios la eficiencia de absorción de N (EAbsN) no fue diferente entre testigos; en promedio el 63% del total de N es absorbido por el cultivo mientras que el 37% restante queda en el suelo sin ser aprovechado. La EAbsN varió en función del momento y dosis de fertilización, a medida que aumentó el aporte de N en suelo aumentó la EAbsN ($R^2:0,35$), siendo mayor en 40S+40M sin diferenciarse de 80M con una absorción del 76% del N del suelo (Figura 23- Tabla 12). Además, a mayor absorción de N se incrementó linealmente el contenido de N en el grano (Abbate y Andrade, 2014). En cuanto a las variedades, no presentaron diferencia en la absorción del N del suelo. La eficiencia de absorción del N del suelo está asociada al crecimiento de las raíces; la fertilización nitrogenada favorece el crecimiento radicular (Rasmussen et al., 2015), por ende la absorción de N fue mayor.

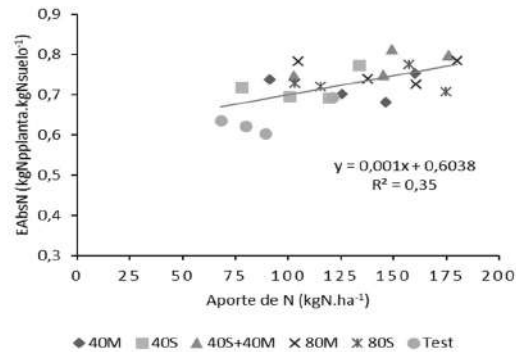


Figura 22: Relación entre la Eficiencia de absorción de N (EAbsN) y el aporte de N del suelo durante el ciclo del cultivo.

El N en el cultivo a cosecha varió entre 58,7 y 109 kg N ha⁻¹ para los tratamientos de fertilización. Los tratamientos 40S+40M y 80M acumularon en promedio 109 kg N ha⁻¹ diferenciándose de los demás tratamientos. Del total de N en planta el índice de cosecha de N (ICN), es decir, la cantidad de nitrógeno que se exportó al grano del total absorbido por la planta varió entre sitios, pero no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización. En promedio, el 54 % del N absorbido fue exportado al grano, por lo tanto, un retorno de N al sistema fue del 46%. Con el aumento del N absorbido se aumentan la cantidad de N exportada por el cultivo y también, se incrementa el nutriente remanente en el rastrojo (Tabla 12). En trigo sin limitaciones hídricas ni nutricionales puede alcanzar un ICN de 0,73 donde el grano logra exportar 154 kg N ha⁻¹ (Abbate y Andrade, 2014) esto resultó, si se lo compara con valores obtenidos en este experimento, superior en 122 kg N ha⁻¹ respecto el testigo y 98 kg N ha⁻¹ más alto que en el tratamiento 80M.

Tabla 12: Eficiencia de absorción de N (EAbsN), eficiencia interna (EI) y eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) para cada sitio (datos de testigo), variedad y tratamientos.

		EAbsN	ICN	EUN
		KgN.KgN		Kg grano.Kg N
Sitio	FP	0.67	0.40	15.61
	AP	0.63	0.57	25.22
	AT	0.60	0.63	26.79
	FT	0.63	0.70	29.80
Variedad	SY 100	0.73	0.54	23.59
	ACA 315	0.72	0.55	23.80
Tratamiento	Testigo	0.64	0.56	24.79
	40S	0.72	0.55	27.05
	80S	0.73	0.54	25.25
	40S+40M	0.76	0.52	22.99
	40M	0.72	0.55	21.58
	80M	0.76	0.54	20.50
	Sitio	ns	**	**
	Variedad	ns	ns	ns
	Tratamiento	**	ns	**
	S*V	ns	ns	ns
	S*T	ns	ns	ns
	V*T	ns	ns	ns
	S*V*T	ns	ns	ns

Indicando las interacciones con un $p < 0,05$ (**).

Tabla 13: Eficiencia de uso de nitrógeno fisiológica para la Interacción Sitio x Tratamiento de fertilización.

Sitios	EUN _{fis} (kg N grano. Kg N absorbido)							
	AP		AT		FP		FT	
Test	41.1	HIJ	43.6	JK	22.3	A	49.6	L
40S	45.9	JKL	34.7	EFG	23.7	AB	47.1	KL
80S	42.3	IJK	31.3	CDEF	21.2	A	43.2	JK
40S+40M	36.8	FGHI	27.5	BC	19.2	A	37.0	GHI
40M	33.9	DEFG	29.3	CD	20.9	A	36.3	FGH
80M	29.8	CDE	23.6	AB	19.2	A	36.5	FGH

Las letras indican diferencia significativa con un $p < 0.05$.

La disponibilidad de N condicionó el rendimiento del cultivo y los contenidos de proteína en grano. La EUN_{fis} presentó interacción sitios x tratamientos de fertilización (Tabla 13). La EUN_{fis} fue mayor en FT con el testigo y 40S (49 kg grano. kg N absorbido) diferenciándose de los demás tratamientos. El sitio FP si bien presentó el mayor aporte de N del suelo y mayor contenido de N en planta, durante la definición del periodo crítico se afectaron los componentes de rendimiento, por lo tanto, las eficiencias fueron

menores para este sitio y sin diferencia entre tratamientos. Las EUN_{fis} en fertilizaciones a la siembra tanto con 40S o con 80S fueron mayores que con fertilizaciones postergadas, y la fertilización dividida tuvo un comportamiento intermedio, siendo mayor en el sitio AP y FT sin diferencia (38.3 y 37.8 kg grano. kg N absorbido). Sin bien el trigo puede alcanzar EUN_{fis} cercana a 70 kg de grano por kg N absorbido, sin embargo cuando la disponibilidades de N son alta pero el rendimiento es bajo puede tomar valores de 30-35 kg de rinde por cada kg de N absorbido (Abbate y Andrade, 2014).

Las plantas tienen capacidad de absorber N de cinco a diez veces más que la demanda necesaria de N, sin embargo se establece una regulación negativa en la absorción de N por las raíces a partir de una señal de “saciedad” mayor que la señal de demanda de N, debido a la cantidad de aminoácidos circulante en el floema producto de la removilización (Imsande y Touraine, 1994). Por esta razón, la eficiencia de absorción de las raíces no es un factor de selección determinante, esto explica la similar E_{AbsN} del testigo entre los distintos ambientes con propiedades edáficas diferentes. Si la deficiencia de N es alta, por lo que la demandada de N es mayor que la cantidad de aminoácidos circulantes en el floema, la absorción de N absorbido aumenta (Triboi y Triboi-Blondel, 2002), tal es el caso ocurrido cuando se realizó la fertilización en macollaje.

La eficiencia global del sistema (EUN) en cuanto al rendimiento del testigo, presentó diferencias entre sitios. La EUN con respecto a los tratamientos, fueron mayores en las fertilizaciones a la siembra sin diferencia entre dosis, con un promedio de 26 kg grano kg N aportado por el suelo⁻¹. Para la determinación de rendimiento no hubo diferencias entre las variedades en cuanto a las eficiencias de uso de nitrógeno. A medida que el aporte de N del suelo se incrementó, la EUN disminuyó en 0,10 kg N en grano kg N en el suelo (R^2 : 0,52, $p=0.0001$) y la EUN_{fis} disminuyó 0,16 kg N en grano kg⁻¹ N en el cultivo (R^2 : 0,33, $p=0.003$) (Figura 24). Similares trabajos demostraron que la EUN disminuye a medida que aumenta la dosis de N aplicada (Rasmussen et al., 2015; Salvagiotti et al., 2009) pero que aumenta cuando se aplican otros nutrientes como P, S y K que pueden estar limitando la respuesta del N (Barraco et al., 2009; Duncan et al., 2018; Salvagiotti y Miralles, 2008).

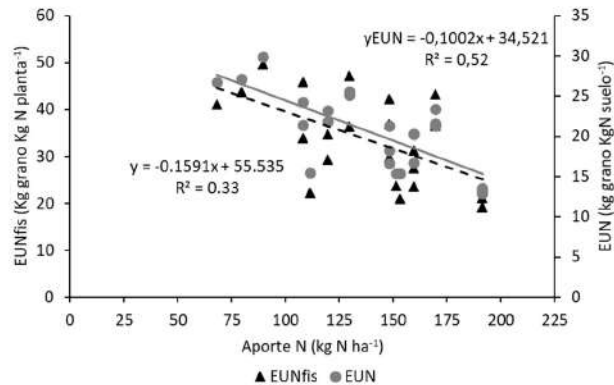


Figura 23: Relación entre la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EUN_{fis}) y el aporte de N ($N-NO_3+N_{min}+N$ fertilizante).

