

RENDIMIENTO Y CALIDAD COMERCIAL EN CEBADA CERVECERA (*Hordeum vulgare*) EN DIFERENTES LOCALIDADES DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES: RESPUESTA A LA DISPONIBILIDAD Y EFICIENCIA EN EL USO DE NITROGENO

Tesina
del alumno

MIGUEL ANGEL SANTANGELO

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Pergamino, 14 de Julio de 2014

RENDIMIENTO Y CALIDAD COMERCIAL EN CEBADA CERVECERA (*Hordeum vulgare*) EN DIFERENTES LOCALIDADES DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES: RESPUESTA A LA DISPONIBILIDAD Y EFICIENCIA EN EL USO DE NITROGENO

Tesina
del alumno

MIGUEL ANGEL SANTANGELO

Aprobada por el Tribunal Evaluador de Tesina

Ing. Sebastián Arisnabarreta – Ing. Javier Elisei – Ing. Gustavo Ferraris

Dra. Fernanda Gonzalez
Directora

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Pergamino, 14 de Julio de 2014

RENDIMIENTO Y CALIDAD COMERCIAL EN CEBADA CERVECERA (*Hordeum vulgare*) EN DIFERENTES LOCALIDADES DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES: RESPUESTA A LA DISPONIBILIDAD Y EFICIENCIA EN EL USO DE NITROGENO

Resumen:

La superficie dedicada al cultivo de cebada cervecera en Argentina ha crecido de manera importante en los últimos años. Actualmente la provincia de Buenos Aires aporta el 90% de la producción. La expansión del área productora hacia la zona norte de la provincia ha generado una demanda creciente de estudios que permitan optimizar el manejo para la obtención de altos rendimientos y adecuada calidad comercial. Los factores sitio-ambientales (lluvia, temperatura, suelo), como de manejo (ej. variedad, fechas de siembra, fertilización nitrogenada), que modifiquen el rendimiento, calibre y porcentaje de proteína resultarán en variaciones en la calidad de los granos de cebada cervecera. **El objetivo general de este trabajo fue estudiar la respuesta de rendimiento, calibre y proteína, a la fertilización nitrogenada de base y foliar, en 2 variedades de cebada cervecera, cultivadas en 2 localidades del norte de la provincia de Buenos Aires.** Los objetivos particulares consistieron en determinar, ante dosis crecientes de disponibilidad de nitrógeno de base y aplicación de nitrógeno foliar en el estado de hoja bandera (HB, Zadoks 39) para 2 variedades (Scarlet y Carisma) y 2 localidades del norte de Buenos Aires (Pergamino –PE, e Irineo Portela –PO-): el rendimiento y sus determinantes numéricos y ecofisiológicos; el nitrógeno

absorbido a madurez fisiológica y la eficiencia en el uso de nitrógeno fisiológica para producción de biomasa y rendimiento y, finalmente, la calidad comercial de los granos (calibre y proteína). El rendimiento aumentó en forma significativa en respuesta al incremento del Nbase en PO, no observándose diferencias en PE. Al ajustar curvas de respuesta, el valor de saturación del rendimiento al Nbase fue similar entre variedades, oscilando entre 100 y 120kgN ha⁻¹. El nitrógeno absorbido en madurez dependió del Nbase y de la localidad oscilando entre 54 y 102 kgN ha⁻¹. La eficiencia en el uso de nitrógeno para la producción de rendimiento (EUNRf), dependió de la localidad y no difirió entre variedades. La eficiencia en el uso de nitrógeno para la producción de biomasa (EUNBf) fue mayor en Scarlet que en Carisma, pero sólo en PE. La EUNRf y la EUNBf disminuyeron con el Nfoliar en las dos localidades. La eficiencia en uso de nitrógeno agronómica (EUNa) disminuyó en general al aumentar la dosis de nitrógeno. Finalmente, el aumento del Nbase en PO, donde hubo respuesta significativa del rendimiento, no se tradujo en caídas en calibre los granos ni en aumento del porcentaje de proteína. En PE, donde también aumentó el número de granos ante aumentos del Nbase pero asociado a caídas del peso de granos que resultaron en poco impacto en el rendimiento, sí se observó una caída en calibre. La aplicación de Nfoliar modificó muy poco el calibre pero incrementó el porcentaje de proteína.

1- Introducción y antecedentes

1.1- Contexto actual

La superficie dedicada al cultivo de cebada cervecera en Argentina ha crecido en forma importante durante los últimos años (>50% en el último decenio), llegando a cosecharse en la campaña 2012/13 una superficie de 1.694.545 hectáreas (Gráfico 1).

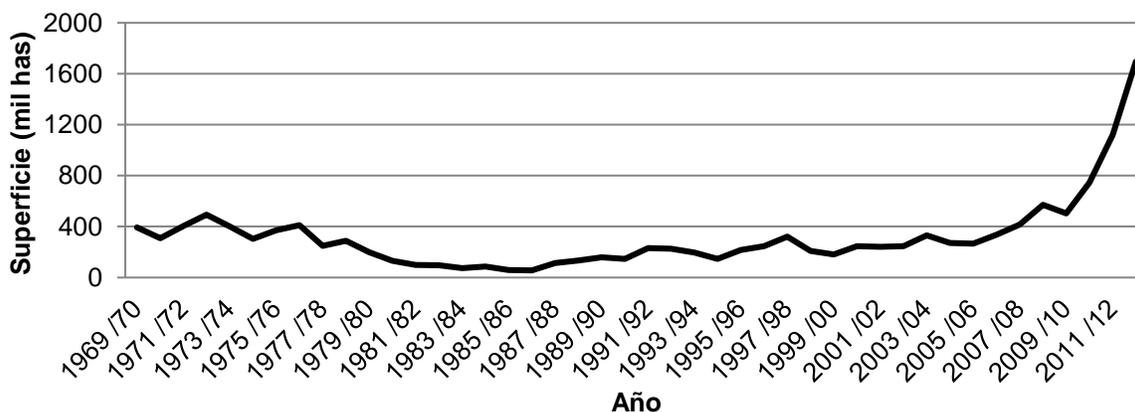


Gráfico 1. Superficie total anual cosechada de cebada cervecera. Fuente: MAGYP

La Provincia de Buenos Aires aporta el 90% de la producción y si bien tradicionalmente el sur bonaerense ha sido la zona típica de cultivo (40% de la producción), durante los últimos años se ha producido una expansión hacia el centro-norte de la provincia de Buenos Aires (actualmente aporta el 15% de la producción nacional), siendo los partidos con mayor superficie sembrada Junín y Gral. Arenales (12-24.000 ha), seguidos por Pehuajó, C Casares, 9 de Julio, 25 de Mayo y Rojas (1000-6000 c/u), finalizando con Leandro N. Alem (1500-3000 ha) y Pergamino (>1500 ha). (Fuente: <http://www.minagri.gob.ar> y <http://www.sija.gov.ar>).

Esta expansión ha generado una demanda creciente de estudios que permitan optimizar el manejo en la zona norte de la provincia de Buenos Aires para la obtención de altos rendimientos y adecuada calidad comercial. Dicha calidad dependerá de: (i) la

distribución de tamaño de los granos (calibre), donde **un mínimo** de 85% granos deben quedar retenidos en la zaranda de 2,5mm, y **como máximo** un 3% por debajo de zaranda de 2,2 mm, y (ii) el porcentaje de proteína de los mismos que debe oscilar entre 10 y 12%, con tolerancia hasta 13% dependiendo del año y del contrato particular con la maltería. Todos aquellos factores, ya sea sitio-ambientales (lluvia, temperatura, suelo) como de manejo (ej. variedad, fechas de siembra, fertilización nitrogenada) que modifiquen el rendimiento, calibre y porcentaje de proteína resultarán en variaciones en la calidad de los granos de cebada cervecera. Por otro lado, el genotipo tiene un fuerte impacto tanto en rendimiento como en calidad, interaccionando con las variables sitio-ambientales y de manejo. Comprender cómo influyen e interaccionan los diferentes factores en la región permitirá delinear pautas de manejo para optimizar el rendimiento y la calidad comercial.

1.2.- Generación de rendimiento

Desde el punto de vista de los componentes numéricos, el rendimiento resulta del producto del número (NG) y el peso de los granos (PG). Este último está determinado por la tasa y duración de llenado de granos, mientras que el NG varía de acuerdo al número de granos por espiga (NGE) y al número de espigas por unidad de superficie (NE). En general, las variedades de cebada cervecera utilizadas en Argentina son de **espigas de 2 hileras de granos**, aunque a nivel mundial también se suelen encontrar de 6 hileras **de granos**. En las variedades de espigas de 2 hileras de granos, las variaciones en el NG están más asociadas al NE que al NGE (Arisnabarreta y Miralles 2006). Las variaciones en el NG explican en mayor medida las variaciones

en rendimiento que el PG (**Miralles et al. 2011**). El período crítico para la generación del NG en cebadas de 2 hileras se ubica entre los 40 y los 10 días previos a la espigazón del cultivo, principalmente asociado a la generación de número de granos en macollos (Arisnabarreta y Miralles 2008).

Desde el punto de vista de los componentes ecofisiológicos, el rendimiento resulta del producto de la biomasa total (BT) producida por el índice de cosecha (IC). En general, las mayores variaciones en rendimiento están asociadas a cambios en la BT. El IC es generalmente estable, salvo bajo condiciones de estrés durante el periodo crítico de generación de número de granos y/o durante el llenado de los mismos.

1.3.- Calibre y proteína

Dado que la cebada cervecera es un insumo directo para la industria maltera, la uniformidad del tamaño de grano (calibre) es fundamental para lograr uniformidad en el proceso de malteo (principalmente en la germinación controlada, el primer paso del proceso). El calibre está fuertemente controlado por el genotipo y por su interacción con el ambiente explorado durante el llenado de grano. La concentración de proteínas que posee un grano maduro es el resultado del balance entre la acumulación de proteínas y del resto de los componentes, especialmente del almidón (Jenner *et al.* 1991, Kettlewell 1999). Altas temperatura y/o baja disponibilidad hídrica durante el llenado de granos afectan fuertemente el PG (Wardlaw *et al.* 2002) y así el calibre de los mismos. Ante estas condiciones la deposición de carbohidratos es la que se afecta en mayor medida, resultando en incrementos en el porcentaje de proteína (efecto

dilución) que conducen a **deteriorar** la calidad del grano. En condiciones libres de estrés, alrededor del 80-90% del almidón para el llenado de los granos proviene de la fotosíntesis post-floración del cultivo, mientras que solamente 10-20% proviene de la removilización de reservas hacia los granos (Schnyder y Baum 1992). Contrariamente, la mayor parte de la proteína de los granos es sintetizada a partir del nitrógeno (N) que está almacenado o cumpliendo funciones metabólicas en órganos vegetativos.

1.4.- Respuesta a la disponibilidad y eficiencia en el uso del N

La disponibilidad y eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) a nivel de cultivo constituye una de las principales estrategias destinadas a mejorar la productividad de los cultivos de grano (Sylvester-Bradley y Kindred 2009). En función de términos asociados a la economía del N del cultivo, el rendimiento puede ser explicado como:

$$\text{Rendimiento (g m}^{-2}\text{)} = \text{Nabs (g N m}^{-2}\text{)} \times \text{EUNBf (g g N}^{-1}\text{)} \times \text{IC o}$$

$$\text{Rendimiento (g m}^{-2}\text{)} = \text{Nabs (g N m}^{-2}\text{)} \times \text{EUNRf (g g N}^{-1}\text{)}$$

donde: Nabs es el nitrógeno total absorbido por el cultivo a madurez, IC es el índice de cosecha y EUNBf y EUNRf constituyen las eficiencias fisiológicas en el uso del Nabs a madurez **fisiológica** para BT y rendimiento, respectivamente.

La fertilización nitrogenada en etapas tempranas del cultivo (fertilización base) incrementa el rendimiento a través de un aumento del NG debido a aumentos en el NE y en el NGE (García del Moral et al. 1985, 1990,1999; Arisnabarreta y Miralles 2006; Fischer 1993a). Desde el punto de vista de los componentes ecofisiológicos, la fertilización nitrogenada aumenta la BT con pocos cambios en el IC (Fischer 1993b, Arisnabarreta y Miralles 2006). Los determinantes del contenido de N en grano son

diversos y no claramente definidos. El nitrógeno absorbido (Nabs) por el cultivo en pre-antesis y traslocado a grano en post-antesis constituye la principal fuente nitrogenada para los granos, ya que la cantidad de Nabs post-antesis suele ser bajo debido a un agotamiento de la fuente nitrogenada en el área de exploración radical, a pesar que estos órganos (raíces) se mantienen activos (**Dreccer et al. 2008**). Por ello, aumentos en la fuente nitrogenada por unidad de grano durante la etapa de llenado a través de aplicaciones tardías de fertilizantes (generalmente aplicaciones foliares) se traducen en aumentos directos en el contenido de N en grano (Martre *et al.* 2003; Bancal *et al.* 2008; Passarella *et al.* 2008) y pueden determinar aumentos del porcentaje de proteína (Fischer 1993b). La respuesta a la fertilización **nitrogenada** tanto de base como foliar dependerá de las condiciones ambientales y sitio-específicas exploradas por el cultivo durante su desarrollo y crecimiento.

2- Objetivos

El objetivo general de este trabajo fue estudiar la respuesta de rendimiento, calibre y proteína, a la fertilización nitrogenada de base y foliar, en 2 variedades de cebada cervecera cultivadas en 2 localidades del norte de la provincia de Buenos Aires.

Los objetivos particulares consistieron en determinar, ante dosis crecientes de disponibilidad de Nbase y aplicación de Nfoliar en el estado de hoja bandera (HB, Zadoks 39) para 2 variedades y 2 localidades diferentes:

1.- El rendimiento y sus determinantes numéricos (NG, PG, NE y NGE) y ecofisiológicos (BT e IC),

2.- El Nabs a madurez fisiológica y la EUN fisiológica para producción de biomasa y rendimiento y,

3.- La calidad comercial de los granos (calibre y proteína).

3- Hipótesis

1.- **El incremento del rendimiento ante dosis crecientes de fertilización de base está asociado principalmente al (i) aumento del NG a través de un mayor NE, y (ii) aumento de la BT más que variaciones en el IC. El Nbase al cual se estabiliza el rendimiento depende de la localidad.**

2.- El Nabs a madurez fisiológica depende principalmente de la localidad y de la fertilización de base mientras que la EUN fisiológica para producción de biomasa y rendimiento está más asociada a la variedad.