Si bien las mayores eficiencias se logran con bajos aportes de N en el sistema, dicho aumento va en contraposición al contenido de proteína presente en el grano. Existe un compromiso en obtener altos contenidos de proteína en grano y alta EUN, la EUN puede optimizarse, pero no maximizarse y el óptimo depende del nivel de proteína buscado (Abbate and Andrade, 2014). La inversa a la EUN_{fis} son los requerimientos relativos de N (RN), es decir, la cantidad de N que el cultivo tiene que absorber para alcanzar el rendimiento esperado. Dicho RN dependen de la concentración de proteína en grano. A mayor contenido de proteína los RN aumentan, pero la EUN_{fis} disminuye. Como cada sitio bajo estudio, presentan características edáficas que los diferencian, y las mismas influyen en la expresión del rendimiento del cultivo de trigo, cada sitio tendrá requerimientos distintos para lograr producir 1 Mg de grano con 11% de proteína. En el sitio AP se requirieron 35 kg N Mg^{-1} , para el sitio AT 34 kg N Mg^{-1} y para el FT 27 kg N Mg^{-1} . La EUN_{fis} con la que se logra la misma concentración de proteína son de 29, 32 y $37 \text{ kg grano kg N planta}^{-1}$ para AP, AT, y FT respectivamente (Figura 25). Los menores requerimientos de N para el sitio FT se deben al mayor ICN logrado y a la mejor conversión de cada unidad de N disponible en el suelo en grano (EUN: $29,8 \text{ kg grano kg}^{-1} \text{ N en suelo}$) favorecido por el mayor aporte de N del sistema respecto a los otros sitios. Alta concentración proteína eleva los requerimientos de N por lo que existe una situación de compromiso entre la alta EUN_{fis} con bajos requerimientos y la alta concentración de N en grano (Abbate y Andrade, 2014)

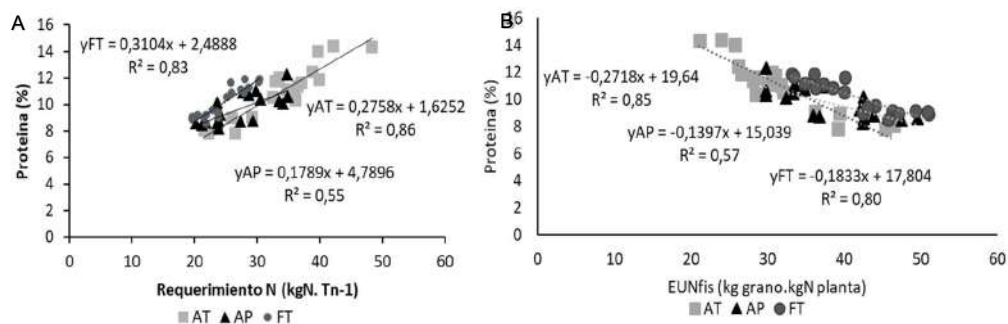


Figura 24: A) Contenido de proteína en función de los requerimientos de N para cada sitio. B) relación entre el contenido de proteína y la eficiencia fisiológica en el uso de N (EUN_{fis}) para cada sitio (AT= arenoso con tosca, AP= arenoso profundo, FT= franco con tosca).

La relación inversa entre el contenido de proteína y rendimiento se pone de manifiesto cuando las cantidades de N absorbido son constantes, pero dicha relación puede modificarse si se maneja el N disponible para el cultivo y por lo tanto se modifica el N absorbido. Como ya se presentó anteriormente, a medida que se requieren mayores contenidos de proteína los requerimientos de N por cada unidad de grano se incrementan, aunque sea en detrimento de una menor EUN_{fis} . Como se muestra en la Figura 26, el aporte de N del suelo presentó un máximo en el rendimiento con 178 kg N ha^{-1} en promedio de todos los sitios evaluados, mientras que la proteína no alcanzó la saturación con estos aportes de N, ya que la tendencia sigue siendo lineal ($p < 0.0001$). Esas diferencias en los puntos de saturación de ambas variables, tiene como consecuencia que no se logren los contenidos de proteína deseados con altos niveles de rendimiento esperado. Tales curvas están sujetas a una limitación ambiental que restringe el rendimiento con un máximo posible de 3464 kg ha^{-1} a lograr en la región semiárida.

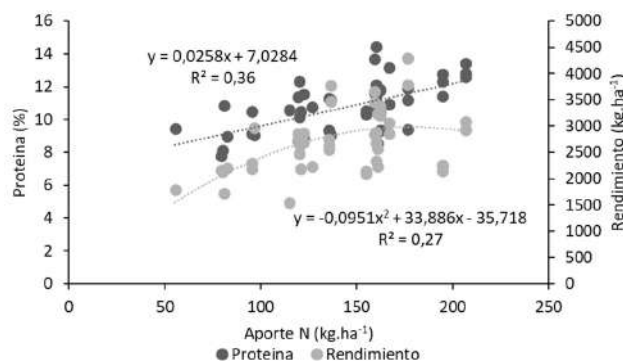




Figura 25: Relación del contenido de proteína y el rendimiento con el aporte de N ($N\text{-NO}_3 + N_{\text{min}} + N_{\text{fertilizante}}$).

Eficiencia en el uso del fertilizante

La cantidad de N que el cultivo absorbe está regulada por el ambiente, el manejo y el genotipo. Una estrategia usada para mejorar la eficiencia de absorción es equilibrar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo con la demanda de nitrógeno del cultivo. Si bien se presentaron diferencias en el rendimiento entre cada sitio, la respuesta ante los distintos tratamientos no presentó diferencia entre ellos, esto se reflejó también en que la EUN_{fert} no se diferenció entre sitios. En este caso, la $E\text{Abs}N_{\text{fert}}$ respecto del testigo fue mayor con las fertilizaciones en macollaje, aunque, la EUN_{fert} para la producción de grano fue mayor cuando se aplicó el fertilizante al momento de la siembra (Tabla 13), debido a que se favoreció el rendimiento. La EUN_{fert} disminuye a medida que se incrementa el contenido de N disponible para el cultivo. El N absorbido es mayor destinando más porcentaje a la parte vegetativa que al grano (Figura 27), similar comportamiento lo observaron Salvagiotti et al. (2009). La mejor eficiencia de absorción con fertilizaciones en macollaje está positivamente relacionada ($R^2: 0,46$) con un incremento en el contenido de proteína en grano (Figura 28), ya que incrementaron entre 3 y 4 puntos el nivel de proteína respecto del testigo. La respuesta a la fertilización en el contenido de proteína presentó variaciones entre los sitios; el que más respuesta obtuvo a la fertilización fue el AT con 3,67% más respecto del testigo. Dicha diferencia estuvo en relación con una mayor $E\text{Abs}N_{\text{fert}}$. Este comportamiento en el sitio AT se vió reflejado en los altos valores de proteína (14%) logrados con el tratamiento 80M (Figura 21). La mayor absorción de N se produce cuando la deficiencia de N en planta es mayor, por lo que incrementa su tasa de absorción de N. Esto se observa con el menor aporte de N del suelo del sitio AT respecto de FT y FP. El sitio AP, si bien presenta los menores aportes de N, la baja absorción pudo estar influenciada por las pérdidas de N del sistema (30 kg N ha^{-1}) (Tabla 13) posiblemente por lixiviación a capas más profundas. Los suelos de textura gruesa presentan mayor proporción de macroporos, con baja capacidad de retención de nutrientes y bajos aporte de la MO (Echeverría y Sainz Rozas, 2015) y considerando que el muestreo de N se realizó hasta los 60 cm. Los valores de EUN_{fert} fueron superiores a los $8,5 \text{ kg grano kg N}^{-1}$ encontrados por (Bono et al. (2010a) en la región semiárida y subhúmeda, pero menores a los encontrados en Frolla et al. (2017) con valores entre 15 a $30 \text{ kg grano kg}^{-1} \text{ N}$ con un balance de 100 kg N ha^{-1} .

Tabla 14: Nitrógeno (N) absorbido en planta a cosecha, rendimiento (kg ha^{-1}), EUN: eficiencia de uso de nitrógeno ($\text{kg grano kg N aplicado}^{-1}$), ENab: Eficiencia de N absorbido ($\text{kg absorbido kg N aplicado}^{-1}$), EI: eficiencia interna ($\text{kg grano kg absorbido}^{-1}$) y ICN: índice de cosecha de N (%).

Tratamiento	Rendimiento	N absorbido			EUN	ENab	EI	ICN
		En planta	En grano	N suelo				
Test	2141	29	32	32			55,84	
40M	2723	44	51	34	13,78 B	0,86 C	19,61	
40S	2753	39	42	30	15,29 B	0,52 A	43,03	
80S	3170	50	53	42	13,35 B	0,53 AB	30,07	
40S+40M	3081	57	56	32	11,75 AB	0,66 B	18,82	
80M	2843	55	58	37	8,77 A	0,66 B	16,38	

Las letras muestran las medias con diferencias significativas con un $p < 0.05$

Si bien no hubo diferencias entre tratamientos en el contenido de N en el suelo a cosecha (36 kg N ha^{-1} promedio de los tratamientos), la mayor acumulación de N en planta a cosecha de los tratamientos 40S+40M y 80M generaron un mayor retorno de N al sistema por un menor índice de cosecha de N ya que se produjeron cambios en la distribución del N en los distintos compartimentos, reduciéndose el ICN cuando se aplicaron mayores dosis de N (Salvagiotti et al., 2009). Similares valores se obtuvieron con aplicaciones de N de 85 y 105 kg N ha^{-1} en Rasmussen et al., (2015), pero con aplicaciones superiores (350 kg N ha^{-1}) aumenta el riesgo de pérdidas de N por lixiviación. La eficiencia interna (EI) fue mayor con las fertilizaciones a la siembra, pero no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.1365$). Esto explica por qué no se modificó la relación F:D de N a medida que aumentó el número de granos, si bien la TAN aumentó, hubo más eficiencia al trasladar el N absorbido al grano. El manejo de la fertilización implica por un lado aplicar dosis que no excedan los requerimientos del cultivo, y por otro, realizar las aplicaciones de nitrógeno justo antes del período de máxima absorción de nutrientes ya que se disminuyen las pérdidas por lavado y se aumenta la eficiencia de recuperación del N (Echeverría y Sainz Rozas, 2015). Ante similares contenido de N total en planta, los contenido de N en grano logrados fueron bajos en comparación con otros trabajos y también se reflejó en menores ICN (Divito et al., 2017; Duncan et al., 2018; Rasmussen et al., 2015; Salvagiotti et al., 2009). Esto posiblemente se deba a los menores rendimientos obtenidos, ya que cuando se incrementa el rendimiento potencial, la demanda total de N se incrementa por un mayor número de granos, sin modificar la demanda individual maximizando el flujo de N a los

destinos, los cuales son responsables de cambios en la actividad de la planta a través de la absorción de N o en la capacidad de removilización (Triboi y Triboi-Blondel, 2002).

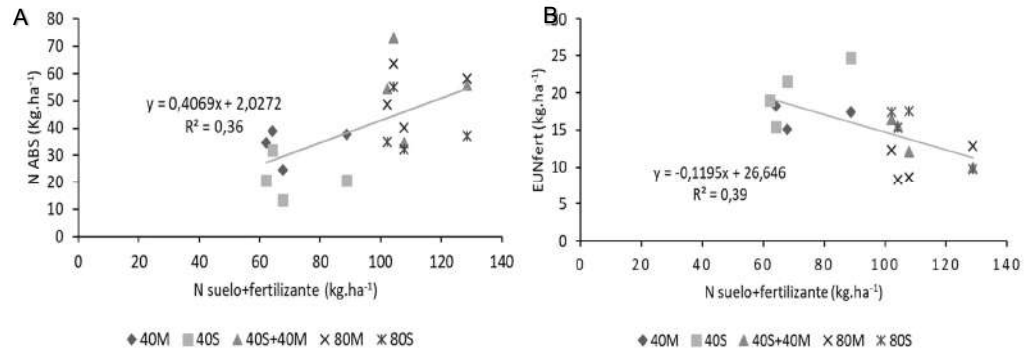


Figura 26: A) relación entre el N absorbido y el N del suelo mas fertilizante y B) EUNfert en función del N suelo mas fertilizante para los distintos tratamientos de fertilización.

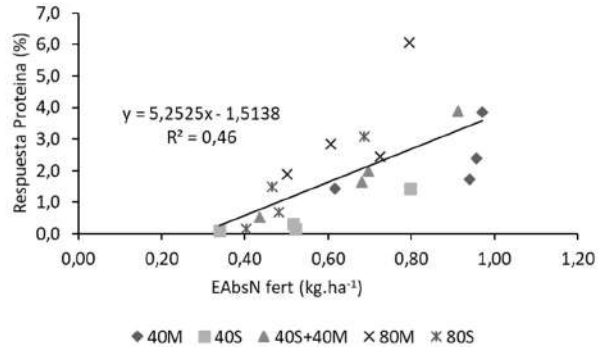


Figura 27: Respuesta al contenido de proteína en función de la Eficiencia de abosrción del fertilizante (EAb_{sN_{fert}}) para los distintos tratamientos.

Eficiencia en el uso del agua

En cuanto a la eficiencia de uso de agua no se presentó interacción variedad x sitio x tratamiento ($p=0,1945$). Se analizó el agua consumida de los tratamientos testigo y 80S; este último alcanzó mayor EUA ($5,7 \text{ kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$) que el testigo ($3,97 \text{ kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Las variedades no mostraron diferencia significativa entre sí ($p=0,5984$), y con respecto a los sitios, AT y FT tuvieron una EUA de $5,4 \text{ kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$, superando a AP y FP con $4,2 \text{ kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$.

Tabla 15: EUA para cada sitio, tratamiento y variedad. EUA= eficiencia de uso de agua: peso de granos/agua consumida por el cultivo.

	Sitio			
	AP	AT	FP	FT
EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	4,36 A	5,26 B	4,02 A	5,65 B
	Tratamientos			
	Testigo	80S		
EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	3,97 A	5,68 B		
	Variedad			
	ACA 315	SY 100		
EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	4,87 A	4,77 A		

En el momento de la siembra el sitio FP presentó 244 mm de agua útil en el perfil, diferenciándose de FT, AP, AT que obtuvieron 157, 162 y 131 mm respectivamente. La mayor fertilización produjo más biomasa y más rendimiento; consecuentemente el consumo de agua fue mayor que el testigo. El tratamiento fertilizado consumió 550 mm y el testigo 530 mm. En cambio, en 80S al fin del ciclo del cultivo el perfil contaba con 23 mm menos, pero con una mejor conversión de agua en grano.

La disponibilidad hídrica y la nutricional en la región semiárida pampeana son los principales factores limitantes del rendimiento. Asociada a estas limitaciones está el tipo de suelo, por su granulometría y capacidad de retención de agua. En el sureste de Australia el cultivo de trigo llegó a lograr una EUA de 20-22 kg ha⁻¹ mm⁻¹, muy por encima de lo logrado en este trabajo o por otros autores (Bono et al., 2017; Noellemeyer et al., 2013) debido a que el agua de las precipitaciones puede sufrir grandes pérdidas del sistema por la textura del suelo, el relieve, la profundidad del perfil. Por lo tanto, en estos ambientes, con baja EUA (Tabla 14) y donde no se alcanzaron rendimientos altos ante aumentos en la absorción de N (Figura 22) se podría esperar una co-limitación entre la disponibilidad hídrica y la nutricional llegando a un rendimiento máximo en cada sitio a medida que aumenta el aporte de N (Figura 26). Por lo tanto se infiere que el grado de co-limitación es alto cuando el rendimiento actual del cultivo de trigo está cercano al rendimiento alcanzable para cada sitio (Sadras, 2004). La EUA puede ser afectada por el aporte de nutrientes principalmente N y P. Trabajos en cebada cervecera muestran que el aporte de la fertilización nitrogenada incrementó significativamente la EUA para la producción de grano (Quiroga et al., 2006). La mayor CRA de los sitios FT y FP tuvo

influencia significativa en una mayor EUA, atribuido a una mayor disponibilidad de AU asociada a la profundidad del perfil y a la textura de los suelos que permiten acumular más agua durante el ciclo del cultivo (Krüger et al., 2004; Quiroga et al., 2005).