3.- Aumentos en la disponibilidad de Nbase que se traduzcan en mayores rendimientos no afectan **significativamente** el calibre de los granos, pero si incrementan el porcentaje de proteína, particularmente a altas dosis de N. La aplicación de Nfoliar post-antesis no modifica en forma importante el calibre, aunque incrementa el porcentaje de proteína, dependiendo de la variedad y la localidad.

4- Materiales y métodos

4.1. Generalidades, tratamientos y diseño experimental

Para cumplir con los objetivos planteados se realizó un **experimento** en 2 localidades del norte de la provincia de Buenos Aires: uno de ellos se instaló en Pergamino (PE, **33,9°S-60,5°W**) dentro de la Estación Experimental Pergamino (INTA)

y el otro en Irineo Portela (PO, **33,9°S-59,58W**) en campo de un productor. **El tipo de suelo donde se desarrollaron estos experimentos fueron Argiudol típico, en PE, y Argiudol vértico en PO.**

Las variedades evaluadas fueron: Scarlet y Carisma. Scarlet es un material introducido en Argentina de origen europeo, que se caracteriza por tener altos rendimientos, aunque generalmente desarrolla granos con bajos niveles proteicos. **Se seleccionó esta variedad debido a que es la más utilizada en la región.** La segunda variedad seleccionada fue Quilmes Carisma, material comercial del criadero y semillero Quilmes SA, caracterizado por la alta estabilidad en calidad de producto (contenido proteico y calibre). **Esta última se seleccionó debido a que podría ser una alternativa para la región, y fue propuesta por el semillero Quilmes SA (comunicación personal).** La siembra de estos experimentos se realizó el **25 de junio en PO y el 30 de junio en PE, durante al año 2010**, utilizándose 142 y 145 Kg ha⁻¹ de semilla, respectivamente **(equivalente a densidad objetivo de 270 plantas m⁻²).**

En el momento de selección de lotes y previo a la siembra se realizó un análisis de suelo en laboratorio, con el objetivo de determinar los niveles de nutrientes disponibles (nitrógeno, fosforo, azufre) en cada localidad (Tabla 1). Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se determinó la cantidad de fertilizante a utilizar en cada localidad y tratamiento.

Tabla 1. Resultados de análisis de suelo en PE y PO

		PE	PO
Análisis de suelo pre-siembra	N-NO ₃ (0-20) ppm	8,5	10,5
	N-NO ₃ (20-40) ppm	5,1	4,3
	N-NO ₃ (40-60) ppm	5,7	3,2
	P ₍₀₋₂₀₎ ppm	61,4	14,4
	P ₍₂₀₋₄₀₎ ppm	26,5	4,3
	P ₍₄₀₋₆₀₎ ppm	4,3	2,0
	S-SO ₄ (0-20) ppm	7,6	8,9
	S-SO ₄ (20-40) ppm	7,5	11,8
	S-SO ₄ (40-60) ppm	7,3	12,8
	MO (0-20)%	3,26	3,12
	PH (0-20)	5,7	6,5
Fertilizante siembra		115 kg ha ⁻¹ (6N-36P-6S-11Ca)	120 Kg ha ⁻¹ (7N-40P-5S)
N disponible a la Siembra (0-60) kg ha ⁻¹	Nsuelo+ Fert. siembra	56,7	54,4

Para poder ajustar las dosis de P y S se utilizaron mezclas físicas con incorporación a la siembra. En PE se aplicó 115 Kg ha⁻¹ de una mezcla física (**6N-36P-0K-6S-11Ca**), mientras que en PO se aplicó 120 Kg ha⁻¹ de la mezcla física (**7N-40P-0K-5S**). Finalmente, y considerando el N aportado por estas mezclas físicas, se realizaron los cálculos para determinar los diferentes niveles de Nbase **en cada localidad**. Para ello, se aplicó en post-emergencia temprana UREA (46N-0P-0K) alcanzando los 4 niveles de Nbase objetivo según correspondía: **Ni: nitrógeno disponible en el suelo con solo la aplicación de la mezcla física** (56,7 y 54,4 KgN ha⁻¹ en PE y PO, respectivamente), N80, N110 y N150 correspondientes a 80, 110 y

150 kgN ha⁻¹. Para completar los tratamientos, en el estado de HB, se aplicó fertilizante foliar nitrogenado (Foliarsol U, 20-0-0), diferenciando dos niveles de nitrógeno foliar (Nfoliar) objetivo: sin aplicación de fertilizante foliar (SF) y con 24 kgN ha⁻¹ (CF). El fertilizante foliar se aplicó con una mochila de presión constante.

El diseño seleccionado para este experimento fue en parcelas subdivididas en bloques, con 2 repeticiones (Esquema 1). Las variedades fueron consideradas como las parcelas principales, los tratamientos de Nbase la sub-parcela y la aplicación de Nfoliar la sub-subparcela. La siembra se realizó con sembradora estándar (ca. 5m ancho aprox.), **con un distanciamiento de 0.175m de entresurco** y se utilizó el sistema de siembra directa. Las subparcela de Nbase tuvo 40 metros de largo x 5m ancho y la sub-subparcela de Nfoliar dividió dicha sub-parcela por su ancho (2,5 m aprox.). **El tamaño de cada unidad experimental fue de 100 m² aproximadamente.**

Esquema 1. Diagrama del diseño de ensayos en parcelas subdivididas para PE y PO. Referencias: Variedades (Carisma y Scarlet); Nbase (Ni, 80, 110 y 150 KgN ha⁻¹); Nfoliar [(sin foliar (SF) y con 24 KgN ha⁻¹(CF)]; Repetición (R1 y R2)

Carisma Ni SF R1	Carisma Ni CF R1	Scarlet N150 CF R1	Scarlet N150 SF R1	Carisma N150 SF R2	Carisma N150 CF R2	Scarlet Ni CF R2	Scarlet Ni SF R2
Carisma N80 SF R1	Carisma N80 CF R1	Scarlet N110 CF R1	Scarlet N110 SF R1	Carisma N110 SF R2	Carisma N110 CF R2	Scarlet N80 CF R2	Scarlet N80 SF R2
Carisma N110 SF R1	Carisma N110 CF R1	Scarlet N80 CF R1	Scarlet N80 SF R1	Carisma N80 SF R2	Carisma N80 CF R2	Scarlet N110 CF R2	Scarlet N110 SF R2
Carisma N150 SF R1	Carisma N150 CF R1	Scarlet Ni CF R1	Scarlet Ni SF R1	Carisma Ni SF R2	Carisma Ni CF R2	Scarlet N150 CF R2	Scarlet N150 SF R2

4.2. Mediciones y análisis

Las observaciones y mediciones se realizaron en madurez **de cosecha**. En 2 metros lineales por repetición se contó el número de espigas por muestra para estimar el NE. Posteriormente, en una superficie de 2 m² por repetición se cortaron todas las plantas al ras del suelo y dicha muestra **se separó en espigas y restos de biomasa (hoja y tallo)**. Toda la biomasa se secó en estufa **hasta peso constante** y luego se pesó. Las espigas se pesaron por separado y luego se trillaron **con máquina estacionaria**. Los granos se pesaron en balanza y se midió humedad con Humedímetro (Tesda A79). De esta forma se determinó el rendimiento (corregido a 12% de humedad), **la BT** y el IC. Para estimar el PG se contaron dos sub-muestras de 2 gramos de grano con equipo automático (Contador Pffuefer), y con este dato se determinó el NG.

El calibre se determinó con una zaranda Sortimat-Pfeuffer (en Quilmes SA) y la proteína en grano con NIR (Near Infrared Reflectance) (en Quilmes SA). El N presente en el resto de la biomasa vegetal se determinó por el método de Kjeldhal (micro-kjeldhal, en FA-UBA).

Las EUNBf y EUNRf fueron calculadas como la BT o el rendimiento (R) producido por unidad de Nabs (Nbiomasa+Ngrano). La EUNa (EUN agronómica) fue calculada como el rendimiento producido por unidad de N disponible total (Nbase+Nfoliar).

La recolección de datos meteorológicos se realizó con estaciones meteorológicas (METEO 4 canales, Cavadevices.com) en cada localidad, las cuales

permanecieron a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Las variables medidas fueron temperatura máxima, mínima y precipitaciones.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat/P (Di Rienzo *et al.*, 2010), utilizándose ANVA para determinar efectos de tratamientos. Las regresiones lineales (ec 1) y bi-lineales (ec 2) para establecer relaciones entre las variables estudiadas se realizaron con el programa TBL (**Jandel, 1992**)

$$Y = A + B X \quad (\text{ec 1})$$

$$Y = A + BX (X < C) + B^*C (X \geq C) \quad (\text{ec 2})$$

Para las comparaciones de medias se utilizó el test de Tukey (**con un nivel de significancia de 0.05**).

5- Resultados y discusión

Durante el ciclo del cultivo no se observaron diferencias **importantes** en las temperaturas máximas, mínimas y promedio entre ambas localidades (Gráficos 2 y 3). En el Gráfico 4, se observa que la **precipitación acumulada** fue similar entre localidades (205mm en Pergamino y 216mm en Portela), aunque la distribución fue diferente. Los registros **pluviométricos** muestran que en PE las primeras lluvias de consideración ocurrieron a partir del 27 de junio, mientras **que** en PO estas se registraron el 9 de agosto, lo que indica **aceptables** niveles de agua disponible en estadios **fenológicos** tempranos de cultivo de cebada cervecera en PE y posible déficit en tales estadios **fenológicos** en PO. **Vale considerar que la condición hídrica al momento de la siembra era óptima y no se observaron diferencias relevantes**

entre las localidades en lo que respecta a implantación y establecimiento del cultivo.

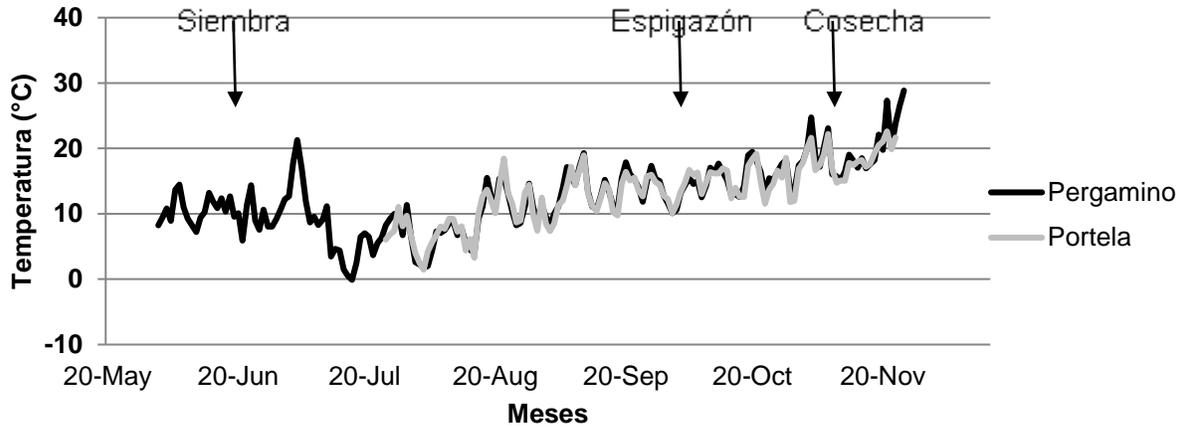


Gráfico 2. Temperatura promedio en PE y PO a lo largo del ciclo de cultivo

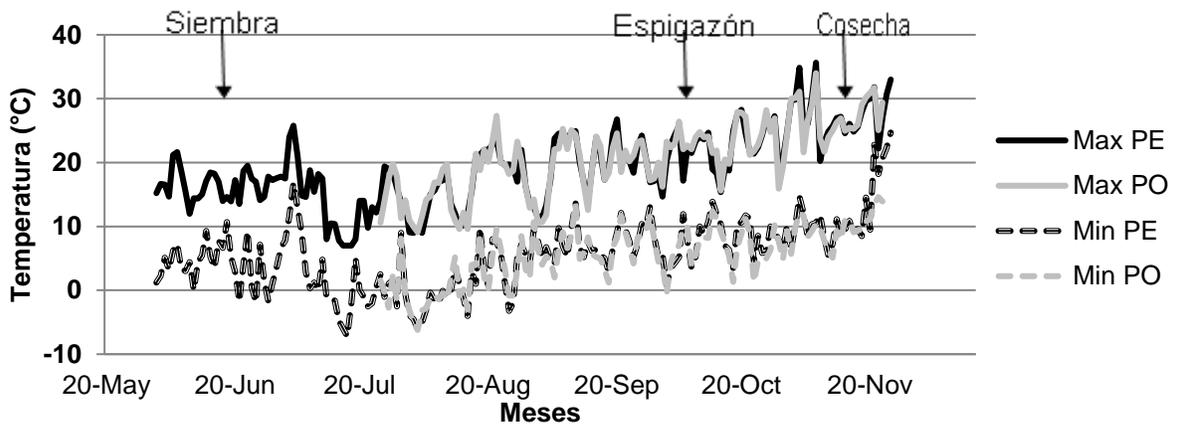


Gráfico 3. Temperatura máxima y mínima en PE y PO a lo largo del ciclo de cultivo

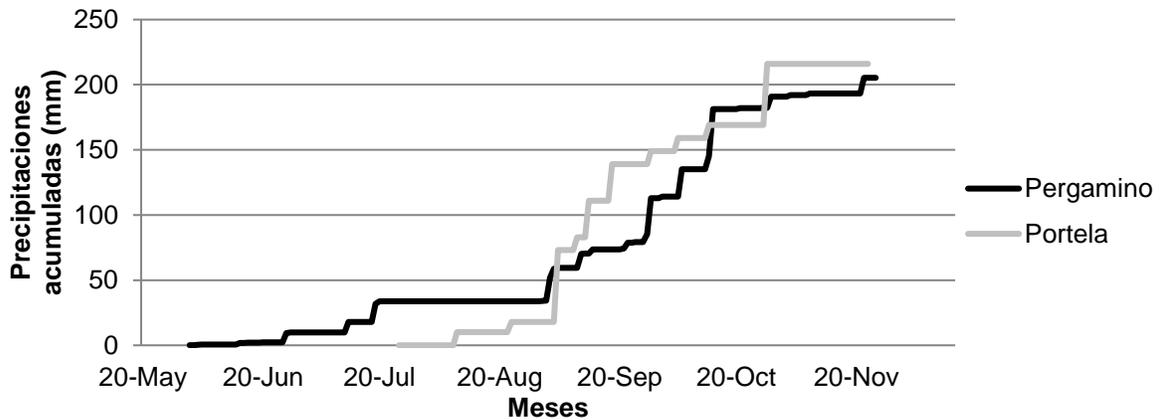


Gráfico 4. Precipitaciones acumuladas registradas en PE y PO

Tabla 2. Resultados del ANVA para rendimiento, IC (índice de cosecha), BT (biomasa total), NG (numero de granos), PG (peso de granos), NE (numero de espigas m⁻²), NGE (numero de granos por espiga), calibre, proteína, Nabs (N absorbido), EUNRf (eficiencia en el uso de nitrógeno para rendimiento), EUNBf (eficiencia en el uso de nitrógeno para la producción de biomasa), EUNa (eficiencia en el uso de nitrógeno agronómica). Se incluyen los cv (coeficiente de variación). **Se expresan aquellos p-valor que fueron significativos (p ≤ 0.05) y NS (no significativos con p >0.05)**