Atributos de la calidad panadera de las variedades en respuesta al ambiente y la fertilización

La calidad panadera de trigo se determina por la interacción de los distintos componentes que constituyen el grano, especialmente por la dinámica de acumulación de almidón y proteína durante la fase de crecimiento del grano. Para caracterizar la calidad del grano de trigo se evalúan atributos como la composición y cantidad de gluten, pruebas reológicas y evaluación del producto final (Abbate et al., 2010).

Tabla 16: Promedios de parámetros de calidad de las variedades evaluadas con los tratamientos

		ACA 315		SY 100	
		Testigo	80S	Testigo	80S
	PH	82	83	81	80
	Rend harina	66	64	65	63
	Prot	9,5	10,4	9,2	10,6
	Gluten	19,7	25,8	21,6	22,5
Alveograma	W	146	188	145	170
	P/L	4,04	4,04	4,06	3,99
Farinograma	EST	1,6	3,3	1,2	1,7
	AFLO	121	108	133	115
	Vol	452	471	454	445
	ICT	9	19	10	11
	Rinde	2146	3153	2136	3187

Referencias: PH= Peso hectolítrico (kg/hl), Rend Harina= rendimiento de la molienda de harina (%), Prot= proteína (%), Gluten: Gluten húmedo (%), W= fuerza panadera ($Mj \times 10^{-4}$), P/L= relación de equilibrio, EST= estabilidad (minutos), AFLO= aflojamiento (UF), Vol= volumen de pan (Cm^3), Rendimiento= en granos (kg/ha), ICT= índice de calidad de trigo.

La comparación de los parámetros de calidad de grano entre las dos variedades y los tratamientos testigo y fertilizado (80 kg ha^{-1} de N a la siembra) reveló diferencias debido a la fertilización, pero no tuvo efecto la variedad, ni la interacción variedad x fertilización (Tabla16). En cuanto al porcentaje de gluten, las variedades no presentaron diferencias entre ellas ($p=0.6533$), en promedio el gluten varió de 20,6 a 24 % para testigo y 80S respectivamente con diferencias significativas ($p=0.0354$). La proteína es

un estimador rápido y aproximado del contenido de gluten, aunque esa relación puede variar dependiendo del año, la localidad y del cultivar. En este caso, hubo relaciones significativas y positivas ($p < 0,0001$) entre porcentaje de proteína y gluten (Figura 29). Valores de gluten mayores al 28%, y a 11% en contenido de proteína se lograron con el tratamiento 80S para ACA 315. Dichos valores son los demandados por la industria molinera con destino para panificación industrial. Para la misma campaña, la variedad ACA 315 logró contenidos de 11,3, 13,4 y 12 % de proteína y de 31,3, 35,2 y 32,5 % de gluten para la región II SUR, Marcos Juárez y Pergamino respectivamente (INASE, 2017).

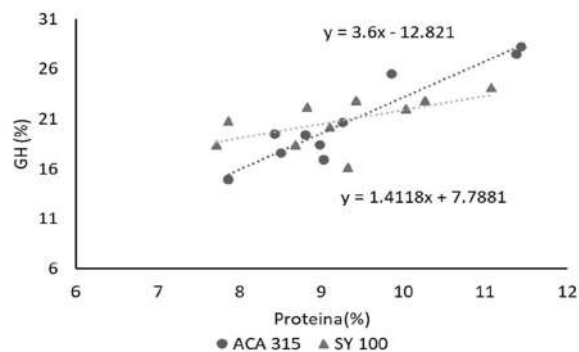


Figura 28: Relación entre el contenido de gluten húmedo y contenido de proteína para cada una de las variedades utilizadas.

Sin embargo, altos contenidos de proteína y gluten no están siempre directamente asociado a la calidad, ya que pueden no indicar un buen comportamiento con la fuerza de masa (W) (Cuniberti y Mir, 2012). De acuerdo a las características reológicas de la masa, el W fue de 145 y 179 para testigo y 80S ($p = 0,0103$) (Figura 30). Si bien con la fertilización se obtuvo más W que con el testigo, los valores fueron menores a un W deseable de $300 \text{ J} \times 10^{-4}$. La relación entre el contenido de gluten y proteína con el W fue significativa ($p = 0,0002$ y $p = 0,0001$), niveles de gluten de 27% y 11% de proteína lograron como máximo $204 \text{ J} \times 10^{-4}$ de W (Figura 31). El W no presentó diferencia entre variedades ante el aumento de la fertilización ($p = 0.1053$), a diferencia de los encontrado por (Alzueta, 2008) donde el GC 2 incrementó más el valor de W con aplicaciones de N en macollaje que con cultivares del GC1.

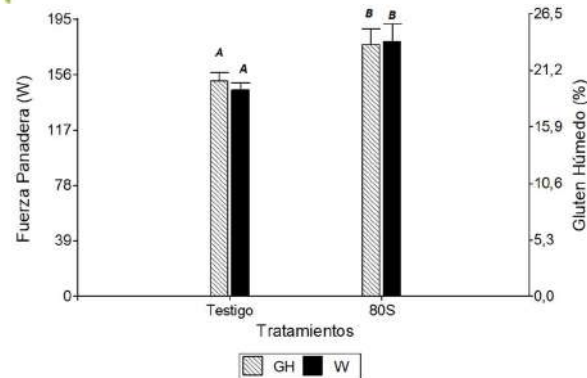


Figura 29: Fuerza Panadera(W)= $Mj \times 10^{-4}$ y Gluten húmedo para los tratamientos testigo y 80S.

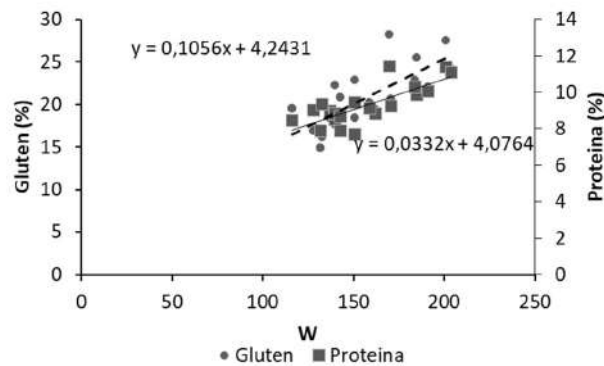


Figura 30: Relación del contenido de gluten y proteína con la fuerza de la masa (W).

En cuanto a los componentes de la fuerza de la masa (W) los cambios en el parámetro de tenacidad (P) no se presentaron diferencia significativa entre los niveles de fertilización ($p=0.1390$) y entre los genotipos ($p=0.7868$). Aunque la fertilización nitrogenada tiene una tendencia a incrementar el valor de P en 8% respecto del testigo. En cuanto al parámetro de extensibilidad (L) no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.0818$) y variedades ($p=0.6668$). Por el contrario, Alzueta (2008) observó que las diferencias se produjeron entre genotipos y no entre tratamientos de fertilización. La relación P/L, que establece el equilibrio entre la tenacidad (P) y extensibilidad (L) de la masa, disminuye a medida que aumenta el contenido de proteína y gluten. En el presente trabajo se obtuvieron valores promedio de 4,03 (Tabla 16), los cuales están por encima de la relación de 0,8- 1 demandada por la industria.

En la Figura 32, se presentaron las curvas alveográficas, se observaron altos valores de P (presión necesaria para la deformación de la masa) por lo tanto la masa presentó alta tenacidad. A medida que se incrementó la disponibilidad de N el L aumentó tal como se observa en la curva correspondiente a la fertilización 80S. Sin embargo, los niveles

de nitrógeno agregados aparentemente no fueron suficientes para bajar la relación P/L (Fuertes-Mendizábal et al., 2010). La estabilidad en el amasado y el aflojamiento varió entre 1,2 y 3,3 minutos y de 108 y 133 respectivamente, las diferencias no fueron significativas entre tratamientos ($p=0.1686$) ni entre variedades ($p=0.4803$). Cuanto mayor sea la estabilidad y menor el aflojamiento, más larga podrá ser la fermentación y mayor esfuerzo podrá soportar la masa. En este caso la estabilidad fue muy baja ya que lo demandado es de 15 min. La figura 33 A muestra cómo la curva del testigo cayó a los 1,4 min, mientras que la del fertilizado (B) lo hizo a los 11 min, con un aflojamiento menor.

La etapa de panificación está constituida por la fermentación y el horneado, y dependiendo de las características de la harina y de la masa es el volumen de pan que se obtiene. Para estos experimentos, el volumen de pan fue en promedio de 456 cm^3 sin diferencias entre sitios, tratamientos y variedades. Dicho valor está por debajo de lo requerido para la clasificación como grupo 1 de calidad ($>800 \text{ cc}$) (Cuniberti, 2004). A partir del análisis en conjunto de los diferentes parámetros de calidad, reflejado por el ICT, los valores de calidad fueron muy bajos comparados con los obtenidos por de la Horra et al. (2012).

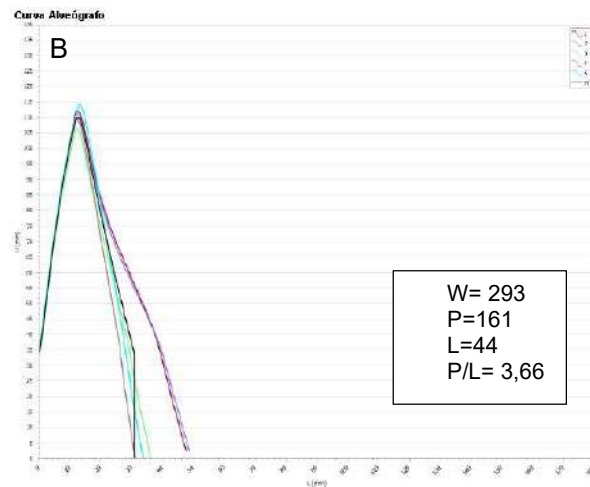
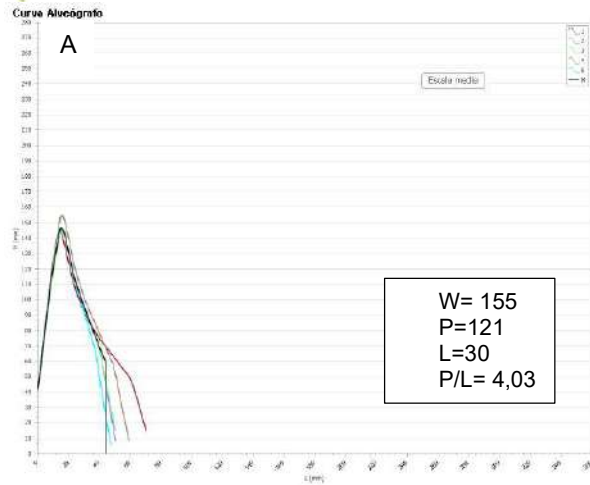


Figura 31: Curvas alveográficas: eje Y: P= tenacidad= presión máxima para la deformación (mm de agua); eje X: L= extensibilidad= longitud de la curva (mm de agua). W= fuerza panadera= área de la curva. P/L= relación de la configuración de la curva. A= Testigo B= Fertilizado (80S)

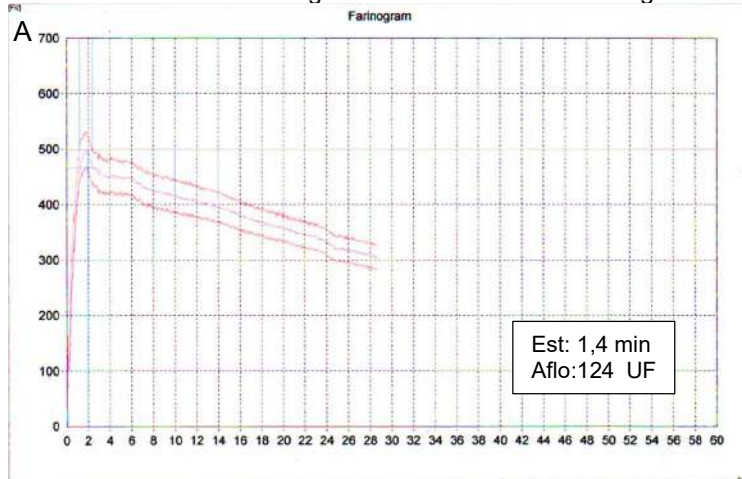




Figura 32: Curvas de farinograma: eje Y=UF= unidades farinográficas, eje X= minutos. Est= estabilidad= tiempo entre que la parte superior de la curva alcanza las 500 UF y el punto en el que la parte superior cruza nuevamente la línea de 500 UF. AFLO=aflojamiento= la diferencia de UF entre el centro de la curva de máxima consistencia y el centro de la curva 12 minutos después. (A) Testigo y (B) Fertilizado.

La variedad ACA 315, fue clasificada por el Comité de cereales de invierno de la INASE como Grupo 1 de calidad panadera por su potencial en los atributos de calidad (INASE, 2019). De acuerdo a un relevamiento de datos en la provincia de Buenos Aires ACA 315 logra un nivel de proteína de 11,6%, gluten de 28%, W de 261 y P/L de 1,29 y una estabilidad de 12,5 min. En cambio, la variedad SY 100 está clasificada como Grupo 2 con un nivel de proteína de 9,2%, gluten de 22%, W de 180 y P/L de 2,04, con una estabilidad de 6 min (Molfese, 2017). En estos ambientes semiáridos, la variedad SY 100 presentó más estabilidad en el comportamiento para la expresión de sus atributos de calidad, en cambio, para ACA 315 las condiciones ambientales restringieron su expresión del potencial de calidad, comportándose como un Grupo 2 sin presentar diferencias significativas con SY 100.

Si bien los granos de trigo obtenidos en los dos tratamientos de fertilización analizados no lograron cumplir con los estándares de panificación, se obtuvieron fuertes relaciones entre gluten/proteína y W/proteína. Conociendo el contenido de proteína de los tratamientos de fertilización dividida (40S+40M), fertilización postergada (40M y 80M), se estimó el contenido de gluten y W para cada variedad en los distintos sitios bajo estudio. La dosis y el momento de fertilización influyeron significativamente en el aumento del porcentaje de gluten y el W. Si bien la fertilización postergada de 80 kg N en macollaje logró superar el 28% de gluten, el W alcanzó como máximo valores de 200



(Figura 34). El W fue explicado en un 56% por el valor P, comparado con los valores habituales de 80-110 mm indicando que en estos ambientes la masa es muy tenaz, con baja extensibilidad ya que los valores de L normales son de 70-100. Similares resultados mostraron Gim et al., (2019) en ensayos en la localidad de Anguil donde obtuvieron masas muy tenaces, cortas que se desarrollaron con dificultad debido a la baja extensibilidad, con relación P/L de 4,5 para el testigo y 3,76 para 80S.

El gluten está formado por subunidades de gluteninas y gliadinas donde el entrelazamiento temporario en los polímeros de gliadinas, definen las propiedades visco-elástica de la masa. El mayor grado de polimerización comienza desde mitad del periodo entre antesis y madurez fisiológica, por lo que las condiciones ambientales (fertilización, precipitaciones y temperatura) afectan la composición y polimerización de las proteínas. La disponibilidad de nitrógeno tiene un mayor efecto sobre la proporción de gliadinas (w y y - gliadinas) y gluteninas de BPM. Si los aumentos en la disponibilidad de N van acompañados con fertilizaciones divididas en macollaje y en hoja bandera expandida, se mejoran las propiedades de la masa, incrementando la cantidad de gliadinas y gluteninas y sin modificaciones en las proteínas metabólicas; pero pequeños cambios en la cantidad de gluteninas producen grandes mejoras en los atributos de calidad (Fuertes-Mendizábal et al., 2010). En este ensayo, el incremento en la fuerza panadera (W) a través de estrategias de fertilización nitrogenada dividida o postergada fue asociado a un incremento en el gluten por consiguiente a las proteínas de reserva (gliadinas +gluteninas). A mayor concentración de proteína monoméricas (gliadinas), mayor es la extensibilidad y a mayor concentración de proteína poliméricas (gluteninas) mayor es la fuerza del gluten (Hernández-Espinosa et al., 2018). Como se observa en las curvas alveográficas, con la fertilización se incrementa el parámetro L, el responsable del aumento de dicho parámetro sería la fracción de gliadinas (Fuertes-Mendizábal et al., 2010; Wieser, 2007). Sin embargo, este aumento no fue suficiente para obtener una relación P/L más equilibrada.