	PE	PO
Rendimiento	cv:5,38 NS Nfoliar: p-valor=0,0728	cv:4,70 Nbase: p-valor=0,0035 Nfoliar: p-valor<0,001 Nbase*Nfoliar: p-valor=0,0336
IC	cv:6,60 NS	cv:12,89 NS
BT	cv:10,66 Nbase: p-valor=0,0496	cv:6,02 Nbase: p-valor=0,0017 Nfoliar: p-valor=0,0011
NG	cv:6,64 Nbase: p-valor=0,0479	cv:5,23 Nbase: p-valor=0,0032 Nfoliar: p-valor=0,009 Nbase*Nfoliar: p-valor=0,0501
PG	cv:3,05 Nbase: p-valor=0,0254 Variedad: p-valor=0,0118 Nbase*Variedad: p-valor=0,009 Nbase*Nfoliar: p-valor=0,0122	cv:2,44 Nfoliar: p-valor=0,0016 Variedad: p-valor=0,0118
NE	cv:11,8 Nbase: p-valor=0,0051 Variedad: p-valor=0,0099	cv:7,97 Nbase: p-valor=0,0089
NGE	cv:7,38 NS	cv:8,62 Nfoliar: p-valor=0,0451 Variedad: p-valor=0,0205
Calibre	cv: 1,09 Variedad: p-valor=0,0148 Nbase: p-valor= 0,0056 Nbase*Variedad: p-valor= 0,0485	cv: 0,92 Nfoliar: p-valor=0,055
Proteína	cv: 2,20 Nfoliar: p-valor<0,0001 Variedad*Nbase*Nfoliar: p-valor=0,0417	cv: 6,86 Nfoliar: p-valor=0,0142
Nabs	cv:8,00 Nbase: p-valor=0,0801 Nfoliar: p-valor=0,0025	cv:9,60 Nbase: p-valor=0,01 Nfoliar: p-valor=0,0006
EUNRf	cv:3,70 Nbase: p-valor=0,0701 Nfoliar: p-valor=0,0002	cv:6,23 Nfoliar: p-valor=0,0201
EUNBf	cv: 6,36 Variedad: p-valor=0,016 Nfoliar: p-valor=0,0019	cv: 4,82 Nfoliar: p-valor=0,0007 Nbase*Nfoliar: p-valor=0.0574
EUNa	cv: 6,82 Nbase: p-valor<0,0001 Nfoliar: p-valor<0,0001 Nbase*Nfoliar: p-valor=0,0011	cv: 3,71 Nbase: p-valor=0,0027 Nfoliar: p-valor<0,0001

5.1. Rendimiento y componentes

Al inicio del estudio estadístico se realizó un análisis general (incluyendo los datos obtenidos en las 2 localidades). Con este análisis se determinó que existía una gran variabilidad de la SC debido a la variable Localidad (40% de la SC total), también observándose interacción entre Localidad * Nbase y Localidad * Nfoliar (Gráfico 5). Por ello, para estudiar en detalle el comportamiento del rendimiento en función de la variedad, Nbase y Nfoliar se analizaron estos factores dentro de cada localidad.

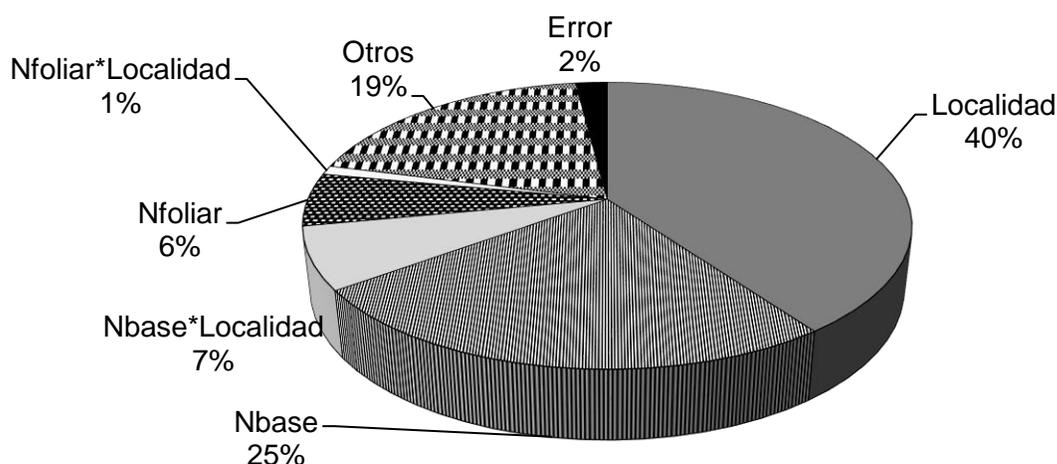


Gráfico 5. Porcentaje de la SC total del rendimiento explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, otros agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

La localidad PE presentó, en general, mayores rendimientos promedio que PO (Gráficos 6a y 6b). En PE, el rendimiento no respondió ni al Nbase ni al Nfoliar en ninguna de las 2 variedades (Tabla 2) mientras que en PO esta variable dependió de la interacción Nbase * Nfoliar, sin notarse un impacto de la Variedad (Tabla 2). En la localidad de PE el rendimiento osciló entre 5641 y 6454 Kg ha⁻¹, sin diferencias significativas en los tratamientos (Gráfico 6a). En cambio en la localidad de PO, los

rendimientos oscilaron entre 3289 y 5775 Kg ha⁻¹ (Gráfico 6b). Los tratamientos N110 y N150 permitieron obtener los mayores rendimientos diferenciándose significativamente de aquellos con Ni y N80 (a excepción de N80 CF). En esta localidad el Nfoliar tuvo un efecto significativo sólo a bajas dosis de Nbase (Ni y N80), explicando de esta forma la interacción Nbase * Nfoliar (Gráfico 6b). El rendimiento aumentó entre 1059 y 809 Kg ha⁻¹ en Ni y N80 respectivamente al aplicar el Nfoliar.

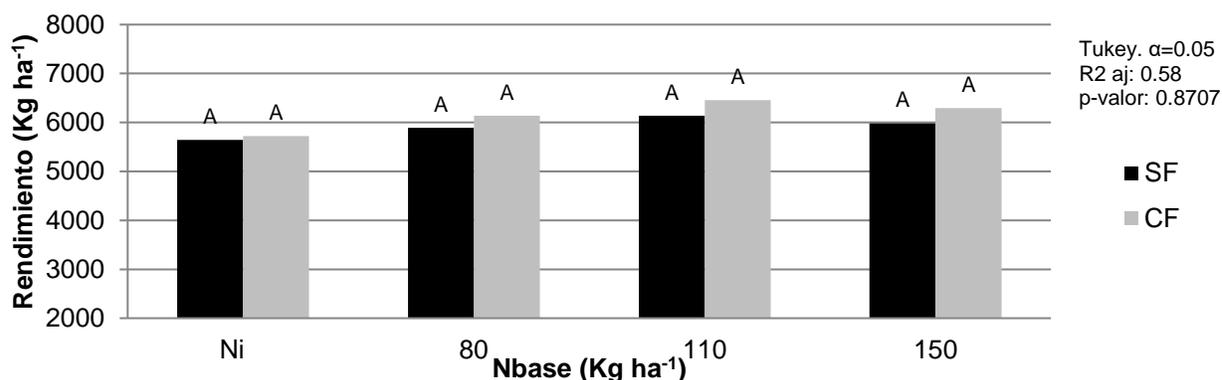


Gráfico 6a. Rendimiento obtenido de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PE. Promedio de las dos variedades. Letras diferentes representan diferencias significativas

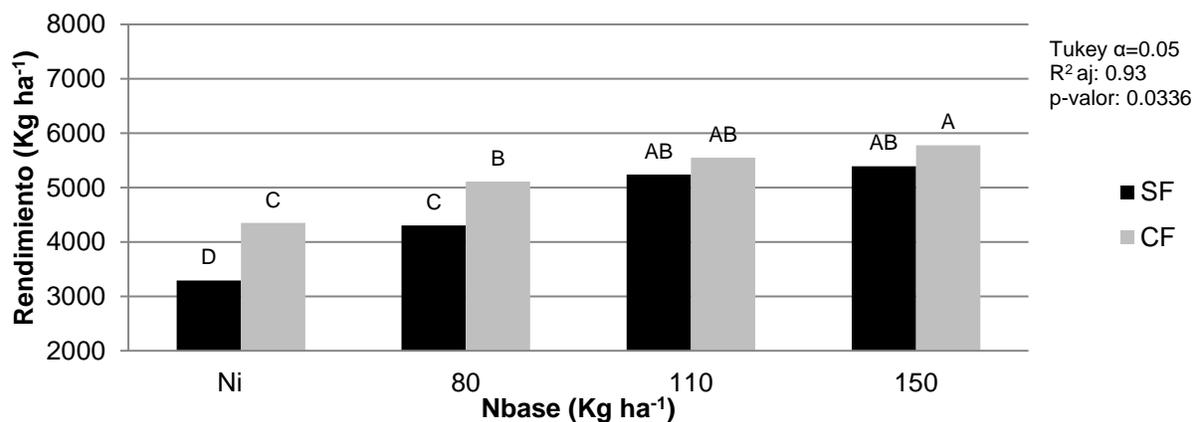


Gráfico 6b. Rendimiento obtenido de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PO. Promedio de las dos variedades. Letras diferentes representan diferencias significativas

Considerando estos resultados, se ajustaron curvas de respuesta al Nbase en PE y en PO (Gráficos 7a y 7b).

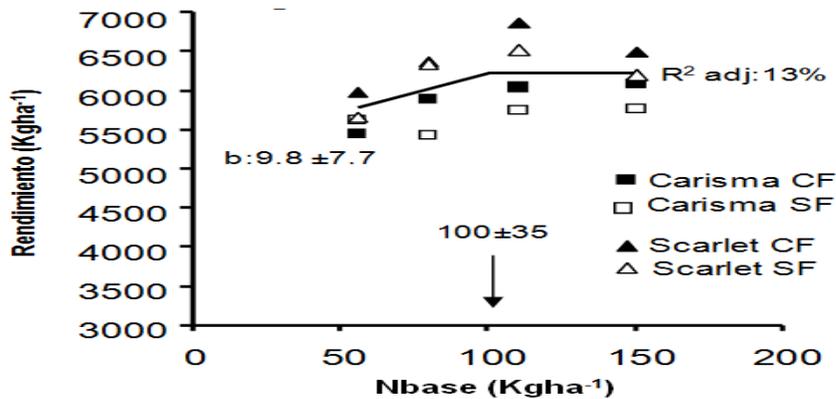


Gráfico 7a. Respuesta del rendimiento a Nbase en PE (todos datos incluidos)

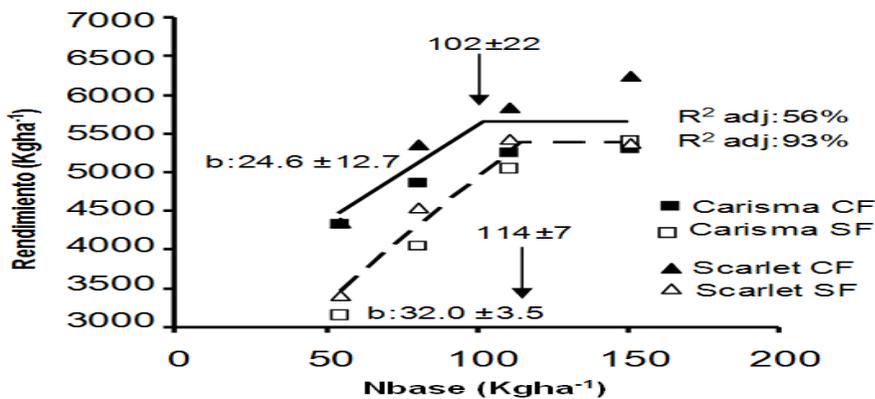


Gráfico 7b. Respuesta del rendimiento a Nbase en PO, para cada tratamiento de Nfoliar (dos variedad incluidas)

En PE de acuerdo al ANVA realizado, no hubo respuesta significativa, aunque se observa una tendencia que entre N100 y N150 se obtienen los máximos rendimientos. En PO, la respuesta se estabilizó alrededor de los 100-120 kgN ha⁻¹, con una respuesta significativa de 28,3 Kg de grano por kg de N disponible (promedio de valores CF y SF, que no poseen diferencia estadística, ver insertos en Gráfico 7b).

Según se describió en la introducción de este trabajo, cuando se utilizan los componentes de rendimiento ecofisiológicos, el rendimiento es función de la BT y del IC. Tanto en PE como en PO se observó una relación directa del rendimiento con la BT producida (Gráfico 8).

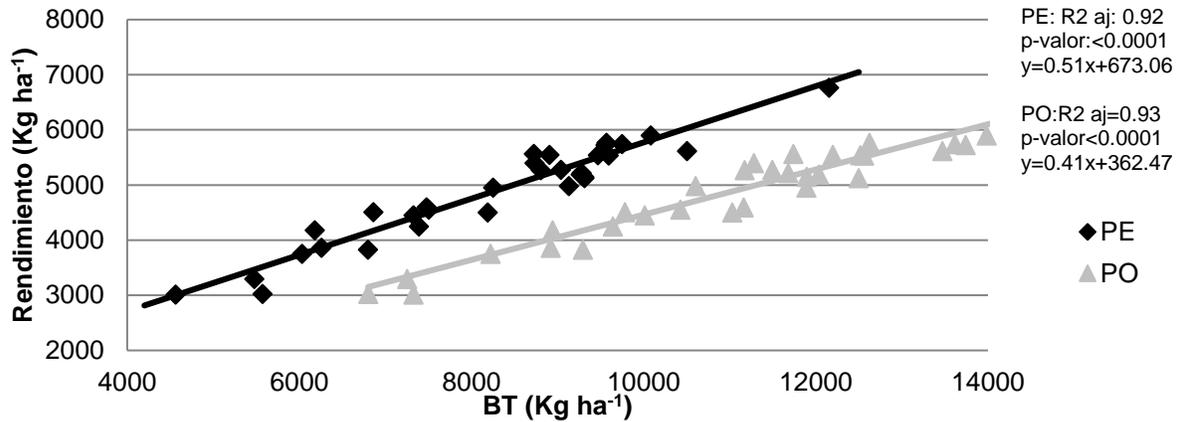


Gráfico 8. Relación entre rendimiento y BT en PE y PO

En PE, la BT respondió a los cambios de Nbase, mientras en PO respondió a Nbase y Nfoliar sin interacción (Tabla 2). En PE los máximos niveles de BT se obtuvieron con N110, solamente diferenciándose de los niveles obtenidos con Ni. En PO el incremento de Nbase se asoció a incrementos de BT, donde los máximos niveles fueron obtenidos con N110 y N150, también diferenciándose de Ni (Gráfico 9). En PO, la aplicación de Nfoliar en HB también permitió incrementar en promedio los niveles de BT obtenidos en madurez (Gráfico 10).