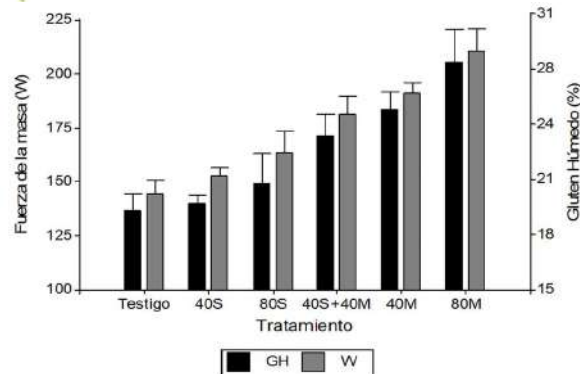


Figura 33: Fuerza de la masa (W) y gluten húmedo(%) en los diferentes tratamientos, calculados a partir de las ecuación de las regresiones.

Si durante la etapa de llenado de grano se produce alguna condición de estrés tal como el térmico, se podría alterar la composición de las fracciones proteica y por ende, la calidad (Brach, 2012). Períodos con moderadamente alta temperatura (25 a 32°C) reduce el rendimiento a través de la reducción del peso individual de los granos. En los sitios analizados pertenecientes a INTA y a Anguil durante la fase lag de crecimiento de granos en 8 de 10 días se presentaron temperaturas máximas de más de 25°C; y durante la fase de llenado hasta madurez transcurrieron 27 días de los cuales 12 días con temperaturas máximas mayores a 25°C y 3 días fueron con temperatura máximas superiores a 33°C (Figura 35). A los 19 días después de antesis, se registró un día con una temperatura mayor a 33°C con una duración de 8 hs. Wardlaw et al. (2002) encontraron que pocas horas (3 o 4hs) de temperaturas diurnas de 36°C durante el período de llenado efectivo resulta muy perjudicial para el peso de los granos, la dureza de la masa y la composición de proteínas de gluten con especial reducción en las gluteninas. Sin embargo, temperaturas moderadamente altas incrementan el contenido de proteína en relación con el contenido de almidón (Savin, 2010). En este ensayo se lograron alcanzar niveles de proteína mayores al 11% que fueron acompañadas de un incremento en el peso de los granos debido a las estrategias de fertilización, pero el registro de muy altas temperaturas pudo estar en relación con el efecto negativo en los atributos de calidad relacionados con la fuerza de la masa, la estabilidad en el amasado y en el volumen final del pan. Si bien altos valores de P se relacionarían con mayor contenido de glutenina, en estos ambientes no favorecieron las características reológicas de la masa.

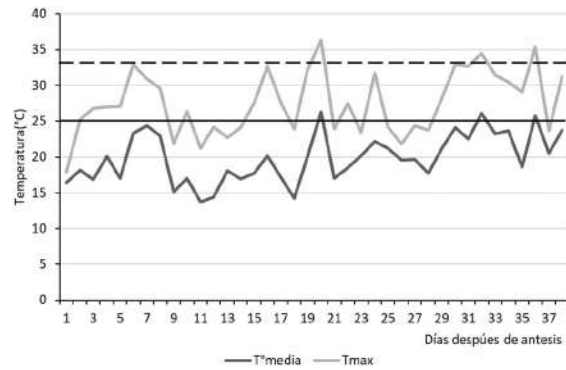


Figura 34: Temperatura media y máxima en los días posteriores a anthesis. La línea completa marca el límite de 25°C de temperatura moderadamente alta y la línea punteada el límite de 33°C de temperaturas muy altas.

CONCLUSIONES

Como conclusión de la evaluación del comportamiento del cultivo de trigo en cada ambiente, se observó que no se estableció interacción ambiente x manejo sobre la determinación del rendimiento, pero si en el contenido de proteína. Las propiedades edáficas como la textura y la CRA, la disponibilidad de agua en el suelo y el contenido de nitrógeno del suelo, en conjunto, condicionan para cada sitio la producción de biomasa alcanzada y por consiguiente el potencial de producción, generando diferencias tanto en rendimiento como en la concentración de proteína en grano.

La producción depende del aporte de nitrógeno del suelo, del fertilizante y de los momentos de aplicación logrando aumentos en la tasa de acumulación de nitrógeno durante todo su ciclo. Independientemente del sitio, las estrategias de fertilización nitrogenada 40S+40M y 80S fueron las que lograron mayor rendimiento en grano asociado a una mayor producción de biomasa y a la tasa de crecimiento del cultivo. En cuanto a las variedades las diferencias en rendimiento tuvieron interacción con el sitio sin lograr la mejor expresión en todos los ambientes. El manejo de la fertilización influyó en la absorción de nitrógeno y en la traslocación al grano, por lo tanto, en la eficiencia de uso de ese nutriente, con diferentes respuestas según los sitios. Sin embargo, se observó que el agregado de N mejora no solo los aspectos productivos si no también la eficiencia de uso de agua en cada ambiente.

Lograr altos rendimientos junto con valores de proteína que alcancen lo demandado por la industria, depende del N disponible en el suelo para el cultivo, ya que la síntesis de proteína está fuertemente limitada por la fuente nitrogenada. Obtener un mayor número de granos para incrementar el rendimiento aumenta paralelamente la demanda de N para lograr que cada grano alcance altos contenidos de proteína. La fertilización dividida incrementa el número de granos y también el contenido de proteínas por sobre 11% dependiendo de las condiciones de fertilidad química de los suelos y de que se establezcan las condiciones para que la tasa de acumulación de N durante el ciclo del cultivo no se vea restringida. Los sitios diferenciados por su aporte de nutrientes y su calidad edáfica tienen requerimientos de N distintos para lograr un 11% de proteína con el mayor rendimiento, optimizando la eficiencia en el uso del N. El cultivo de trigo en los sitios evaluados logró eficiencias de uso de N fisiológica baja en comparación con zonas de mayor potencial, asociado a los menores rendimientos obtenidos.