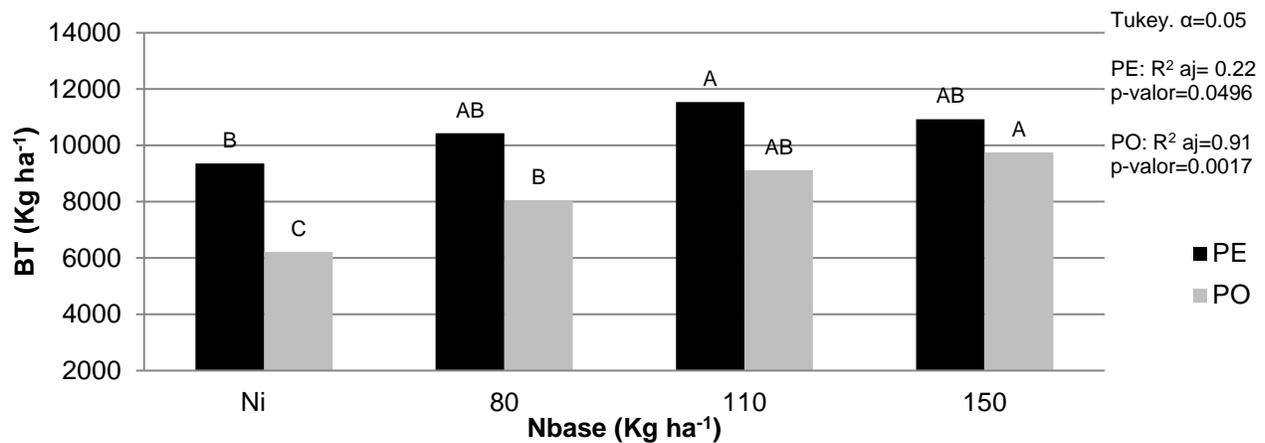


Gráfico 9. Biomasa Total (BT) de acuerdo a Nbase en PE y PO. Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

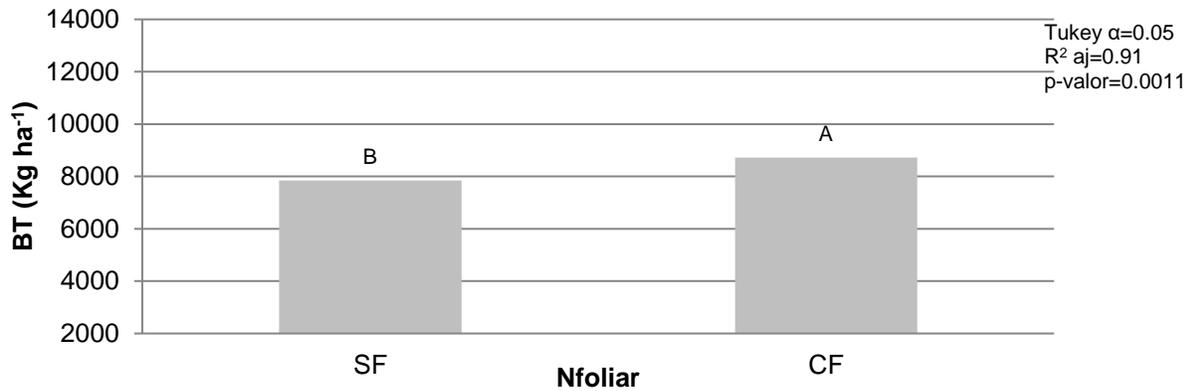


Gráfico 10. Biomasa Total (BT) de acuerdo a Nfoliar en PO. Letras diferentes representan diferencias significativas

El IC no fue afectado por los tratamientos ni difirió entre variedades, y no presentó relación con el rendimiento (Gráficos 11). Los altos valores de IC (mayores a 60%) pueden estar asociados al momento de cosecha, que se realizó en madurez comercial y no en madurez fisiológica.

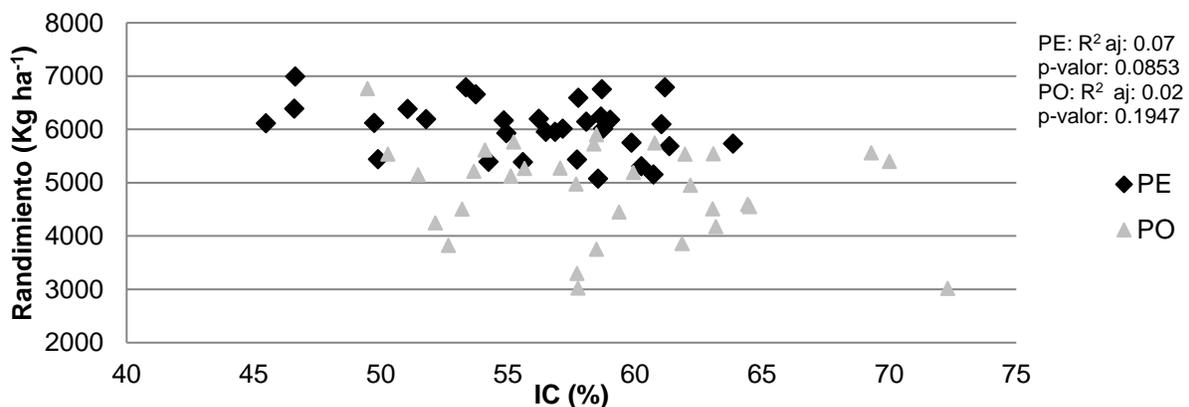


Gráfico 11. Relación entre rendimiento e IC en PE y PO

Todos estos resultados coinciden con el marco teórico general de respuesta a la fertilización N (principalmente de base) en trabajos previos (Fischer 1993), donde el incremento del N disponible en etapas tempranas del ciclo permite incrementar el índice de área foliar (IAF) pre-antesis, la intercepción de radiación y la radiación

interceptada acumulada y de esta forma la biomasa total producida (Fischer 1993b, Arisnabarreta y Miralles 2006).

Al analizar los componentes numéricos, tanto en PE como en PO, **las variaciones en el rendimiento** estuvieron asociadas al NG (Gráfico 12).

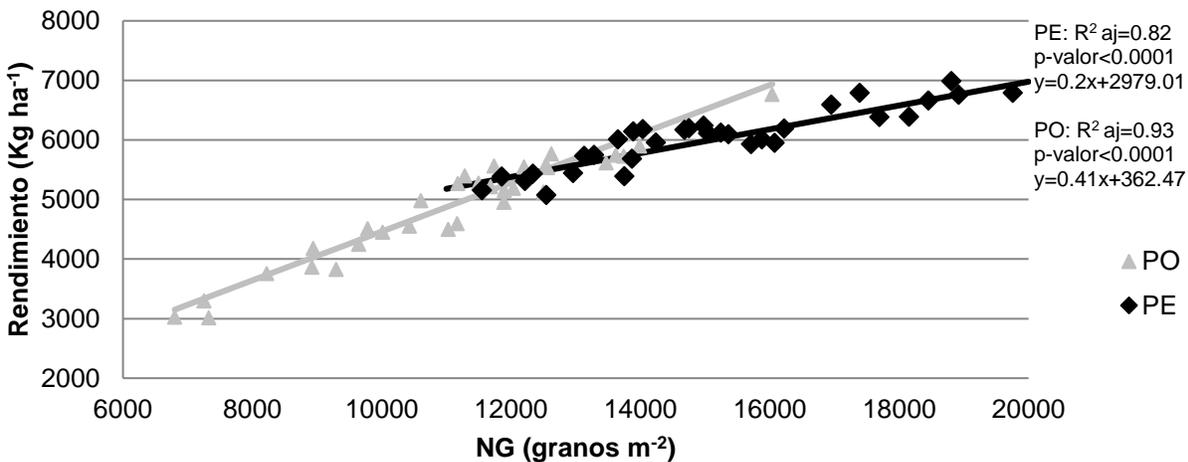


Gráfico 12. Relación entre rendimiento y NG en PE y PO.

En PE el NG respondió sólo al Nbase (p-valor= 0.0479), con un promedio máximo en N110 y promedio mínimo con Ni. Al separar por Nfoliar solamente se observó que N110 CF es mayor a Ni CF (Gráfico 13a). En PO, el NG respondió a los incrementos del Nbase y Nfoliar, existiendo una tendencia a interacción Nbase * Nfoliar (p=0.0501) (Tabla 2). En promedio los tratamientos N110 y N150 obtuvieron mayores NG que Ni, donde los tratamientos en los que se aplicó fertilizante foliar obtuvieron valores de NG mayores (Gráfico 13b). Esta respuesta explicaría parte de la interacción observada en rendimiento en PO para estos dos tipos de fertilización mencionada previamente. El incremento del NG con la fertilización de base coincide con reportes previos (García del Moral *et al.* 1985, 1990, 1999, Arisnabarreta y Miralles 2006; Fischer 1993a). Cuando hubo déficit de N y las condiciones ambientales buenas (PO), la

aplicación de Nfoliar en HB se tradujo en un incremento en el NG debido que el momento de aparición de la hoja bandera (HB) se encuentra dentro del período crítico para generar NG (Arisnabarreta y Miralles 2008), sin embargo esta respuesta del NG a la fertilización tardía no es la mas reportada en cereales de invierno (Fischer 1993a).

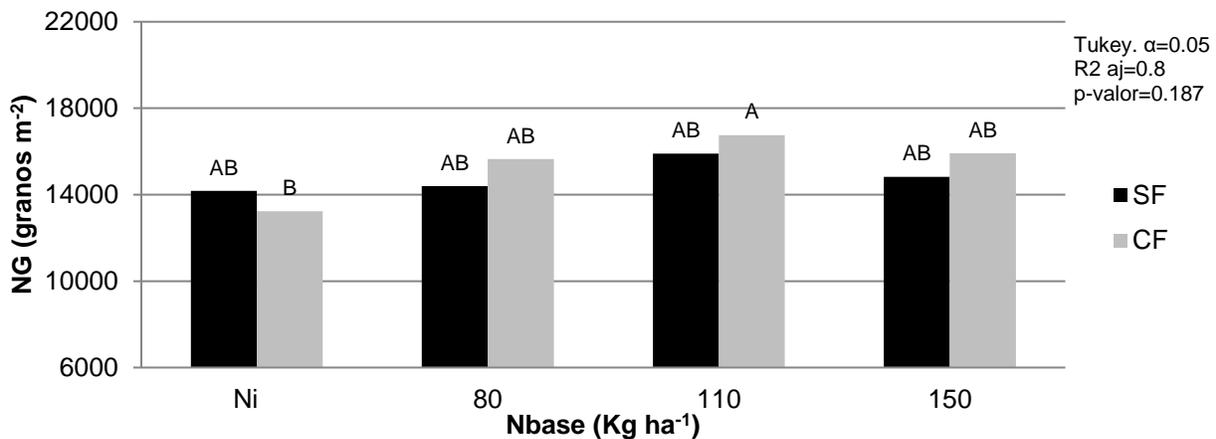


Gráfico 13a. Número de granos (NG) de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PE. Letras diferentes representan diferencias significativas

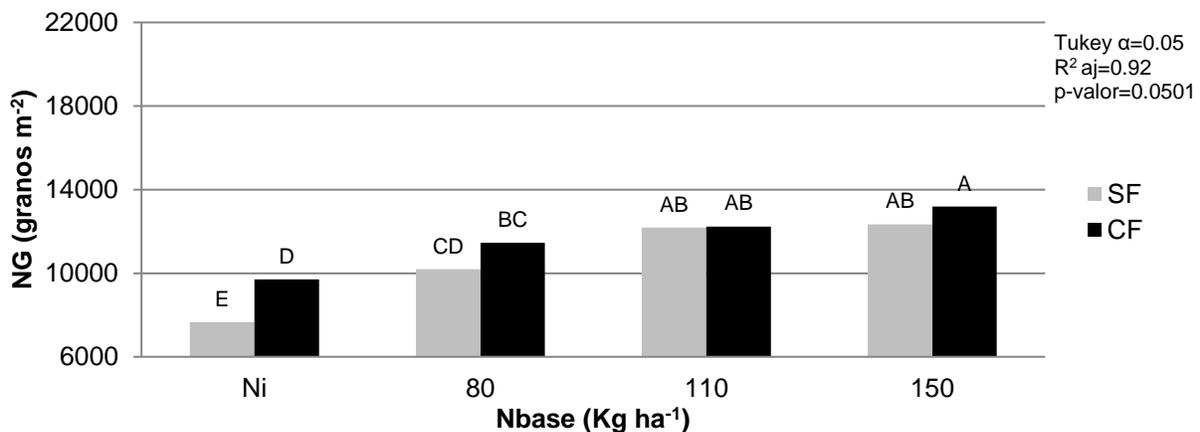


Gráfico 13b. Número de granos (NG) de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PO. Letras diferentes representan diferencias significativas

El PG estuvo negativamente asociado al rendimiento en PE pero no tuvo relación en PO (Gráfico 14). La relación negativa entre rendimiento y PG en PE es

consecuencia de la alta relación negativa establecida entre el PG y el NG en PE (Gráfico 15), dado el alto NG establecidos en dicha localidad.