La fertilización nitrogenada favoreció el incremento de proteína y de gluten respecto del testigo sin fertilizar. Pero no tuvieron un comportamiento favorable para los atributos de calidad relacionados con las propiedades reológicas de la masa. Las variedades seleccionadas con distinto potencial de calidad no presentaron diferencias entre ellas, por lo que la variedad perteneciente al grupo 1 se comportó como de grupo 2. Las condiciones de temperaturas en el momento de llenado de grano, la cantidad de nitrógeno disponible y el posible desbalance con otros nutrientes como azufre que es un constituyente importante en las proteínas de reserva, no habrían favorecido atributos como la fuerza de la masa, estabilidad del amasado y el volumen de pan. El incremento de la fuerza de la masa por las estrategias de fertilización divididas, se asoció a un aumento en el porcentaje de gluten y por lo tanto a variaciones en las proteínas de reserva que lo constituyen. Este trabajo aporta conocimientos regionales acerca de la importancia de conocer el tipo de suelo sobre el que se está produciendo y para tomar decisiones de manejo de la fertilización; de cómo el aporte del nutriente y su dinámica suelo-planta y la interacción con las propiedades edáficas influyen en el rendimiento y en el contenido de proteína. Sin embargo, la calidad panadera en esta región está limitada por otros factores tanto climáticos como nutricionales que requieren más investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Abbate, P., 2017. Bases ecofisiológicas del manejo del cultivo de trigo en la región pampeana, in: Manual Del Cultivo de Trigo. pp. 33–52.
- Abbate, P., Cardós, M., Campaña, L., 2017. El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo, in: Manual Del Cultivo de Trigo. pp. 7–21.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., 2014. Los nutrientes en el suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos, in: Echeverría, H.E., García, F. (Eds.), Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, pp. 155–179.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P., 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci.* 124, 351–360. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073317>
- Abbate, P.E., Gutheim, F., Polidoro, O., Milisich, H.J., Cuniberti, M., 2010. Fundamentos para la Clasificación del Trigo Argentino por Calidad: Efectos del Cultivar, la Localidad, el Año y sus Interacciones. *Agriscientia* 27, 1–9.
- Acreche, M.M., Slafer, G.A., 2009. Variation of grain nitrogen content in relation with grain yield in old and modern Spanish wheats grown under a wide range of agronomic conditions in a Mediterranean region. *J. Agric. Sci.* 147, 657–667. <https://doi.org/10.1017/S0021859609990190>
- Álvarez, C., Peinemann, N., Quiroga, A., 2005. Efecto del sistema de labranza y fertilización sobre el rendimiento en molisoles diferenciados por el régimen de humedad, Proyecto Regional Agrícola INTA.
- Alzueta, I., 2008. Ecofisiología de la generación del rendimiento y la calidad en genotipos de trigo y su comparación con cebada.
- Andrade, F.H., Uhart, S.A., Cirilo, A., 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize 32, 17–25.
- Andriani, J.M., 2000. Crecimiento de las raíces de los principales cultivos extensivos en suelo hapludoles de la provincia de Santa Fé, in: El Agua En Los Sistemas Productivos. INTA Oliveros, pp. 35–44.
- Aramburu M, F., Monzon, J.P., 2017. Brechas de rendimiento en trigo en Argentina, in: Manual Del Cultivo de Trigo. pp. 20–21.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W., 2008. Manual del usuario.
- Barraco, M., Díaz-Zorita, M., Brambilla, C., Álvarez, C., Scianca, C., 2009. Respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada y nitroazufrada en suelos arenosos. *SUELO (ARGENTINA)* 27, 217–224.
- Belmonte, M.L., Casagrande, G.A., Deanna, M.E., Olguín Paez, R., Farrell, A., Babinec, F.J., 2017. Estadísticas Agroclimáticas de la EEA Anguil, Ediciones. ed, EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas INTA.
- Bingham, I.J., Blake, J., Foulkes, M.J., Spink, J., 2007. Is barley yield in the UK sink limited? II. Factors affecting potential grain size. *F. Crop. Res.* 101, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.11.004>
- Bono, A., Alvarez, R., 2008. Rendimiento de trigo en la Región Semiárida y subhúmeda pampeana. *Inf. Agron. Cono Sur* 41, 18–21.
- Bono, A., Quiroga, A., Frasier, I., 2010a. El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. E.E.A. INTA Anguil " Ing. Agr. Guillermo Covas 90.
- Bono, A., Quiroja, A., Frasier, I., 2010b. El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana, Publicación técnica INTA Anguil,.
- Bono, A., Roberto, A., 2007. Mineralización de nitrógeno del suelo en la región semiárida pampeana, in: Aspectos de La Evaluación y El Manejo de Los Suelos En La Región Semiárida Pampeana. Ensayos de Larga Duración.
- Bono, A.A., Álvarez, R., de Paepe, J.L., 2017. Water use of wheat, corn and sunflower in the semiárid pampas. *Cienc. del Suelo* 35, 273–283.
- Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E., 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. *F. Crop. Res.* 86, 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.* 54, 464. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>
- Brach, A.M., 2012. Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. *Voces y Ecos* 28, 26–29.
- Brocklehurst, P.A., 1977. Factors controlling grain weight in wheat. *Nat. Publ. Gr.* 266.
- Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R., Slafer, G., 1999a. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *J. Agric. Sci.* 132, 21–30.
- Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R., Slafer, G.A., 1999b. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *J. Agric. Sci.* 132, 453–459. <https://doi.org/10.1017/S0021859699006504>
- Calderini, D.F., Savin, R., Slafer, G. a., Abeledo, L.G., Savin, R., Slafer, G. a., 1999c. Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and post-anthesis under field conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 26, 453. <https://doi.org/10.1071/PP99015>
- Cárcova, J., Abeledo, G., Pereira, M.L., 2015. Análisis de la generación de rendimiento: crecimiento, partición y componentes, in: Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo. pp. 75–98.
- Casagrande, G.A., 1998. Caracterización agroclimática para el cultivo de trigo en la provincia de La Pampa, in: Actualización Técnica Del Cultivo de Trigo En La Provincia de La Pampa. pp. 10–18.
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O., 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *F. Crop. Res.* 69, 259–266. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00149-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00149-0)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.001>
- 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, 844–851. <https://doi.org/10.1071/CP10018>
- Cuniberti, M., 2004. Propuesta de Clasificación del Trigo Argentino. *IDIA* 4, 21–25.
- Cuniberti, M., Mir, L., 2016. Proteínas del trigo. Factores que influyen en su expresión. Publicaciones EEA INTA Marcos Juárez.
- Cuniberti, M., Mir, L., 2012. Relación gluten / proteína en trigo. *Lab. Calid. Ind. Cereal. y Ol. INTA.*
- de la Horra, A.E., Seghezzi, M., Molfese, E., Ribotta León, P.A., 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: Índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia* XXIX, 81–89.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., Stanca, A.M., 1998. Uptake and agronomic efficiency

- of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9, 11–20. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00019-7)
- 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. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100020016x>
- Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R., Quiroga, A., 2019. Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida. *Semiárida Rev. la Fac. Agron. UNLPam* 29, 53–62. [https://doi.org/10.19137/semiárida.2019\(01\).53-62](https://doi.org/10.19137/semiárida.2019(01).53-62)
- Divito, G., Correndo, A.A., García, F.O., 2017. La Nutrición del cultivo de trigo, in: *Manual Del Cultivo de Trigo*. pp. 67–84.
- Dreccer, M.F., Ruiz, R.A., Maddonni, G.A., Satorre, E.H., 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano, in: *Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo*. pp. 481–497.
- Duncan, E.G., O'Sullivan, C.A., Roper, M.M., Palta, J., Whisson, K., Peoples, M.B., 2018. Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 364–373. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700376>
- Echeverría, H.E., Sainz Rozas, H., 2015. Dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, in: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. pp. 189–228.
- Egli, D.B., Fraser, J., Leggett, J.E., Poneleit, C.G., 1981. Control of Seed Growth in Soya Beans [*Glycine max* (L .) Merrill] 171–176.
- Fernandez, J., 1998. Caracterización agroedáfica del cultivo de trigo en la provincia de la pampa, in: *Actualización Técnica Del Cultivo de Trigo En La Provincia de La Pampa*. pp. 7–10.
- Fernández, R., Quiroga, A., Álvarez, C., Lobartini, C., Noellemeyer, E., 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Cienc. del Suelo* 34, 279–292.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.03.010>
- Fischer, R.A., 2007. The importance of grain or kernel number in wheat: Areply to Sinclair and Jamieson. *F. Crop. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.002>
- Fischer, R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105, 447–461. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fontana, F., Paturlane, M., Saks, M., Quiroja, A., 2006. Efecto del suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. *XX Congr. Argentino la Cienc. del Suelo*.
- Fraschina, J.A., 2017. ¿Por qué es importante la calidad del trigo?, in: *Manual Del Cultivo de Trigo*. pp. 57–65.
- Frolla, F., Zilio, J., Krüger, H., 2017. Diagnóstico y fertilización nitrogenada de trigo en el sudoeste bonaerense. Campaña 2016/17 [WWW Document]. Inf. técnico EEA INTA Bordenave Minist. Agroindustria. URL https://inta.gov.ar/sites/default/files/informe_tecnico_fert_tgo_campana_2016_-_plantilla_oficial_0.pdf (accessed 5.15.18).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.03.001>
- 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.
- Gaggioli, C., Noellemeyer, E., Quiroga, A., 2014. Productividad y eficiencia de uso de agua de cereales invernales en dos suelos contraste de la región semiárida pampeana. *Asoc. Argentina Cienc. del suelo* 2011–2012.
- García, F., Reussi Calvo, N.I., 2014. Evaluación de la fertilidad y recomendaciones de fertilización: Trigo, in: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. pp. 401–434.
- Gim, M.S., Mg, A., Cardozo, P., Dra, U., Fern, R., Anguil, C.E.E.A., Mg, I., Ing, U., Elizabet, A., Evaluador, Q., 2019. Calidad panadera y composición proteina de harina de trigo ante el agregado de nitrogeno en la provincia de la pampa. Universidad Nacional de la Pampa.
- 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>
- Grasso, A., González, M.F., 2018. Fertilizantes en Argentina-Análisis del Consumo. [WWW Document]. URL <https://horizonteadigital.com/fertilizantes-en-argentina-analisis-del-consumo-por-andres-a-grasso-y-maria-fernanda-gonzalez-sanjuan/> (accessed 10.29.19).
- Hernández-Espinosa, N., Mondal, S., Autrique, E., Gonzalez-Santoyo, H., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Singh, R.P., Guzmán, C., 2018. Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. *F. Crop. Res.* 215, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.003>
- Imsande, J., Touraine, B., 1994. N demand and the regulation of nitrogen uptake. *Plant Physiol.* 105, 3–7.
- INASE, 2019. Grupo de Calidad de Trigo Pan | Argentina.gov.ar [WWW Document]. URL <https://www.argentina.gov.ar/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan> (accessed 10.22.19).
- INASE, 2017. Grupo de Calidad de Trigo Pan | Argentina.gov.ar [WWW Document]. URL <https://www.argentina.gov.ar/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan> (accessed 10.22.19).
- Juste, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M., Thelier-Huches, L., 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.* 74, 397–407.
- Krüger, H., Frolla, F., Zilio, J., 2004. Trigo en zonas marginales. Precipitaciones, retención en el suelo y EUA, in: *XXIV Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*.
- Kruk, B.C., Calderini, D.F., Slafer, G.A., 1997. Grain weight in wheat cultivars released from 1920 to 1990 as affected by post-anthesis defoliation. *J. Agric. Sci.* 128, 273–281.
- Larroque, O., 2010. Aspectos de calidad de trigo, in: *Avance En Ecofisiología de Cultivos Agrícolas*.
- Liao, M., Palta, J., Fillery, I.R.P., 2006. Root characteristics of vigorous wheat improves early nitrogen uptake. *Aust. J.*