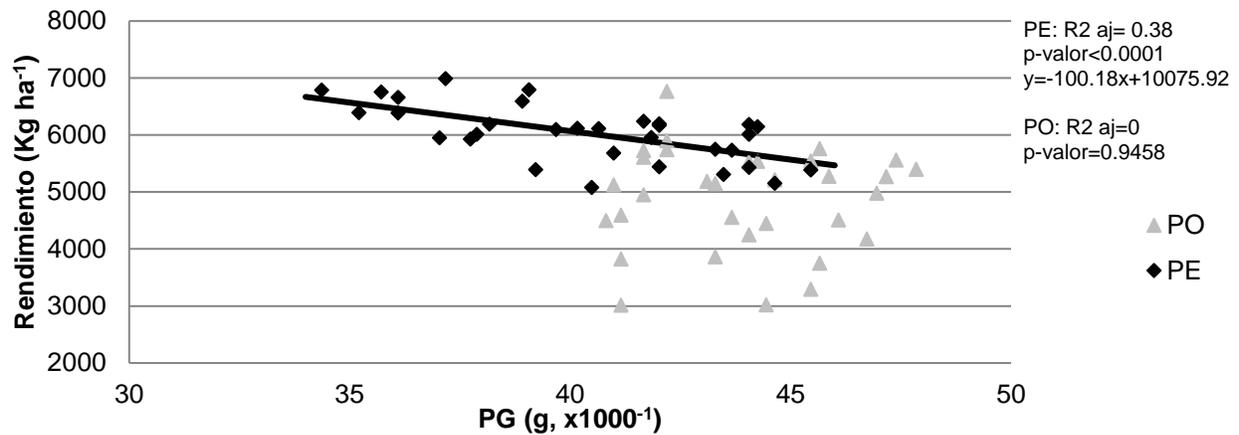


Gráfico 14. Relación entre rendimiento y PG en PE y PO

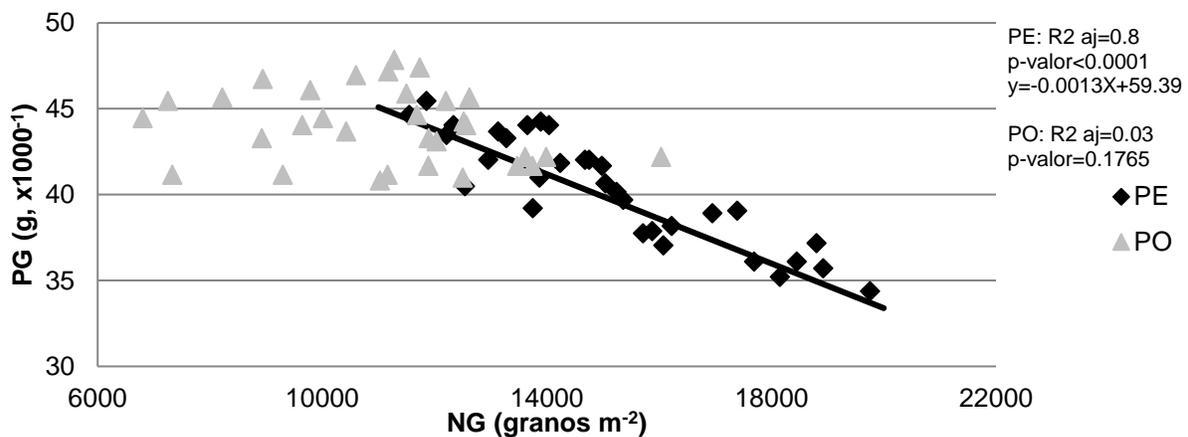


Gráfico 15. Relación entre PG y NG en PE y PO

En los estudios desarrollados por Abeledo *et al.* (2003) también se observó una relación negativa entre PG y rendimiento. En general, al establecerse alto NG existe un mayor aporte de granos provenientes de macollos, los cuales producen granos de menor peso, reduciendo el peso promedio (Fischer 1993a).

El PG respondió a la interacción Nbase * Variedad y a Nbase * Nfoliar en PE y al Nfoliar y Variedad en PO (Tabla 2). En PE, donde el NG fue elevado **incluso** en Ni, el

incremento de la fertilización de base (y del NG) produjo una caída en el PG en Scarlet pero no así en Carisma (Gráfico 16), resaltando la mayor estabilidad de PG de esta última variedad. En relación a la interacción Nbase * Nfoliar en PE, se pudo observar que la respuesta del incremento del PG al foliar sólo fue significativa a bajas dosis de Nbase (Ni, Gráfico 17). En PO la respuesta del PG fue más simple y de acuerdo a lo reportado previamente por la bibliografía (Passarella 2005). En dicha localidad el PG aumentó 2mg, en promedio, por aplicación del Nfoliar (p-valor=0.0016) independientemente del tratamiento de Nbase, y el impacto de la variedad fue muy notorio (p-valor=0.0118), mostrando también Carisma mayor PG que Scarlet, independientemente de los tratamientos de N.

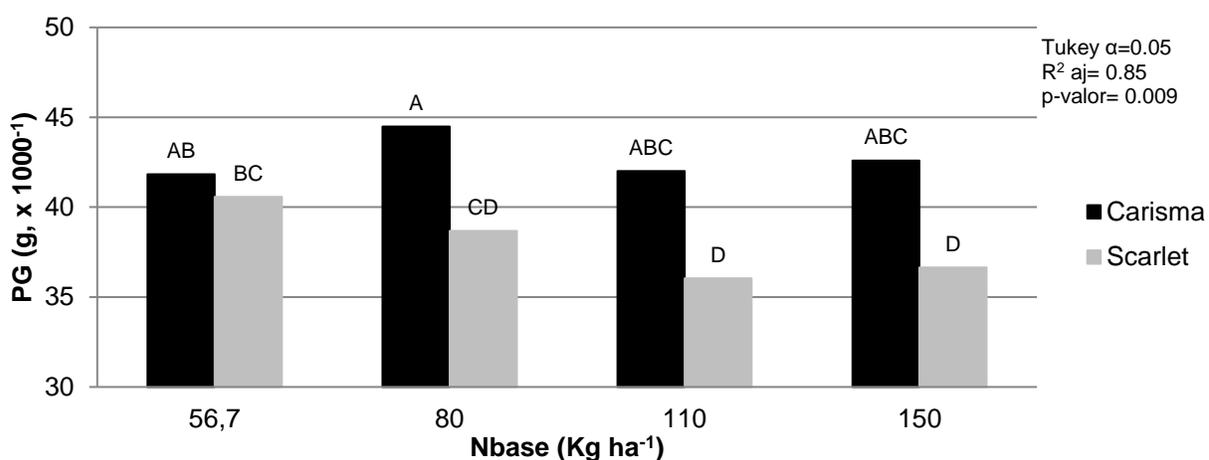


Grafico 16. Peso de grano (PG) de acuerdo a Nbase y variedad en PE. Letras diferentes representan diferencias significativas

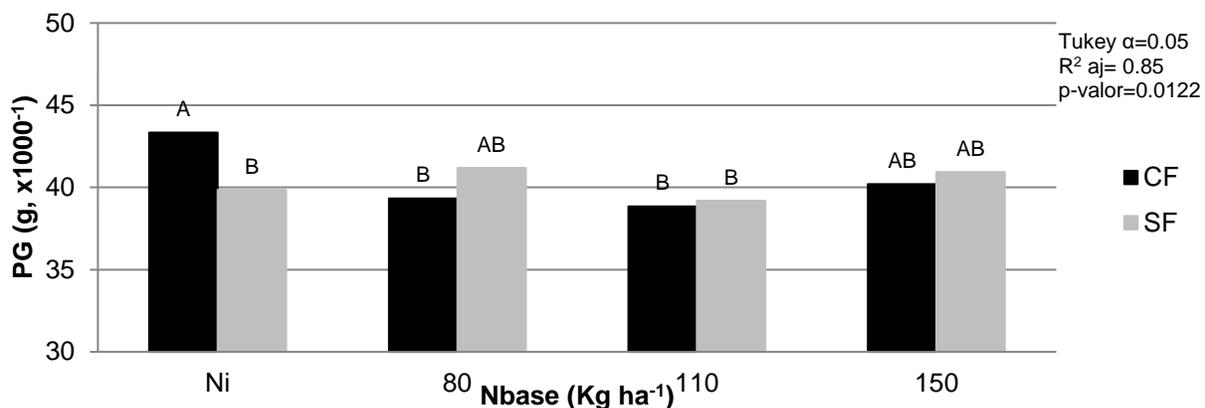


Gráfico 17. Peso de grano (PG) de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PE (promedio de las dos variedades). Letras diferentes representan diferencias significativas

De acuerdo a lo esperado (Arisnabarreta y Miralles 2006), las variaciones en el NG estuvieron explicadas por el NE (Gráfico 18), mas que por el NGE (Gráfico 19) en ambas localidades.

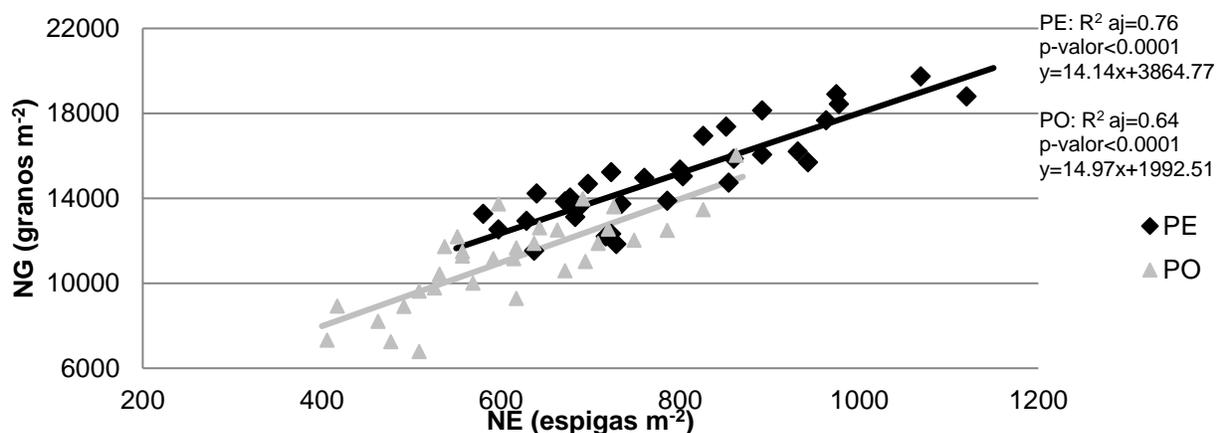


Gráfico 18. Relación entre el NG y NE en PE y PO

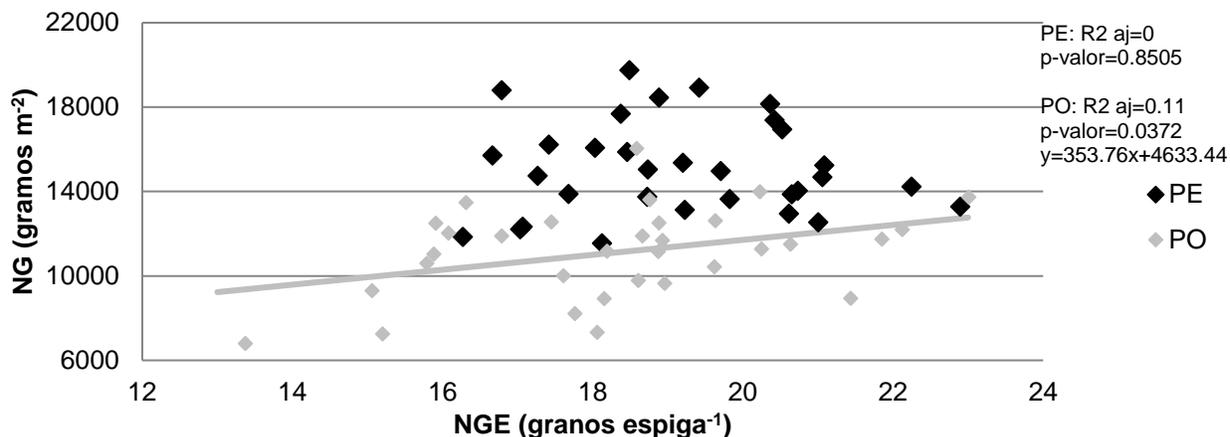


Gráfico 19. Relación entre NG y NGE en PE y PO

En PE, el NE respondió al Nbase y a la Variedad y sólo al Nbase en PO (Tabla 2). En PE los mayores NE se obtuvieron en promedio con N110, diferenciándose solamente de Ni (p-valor=0.0051), además, el NE obtenido por Scarlet también fue mayor (p-valor=0.0099). No se observó una interacción entre estas variables (Gráfico 20a). En PO se diferenció el NE obtenido con N150 del obtenido con Ni (p-valor=0.0089). Se observó la tendencia en que Scarlet produjo un NE mayor. No se observó una interacción entre estas variables (Gráfico 20b).

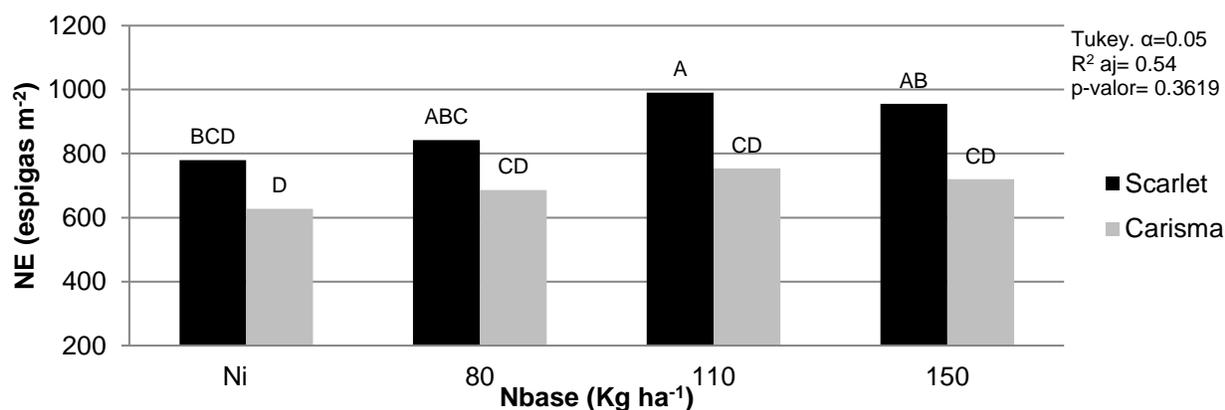


Gráfico 20a. Numero de espigas por unidad de área (NE) de acuerdo a Nbase y variedad en PE (promedio de los tratamientos de Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas

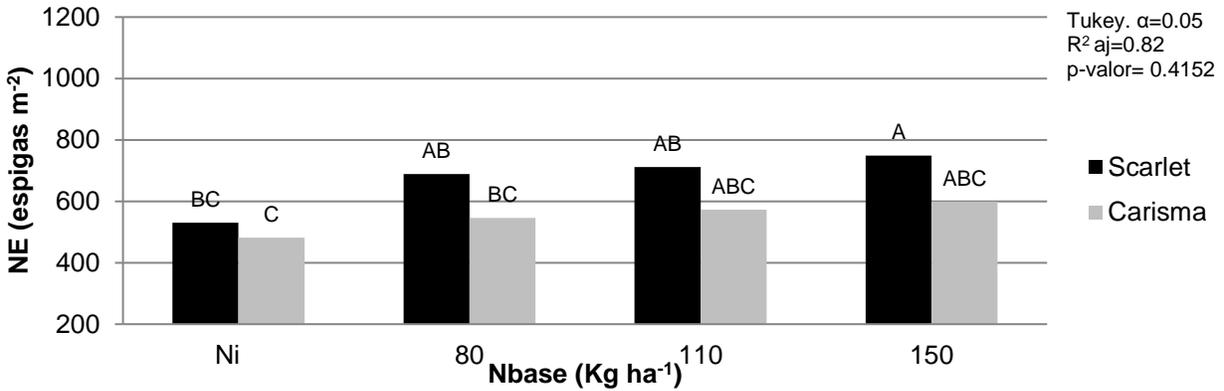


Gráfico 20b. Número de espigas por unidad de área (NE) de acuerdo a Nbase y variedad en PO (promedio de los tratamientos de Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas

El NGE no respondió a ninguno de los tratamientos en PE, pero sí lo hizo en PO al Nfoliar y a la Variedad, sin encontrarse interacción detectable en sus efectos (Tabla 2). En dicha localidad Carisma tuvo 1 grano más por espiga que Scarlet (Gráfico 21), mientras que la aplicación del Nfoliar incrementó el NGE en 1.2 granos en promedio (Gráfico 22).

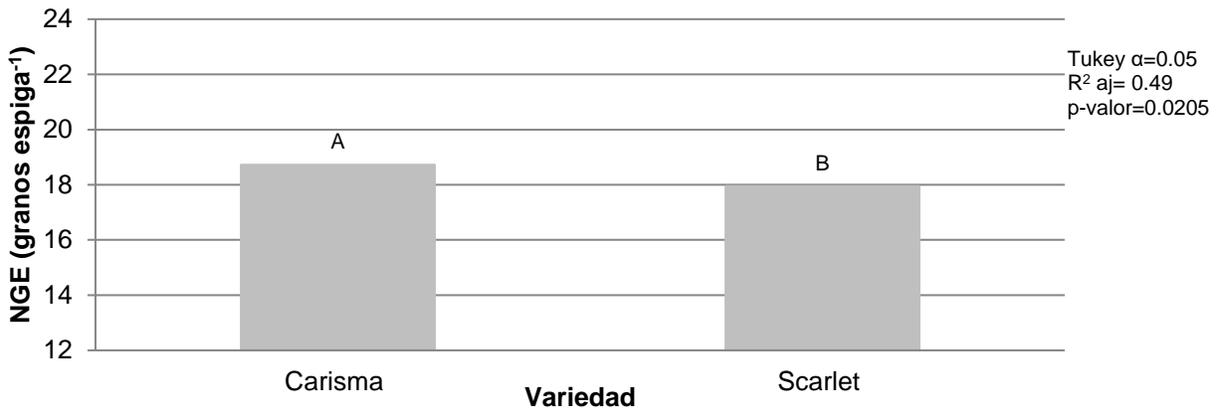


Gráfico 21. Numero de granos por espiga (NGE) de acuerdo a la variedad en PO (promedio de tratamientos de Nbase y Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas

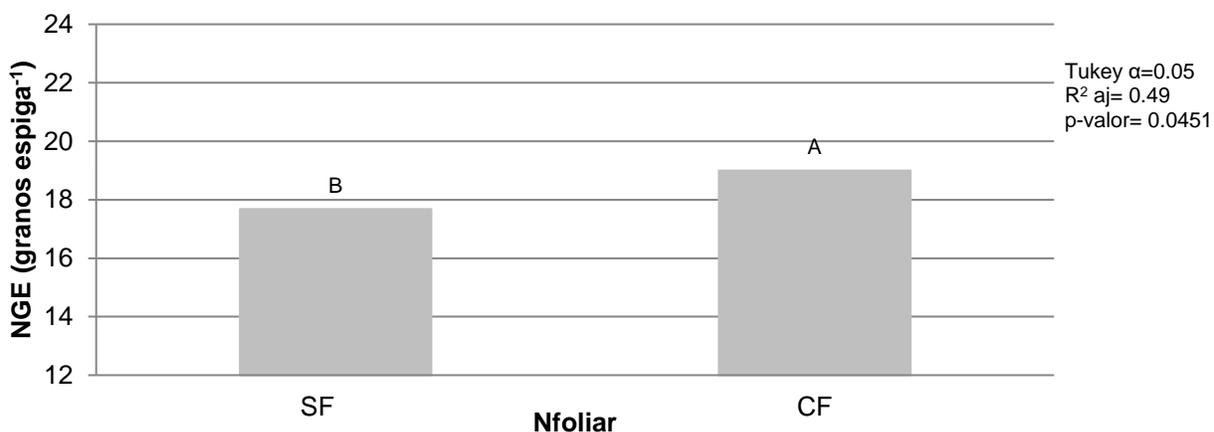


Gráfico 22. Número de granos por espiga (NGE) de acuerdo al Nfoliar en PO (promedio de tratamientos de Nbase y Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas

El impacto del Nfoliar sobre el rendimiento en PO, particularmente a bajas dosis de Nbase, es explicado entonces por un incremento en el NGE que se tradujo en NG y por un incremento en el PG. El incremento del NE con Nbase, coincide con trabajos previos (García del Moral et al. 1985, 1990,1999, Arisnabarreta y Miralles 2006) y, a su vez, con la sugerencia que la caída en el PG en PE al incrementar el NG puede ser consecuencia del aporte de granos de macollos de menor peso.

5.2. Nabs, EUNBf y EUNRf

En el análisis conjunto de datos de las 2 localidades se pudo observar que el Nabs a madurez fisiológica varió de acuerdo la fertilización y la localidad (Gráfico 23).

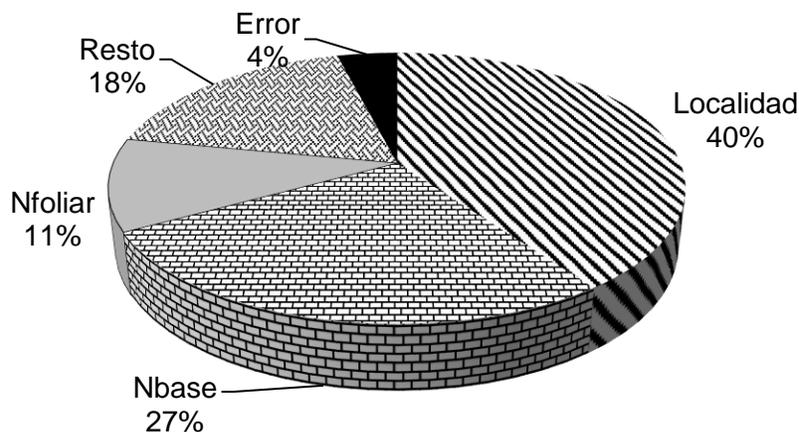


Gráfico 23. Porcentaje de la SC total del Nabs explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, el “resto” agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye: 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

El análisis de las localidades individualmente determinó que el Nbase tendió a aumentar (en PE) o aumentó (en PO) el Nabs, mientras que el Nfoliar incrementó el Nabs en las dos localidades (Tabla 2 y Gráfico 24). En forma similar a lo observado por Fischer (1993b) a medida se incrementó el N disponible, tanto a la siembra (Gráfico 24) como en HB (Gráfico 25) el Nabs aumentó significativamente. El máximo valor de Nabs fue de 111 kgN ha^{-1} en PE y de 93 KgN ha^{-1} en PO, aunque los promedios fueron levemente inferiores.

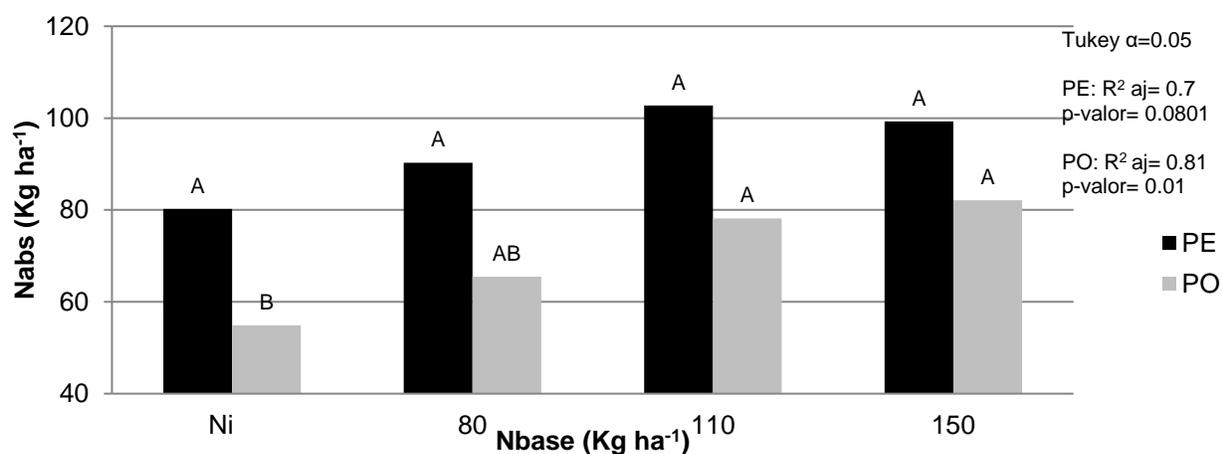


Gráfico 24. Nitrógeno absorbido (Nabs) de acuerdo a Nbase en PE y PO (promedio de variedades y tratamientos de Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

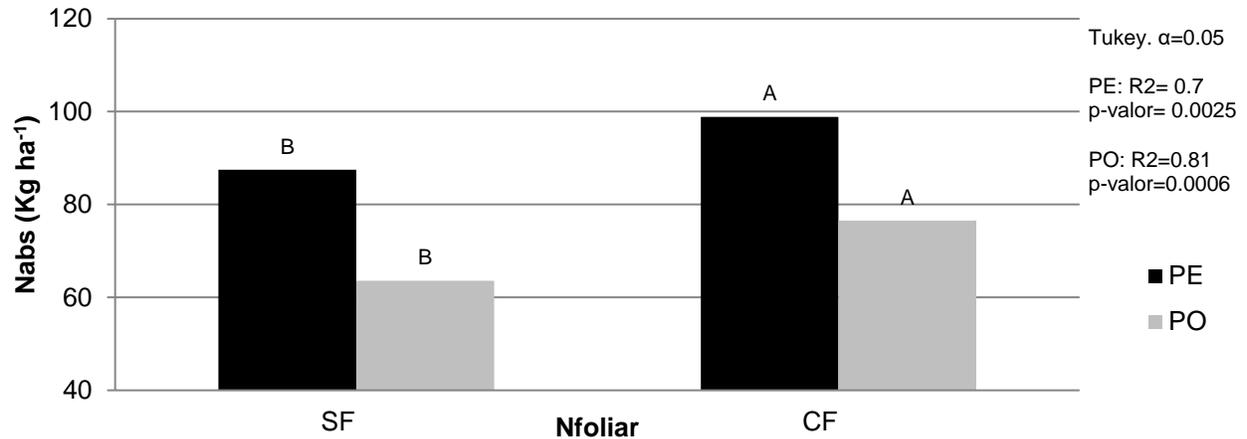


Gráfico 25. Nitrógeno absorbido (Nabs) de acuerdo a Nfoliar en PE y PO (promedio de variedades y tratamientos de Nbase). Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

El ICN difirió entre localidades ($p < 0.0001$) oscilando entre 0.87 en PO y 0.84 en PE. Estos valores se encuentran dentro del rango superior reportado por Fischer (1993b).

La Localidad fue una gran fuente de variación en la EUNRf y EUNBf (Gráficos 26 y 27); a esto también se le sumo un efecto del Nbase y Nfoliar aunque no se encontraron interacciones en estos dos factores.

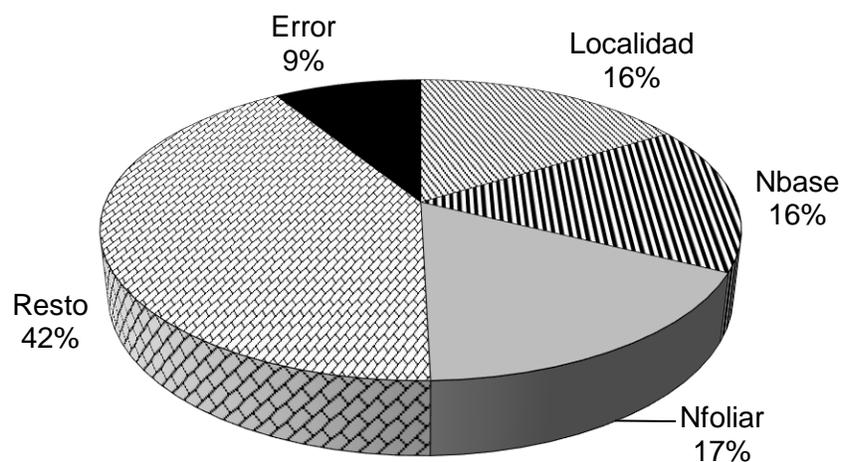


Gráfico 26. Porcentaje de la SC total de la EUNRf explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, el "resto" agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

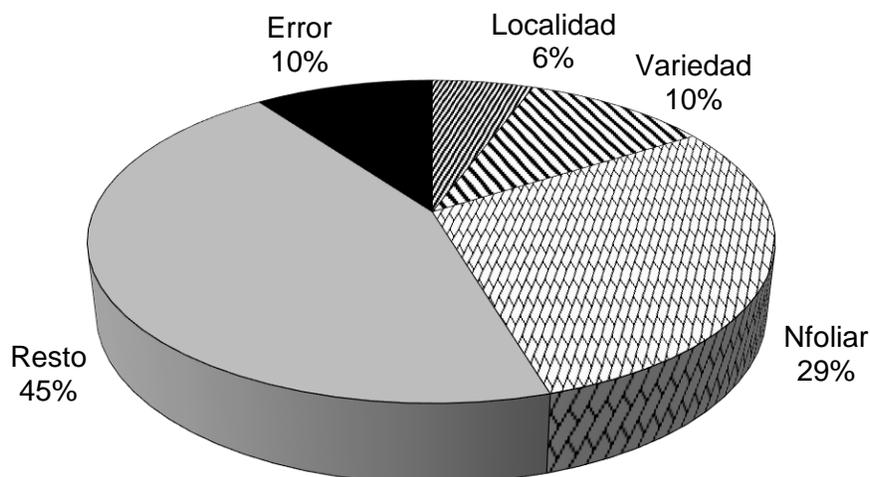


Gráfico 27. Porcentaje de la SC total de la EUNBf explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, el “resto” agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

Tanto en PE como en PO, la EUNRf difirió con el tratamiento de Nfoliar, observándose solo una tendencia del Nbase en PE (Tabla 2). Los tratamientos SF tuvieron mayores EUNRf en ambas localidades (Gráfico 28), oscilando entre 62 y 68 Kg grano por kg de Nabs. En relación al Nbase, la EUNRf osciló entre 61 y 76 Kg grano por kg de Nabs en PE y entre 68 y 72 kg de grano por kg de Nabs en PO, sin diferencias estadísticas entre ellos (Gráfico 29).