Agric. Res. 57, 1097–1107.

- Loewy, T., 1990. Efecto simple y combinado del N sobre el trigo en tres épocas de aplicación. *Cienc. del Suelo* 8.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00030-5)
- MAGyP, 2019. Datos Agricultura, Ganadería y Pesca - Serie de tiempo [WWW Document]. URL <https://datos.agroindustria.gov.ar/dataset/c0d9a055-7c21-4616-840b-f70410996489/archivo/1c3fb8f1-065c-4b2b-8b25-c32b1a14a241> (accessed 10.26.19).
- Miralles, D., Windauer, L., Gomez, N., 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos, in: Satorre, E., Benech-Arnold, R., Slafer, G.A., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M.E., Savin, R. (Eds.), *Bases Funcionales Para Su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, pp. 61–74.
- Miralles, D.J., Slafer, G.A., 1995. Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations. *F. Crop. Res.* 43, 55–66. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00041-N](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00041-N)
- Miranda, R., Salomón, N., 2001. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo. Ed. Hemisferio Sur. INIA La Estanzuela, Uruguay.
- Molfese, E., 2017. Descripciones alveográficas y farinográficas de variedades de trigo pan. Ediciones INTA.
- Monzon, J.P., Sadras, V.O., Andrade, F.H., 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *F. Crop. Res.* 98, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.010>
- Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A., 2013. Crop and Tillage Effects on Water Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. *Agriculture* 3, 1–11. <https://doi.org/10.3390/agriculture3010001>
- Noellemeyer, E., Quiroga, A.R., Esterlich, D., 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 65, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.07.007>
- Otamendi, M., 2004. Demandas de calidad de trigo a nivel mundial. *IDIA*, 21, 6:11-15. *IDIA* 21, 11–15.
- Palta, J.A., 2010. Baja eficiencia de absorción de nitrógeno en trigo ¿podemos mejorarla?, in: *Avance En Ecofisiología de Cultivos Agrícolas*. p. [69-181.
- Quiroga A., Babinec, F., Ormeño, O., Goñi, L., 1996. Labranza conservacionista y fertilización de trigo en la región semiárida pampeana. XV Congr. AACS, La Pampa.
- Quiroga, A., Buschiazzi, D., Peinemann, N., 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163, 591–597.
- Quiroga, A., Fernandez, R., Funaro, D., 2010. Bases funcionales para el manejo del agua en molisoles y entisoles de la Región Pampeana, in: *Avance En Ecofisiología de Cultivos Agrícolas*. pp. 153–165.
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O., Frasier, I., Noellemeyer, E., 2008. Influencia del ambiente edáfico y la fertilización nitrogenada, en cultivares de trigo diferenciados por su potencial. *Rev.Fac. Agron. UNLPam* 19, 24–33.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>
- Quiroga, A., Saks, M., Fernandez, R., Otamendi, M., Funaro, D., 2007. Aspecto de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. *Ensayos de larga duración*, N° 69. ed. Ediciones INTA.
- Quiroga, A.R., Funaro, D.O., Fernandez, R., Noellemeyer, E.J., 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Cienc. del Suelo* 23, 79–86.
- Quiroga, A.R., Galantini, J.A., Studdert, G.A., 2017. La Materia Organica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo, in: *Manejo y Conservación de Suelo Con Especial Énfasis En Situaciones Argentinas*. Asociación argentina de la ciencia del suelo, pp. 139–159.
- Quiroga, A.R., Studdert, G.A., 2014. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica, in: Echeverría, H.E., García, F.O. (Eds.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. pp. 73–100.
- Rasmussen, I.S., Dresbøll, D.B., Thorup-Kristensen, K., 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization-Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *Eur. J. Agron.* 68, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.003>
- Reussi Calvo, N.I., Echeverría, H.E., 2006. Estrategias De Fertilización Nitrogenada En Trigo : Balance Hídrico Para El Sur Bonaerense Wheat Nitrogen Fertilization Strategy : Water Balance for the South of 24, 115–122.
- Reussi Calvo, N.I., Sainz Rozas, H., Echeverría, H., Berardo, A., 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105, 321–328. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0287>
- Romano, N., Montoya, J., Frasier, I., 2010. Ensayos comparativos de rendimiento de trigo pan en la región semiárida pampeana 1 1 EEA INTA Anguil co, in: *El Cultivo de Trigo En La Región Semiárida y Subhúmeda EEA INTA Anguil*.
- Sadras, V.O., 2004. Yield and water-use efficiency of water-and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. *Eur. J. Agron. J. Agron.* 21, 455–464. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.007>
- Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *F. Crop. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
- Salvagiotti, F., Miralles, D.J., 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *Eur. J. Agron.* 28, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.08.002>
- Savin, R., Sorlino, D., 2015. Calidad de los granos y estimadores mas comunes, in: *Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo*.
- Savin, R., 2010. Estrés térmico y calidad en cereales de invierno, in: *Avance En Ecofisiología de Cultivos Agrícolas*. pp. 203–210.
- Scian, B., 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina. *Geoacta* 27, 30–52.
- Seber, G.A.F., 1984. *Multivariate observations*. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2010. Grain weight response to foliar diseases control in wheat

- (*Triticum aestivum* L.). *F. Crop. Res.* 120, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.004>
- Skjemstad, J.O., Baldock, J. a, 2006. Chapter 21 Total and Organic Carbon, in: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science.
- Slafer, G., Miralles, D., Savin, R., Whitechurch, E., Gonzales, F.G., 2015. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo, in: Satorre, E.H., Benech-Arnold, R., Slafer, G., de la Fuente, E.B., Miralles, D., Otegui, M.E., Savin, R. (Eds.), *Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo*. Facultad de agronomía-Universidad Nacional de Buenos Aires, pp. 99–132.
- Slafer, G.A., Savin, R., 1994. Source-sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *F. Crop. Res.* 37, 39–49. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90080-9)
- Studnicki, Marcin, Wijata, Magdalena, Sobczyński, Grzegorz, Samborski, Stanisław, Gozdowski, D., Rozbicki, Jan, Studnicki, M, Wijata, M, Sobczyński, G, Samborski, S, Rozbicki, J, 2016. Effect of genotype, environment and crop management on yield and quality traits in spring wheat. *J. Cereal Sci.* 72, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.012>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00146-0)
- Trigo Argentino, 2018. Informe institucional de su calidad.
- Uhart, S.A., Andrade, F.H., 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35, 1376–1383. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050020x>
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W., 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Funct. Plant Biol.* 29, 25–34. <https://doi.org/10.1071/PP00147>
- Wieser, H., 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiol.* 24, 115–119.
- Zilio, J.P., Frolla, F.D., Krüger, H.R., 2017. Parámetros edáficos y productivos que condicionan el contenido de proteína en grano de trigo. *Acta AACCS III Jornadas Nacioanles Suelos en Ambient. semiárido* 131-. <https://doi.org/10.1002/14356007.a13>