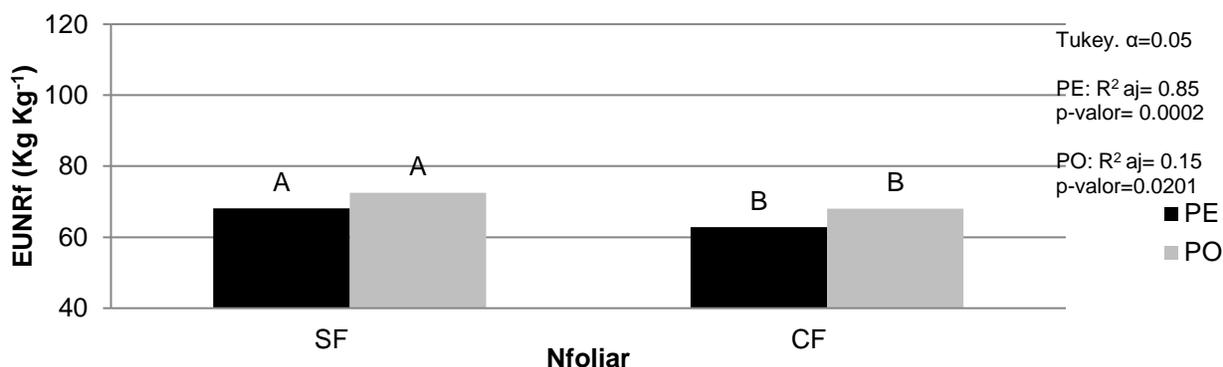


Gráfico 28. Eficiencia en el uso de Nitrógeno para rendimiento (EUNRf) de acuerdo a Nfoliar en PE y PO (promedio de variedades y tratamientos de Nbase). Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

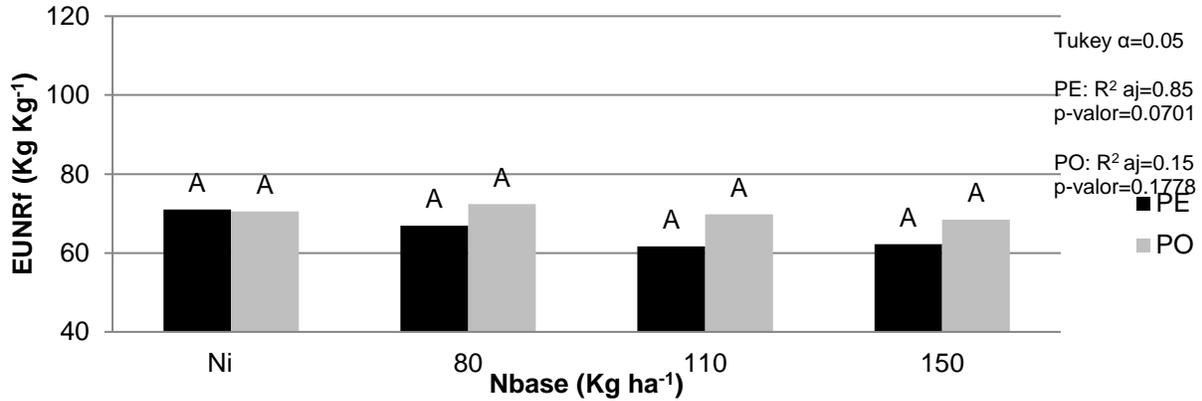


Gráfico 29. Eficiencia en el uso de Nitrógeno para rendimiento (EUNRf) de acuerdo a Nbase en PE y PO (promedio de variedades y tratamientos de Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

En relación a la EUNBf se observó un efecto significativo del Nfoliar en ambas localidades, mientras que la Variedad tuvo efecto en PE y la interacción Nbase * Nfoliar tendió a afectar la EUNBf en PO (Tabla 2). En forma similar a lo observado para la EUNRf, los tratamientos sin fertilización foliar presentaron mayores EUNBf en ambas localidades (Gráfico 30), mientras que Scarlet fue más eficiente para producir biomasa total que Carisma en PE (p-valor=0.016).

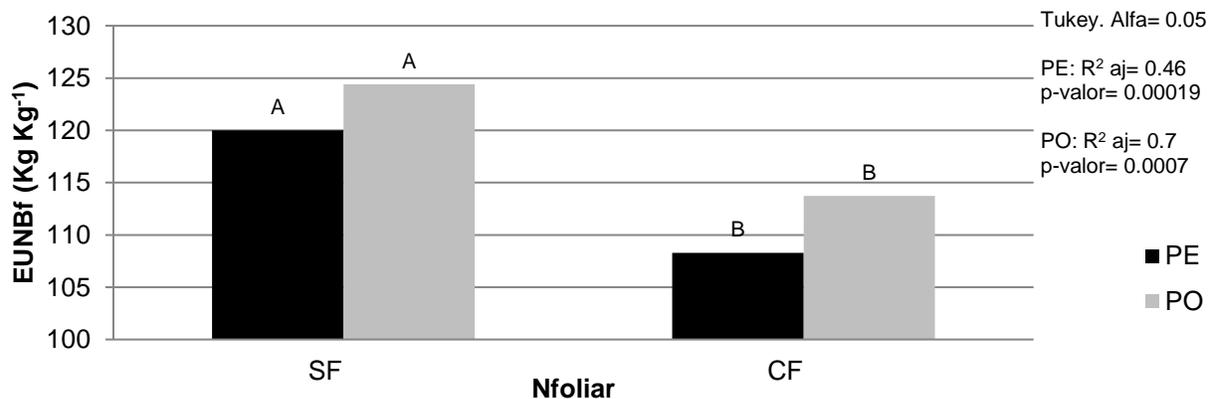


Gráfico 30. Eficiencia en el uso de Nitrógeno para biomasa (EUNBf) de acuerdo a Nfoliar en PE y PO (promedio de variedades y tratamientos de Nbase). Letras diferentes representan diferencias significativas dentro de cada localidad

Los valores de EUNRf reportados en este trabajo son levemente superiores a los reportados por Fischer (1993b) para trigo, y difieren en parte con el presente trabajo donde se observó una caída de la EUNRf al aumentar la dosis de N.

La EUNa difirió entre tratamientos de Nbase y Nfoliar en ambas localidades, observándose interacción entre estos factores en PE (Tabla 2). A medida que el Nbase aumentó disminuyó la EUNa en ambas localidades (Gráficos 31 y 32), y al realizar la fertilización foliar esta eficiencia también disminuyó, solo a bajas dosis de N en PE, y en todas las dosis en PO. La caída en la EUNa con el aumento de la dosis de N coincide con el marco general la ley de los rendimientos decrecientes (de Wit 1992).

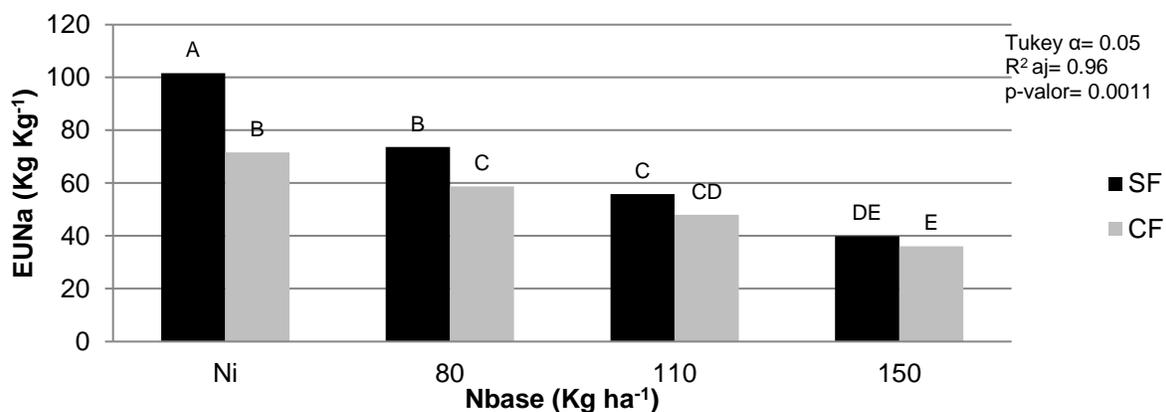


Gráfico 31. Eficiencia en el uso de Nitrógeno agronómica (EUNa) de acuerdo a Nbase y Nfoliar en PE (promedio de variedades). Letras diferentes representan diferencias significativas

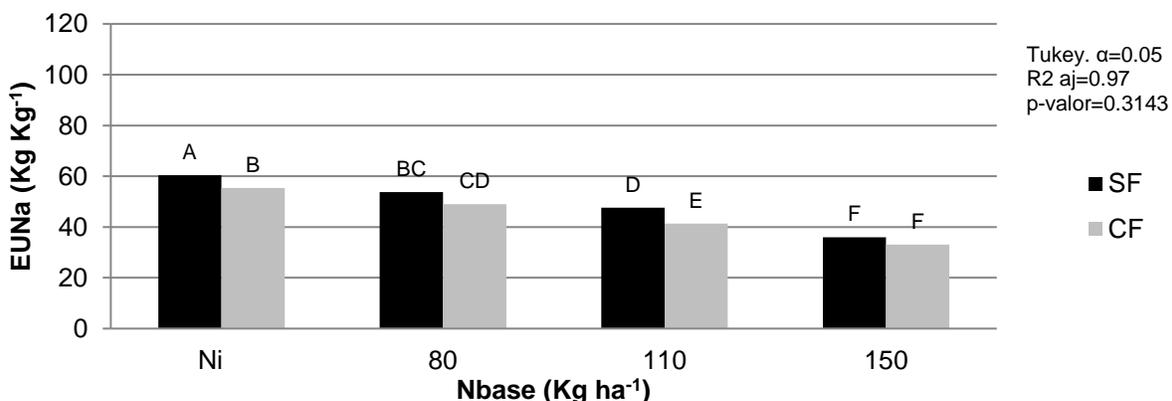


Gráfico 32. Respuesta de la EUNa al Nbase y Nfoliar en PO. Letras diferentes representan diferencias significativas

5.3.- Calibre y proteína

Al analizar conjuntamente las 2 localidades se observa que para calibre la localidad y la variedad son grandes fuentes de variación, (24 y 29% de la SC total, respectivamente), encontrándose interacciones también entre Localidad * Nbase * Variedad (Gráfico 33). Al igual que para la variable rendimiento, para proteína la Localidad también representó una alta fuente de variación dentro de la SC total (26%) (Gráfico 34).

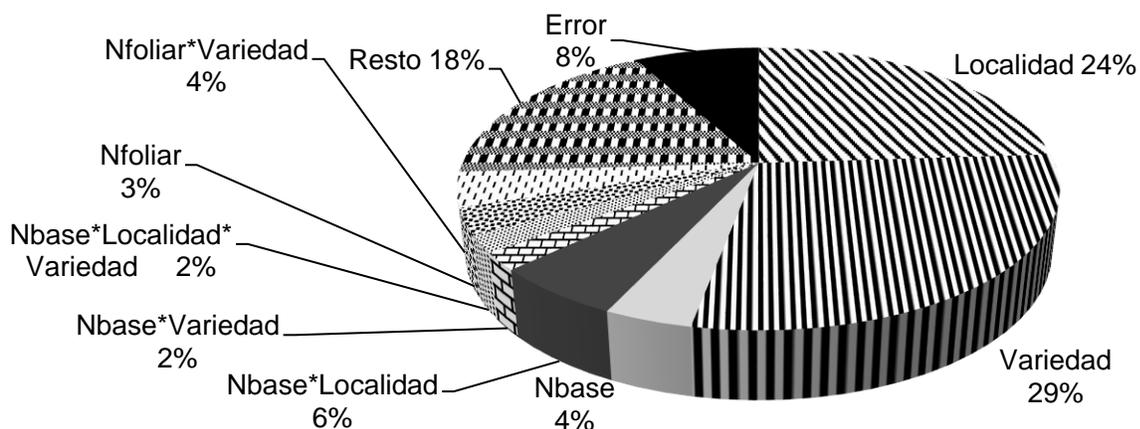


Gráfico 33. Porcentaje de la SC total del calibre explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, el "resto" agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

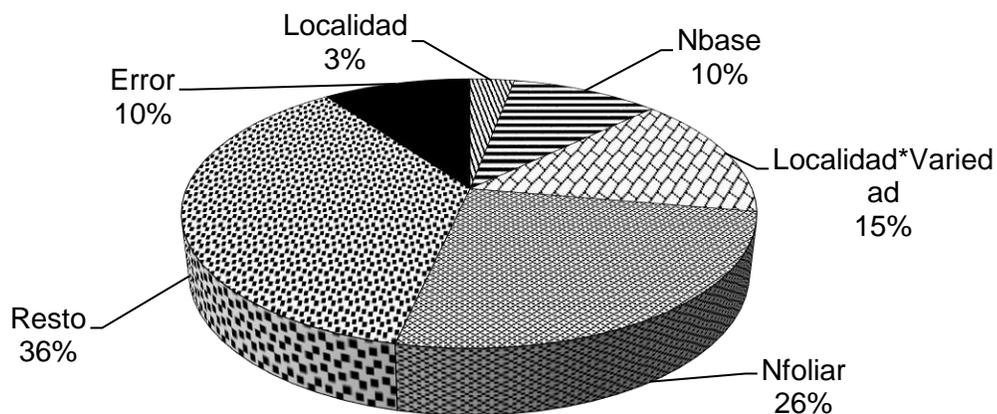


Gráfico 34. Porcentaje de la SC total de la proteína explicada por las distintas fuentes de variación en forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$, el "resto" agrupa a todas las fuentes NS). El modelo incluye 2 Localidades x 4 Nbase x 2 Nfoliar x 2 Variedades

Analizando dentro de cada localidad se pudo observar que en PE el calibre respondió a la interacción entre Nbase * Variedad (Tabla 2). Si bien las dos variedades estuvieron por encima del umbral requerido por la industria, Scarlet presentó menores valores que Carisma bajo todas las condiciones de Nbase y tendió a disminuir dicho valor ante incrementos del Nbase (Grafico 35). Esta respuesta es consistente con el alto NG e incremento del mismo ante aumento del Nbase, y consecuente caída del PG, observado en dicha localidad. Estos resultado coinciden con estudios previos donde se observó una caída del calibre con la fertilización nitrogenada en etapas tempranas del ciclo (Prystupa *et al.* 2004).

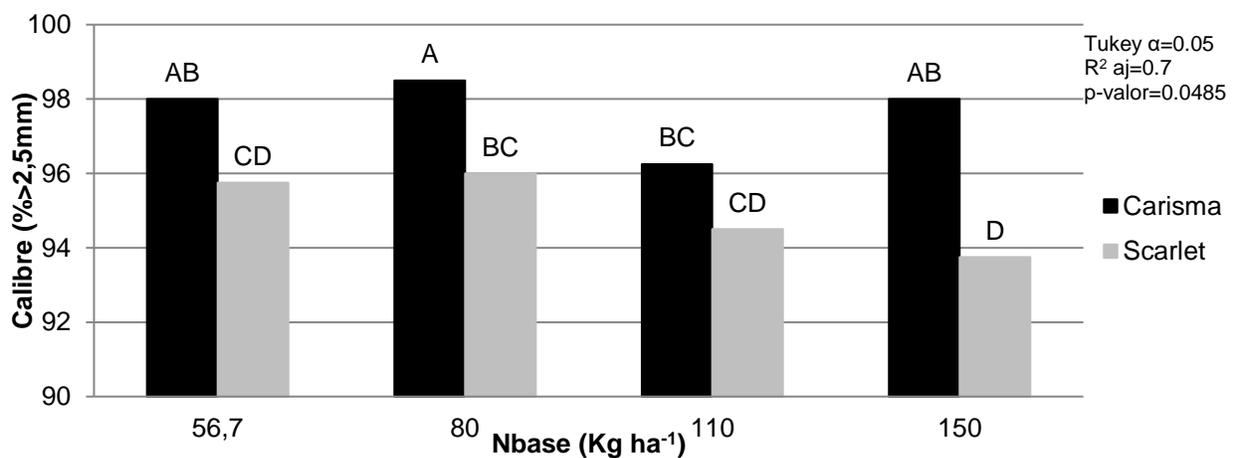


Gráfico 35. Calibre de acuerdo a Nbase y Variedad en PE (promedio de tratamientos de Nfoliar). Letras diferentes representan diferencias significativas

En PO no se observaron efectos de los tratamientos que hayan producido diferencias significativas en el calibre de los granos, observándose sólo una tendencia a aumentar el calibre con la aplicación del fertilizante foliar (97.6 SF vs 98.4 CF). Resultados similares con fertilización foliar (solo un 4% de incremento en el calibre) fueron observados por Passarella (2005).

En general los niveles de proteína obtenidos estuvieron por debajo de los necesarios para cumplir con la reglamentación vigente y comercialización. La obtención de altos rendimientos frecuentemente esta asociada con bajos niveles de proteína (Fischer 1993a, Prystupa *et al.* 2008).

En PE la proteína respondió a los tratamientos existiendo interacción entre Nbase * Variedad * Nfoliar (Tabla 2). Scarlet presentó en general menores valores de proteína que Carisma para una misma combinación Nbase x Nfoliar (excepto en N150 donde presentaron el mismo valor). A medida que aumentó el Nbase, Carisma SF tendió a incrementar el valor de proteína de ca 8,6 a 9,4, mientras que Scarlet lo aumentó significativamente entre ca 8 y 9,1 (Gráfico 36). La aplicación del Nfoliar incrementó la proteína entre 0,6 y 1,3 puntos en Carisma y entre 0,5 y 1,1 en Scarlet.

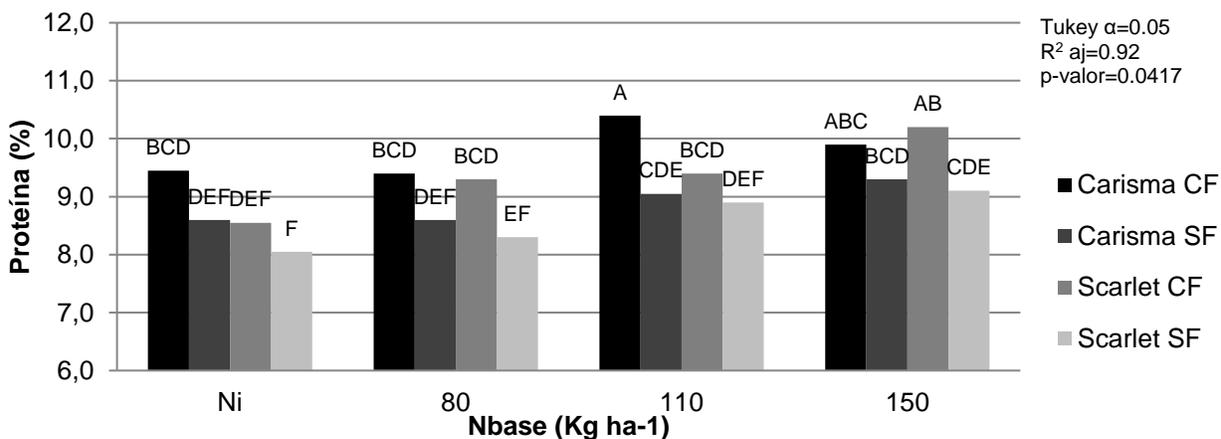


Gráfico 36. Proteína de acuerdo a Nbase, Variedad y Nfoliar en PE. Letras diferentes representan diferencias significativas

En PO, donde hubo gran respuesta del rendimiento al Nbase, la proteína sólo respondió al Nfoliar incrementando en promedio 0,6 puntos el porcentaje de proteína (Gráfico 37).

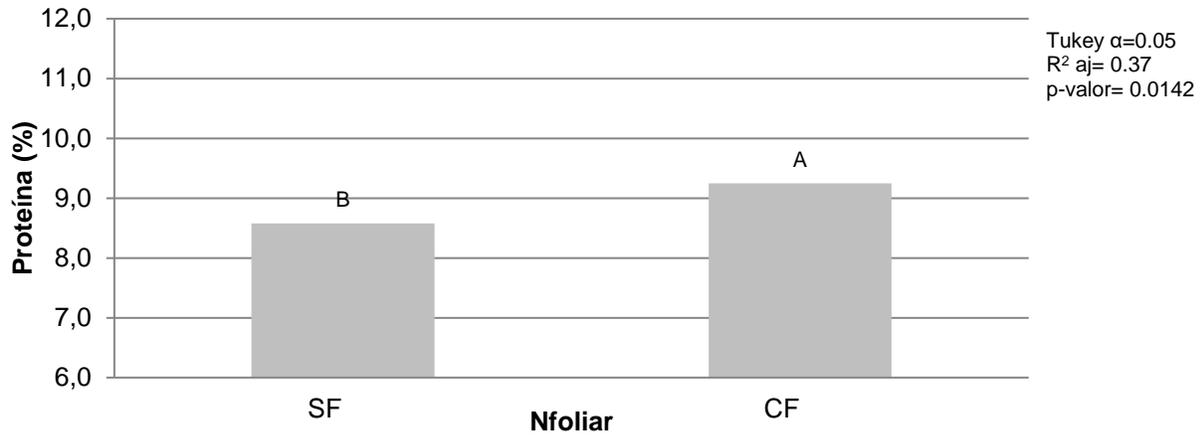


Grafico 37. Porcentaje de proteína de acuerdo a Nfoliar en PO (promedio de variedades y tratamientos de Nbase). Letras diferentes representan diferencias significativas

La respuesta del porcentaje de proteína en PE a incrementos en la fertilización de base y la falta de ella en PO, coincide con el marco teórico general (Fischer 1993a), puesto que las aplicaciones de N al inicio del ciclo del cultivo se traducen principalmente en rendimiento con poco impacto en proteína, y a medida que esta respuesta se va saturando (eg. PE) los incrementos del N en etapas tempranas resultan también en incrementos del porcentaje de proteína. La respuesta del porcentaje de proteína a Nfoliar fue similar o superior a la reportada en estudios previos (Passarella 2005, Prystupa *et al.* 2008)

6- Conclusiones

- El rendimiento aumentó en forma significativa en respuesta al Nbase en PO, a través de un incremento en el NG asociado principalmente a variaciones en el NE y a incrementos de la BT producida. En PE no hubo respuesta significativa del rendimiento al Nbase obteniéndose altos rendimientos con una disponibilidad de N a la siembra similar a la observada en PO. Sin embargo el Nabs en madurez en PE en relación a

PO fue superior para el mismo N inicial, ca 80 kgN ha⁻¹ en PE vs 55 kgN ha⁻¹ en PO. Estas diferencias establecieron la falta de respuesta significativa en PE vs la gran respuesta observada en PO. Al ajustar curvas de respuesta, el valor de saturación del rendimiento al N disponible (Nbase + Nfoliar) fue similar entre localidades y variedades, oscilando entre 100 y 120 kgN ha⁻¹. Teniendo en cuenta estos resultados entonces la primera hipótesis planteada se rechaza sólo parcialmente.

- El Nabs a madurez dependió de la localidad (mayor en PE que en PO). Con el incremento de Nbase aumentó el Nabs en PO, aunque en PE se observó solo una tendencia. En ambas localidades, el Nabs aumentó cuando se aplicó Nfoliar. La EUNRf dependió de la localidad y no difirió entre variedades. En forma similar, sólo en PE Scarlet tuvo mayor EUNBf que Carisma, observándose un impacto de la localidad. La EUNRf y la EUNBf disminuyeron con el Nfoliar en las dos localidades. Por todo ello, la segunda hipótesis planteada se rechaza sólo parcialmente.

- De acuerdo a lo planteado en la tercera hipótesis, el aumento del Nbase en PO, donde hubo respuesta significativa del rendimiento, no se tradujo en caídas en calibre los granos, pero en forma contraria a lo planteado, este aumento del Nbase no se tradujo en mayores porcentajes de proteína. En PE, donde también aumentó el NG ante aumentos del Nbase pero asociado a caídas del PG que resultaron en poco impacto en el rendimiento, sí se observó una caída en calibre. La aplicación de Nfoliar modificó muy poco el calibre pero incrementó el porcentaje de proteína. De acuerdo a estos resultados, la tercera hipótesis también se rechaza sólo parcialmente.

7- Bibliografía

Abeledo G., Calderini F, Slafer G., 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinant in barley.

Arisnabarreta y Miralles, 2006. Floret development and grain setting in near isogenic two- and six- rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.) *Field Crop Research* 96, 466-476.

Arisnabarreta y Miralles, 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six –rowed barley. *Field Crops Research* 107, 196-202.

Bancal MO, Roche R, Bancal P, 2008. Late Foliar Diseases in Wheat Crops Decrease Nitrogen Yield through N Uptake Rather than Through Variations in N Remobilization. *Ann. Bot.* 102: 579-590.

De Witt CT 1992. Resource use efficiency in Agriculture. *Agric. Syst.* 40, 125-151.

Dreccer M, Ruiz R, Maddoni G, Satorre E, 2008. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. Páginas 483.485. *Producción de granos.* Satorre E, Benech-Arnold, et al. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. Argentina.

Fischer 1993a. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research* 68.

Fischer 1993b. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* 33.

García del Moral, L. F., J. M. Ramos, and L. Recalde, 1985. Relationships between vegetative growth, grain yield and grain protein content in six winter barley cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 65, 523—532.

García del Moral, L. F., J. M. Ramos, M. B. García del Moral, F. Roca de Togores, and J. L. Molina-Cano, 1990. Effects of genotype and nitrogen fertilization on grain yield of barley (*Hordeum distichon* L.) in two contrasting environments of southern Spain. *Agric. Med.* 120, 303—309.

García del Moral, L. F., I. de la Morena, and J. M. Ramos, 1999. Effects of nitrogen and foliar sulphur interaction on grain yield and yield components in barley. *J. Agron. Crop Sci.* 183, 287—295.

Jandel TBLCURVE, 1992. Curve Fitting Software. Jandel Scientific, Corte Madera, CA.

Jenner CF, Ugalde DT, Aspinall D, 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 18, 211-226.

Kettlewell PS, 1999. The response of alpha-amylase activity during wheat grain development to nitrogen fertilizer. *Annals of Applied Biology* 134, 241- 249.

Martre P, Porter JH, Jamieson PD, Triboi E, 2003. Modeling Grain Nitrogen Accumulation and Protein Composition to Understand the Sink/Source Regulations of Nitrogen Remobilization for Wheat. *Plant Physiol.* 133: 1959-1967.

Miralles D, Arisnabarreta S, Alzueta I, 2011. Desarrollo ontogénico y generación de rendimiento. Páginas 24-32. Cebada cervecera. Miralles, Benech-Arnold, et al. Orientación Grafica Editora. Buenos Aires. Argentina.

Passarella 2005. Composición y calidad de los granos de cebada en respuesta a breves períodos de temperaturas moderadamente altas, disponibilidad nitrogenada, y relaciones fuente-destino durante post-floración. Tesis de Doctorado. EPG Alberto Soriano, FA-UBA. Pg 114.

Passarella VS, Savin R, Slafer GA, 2008. Are temperature effects on weight and quality of barley grains modified by resource availability? Aust. J. Agric. Res. 59: 510-516.

Prystupa P., R. Savin y G.A. Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. Field Crops Research 90: 245-254.

Prystupa P, Bergh R, Ferraris G, Loewy T y Ventimiglia L, 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv Scarlet.

Sadras, V.O. 2007. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. Field Crops Res. 100: 125-138.

Schnyder H, Baum U, 1992. Growth of the grain of wheat (*Triticum aestivum L.*). The relationship between water content and dry matter accumulation. *European Journal of Agronomy* 1, 51-57.

Sylvester-Bradley R, Kindred DR, 2009. Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *J. Exp. Bot.* 60: 1939-1951.

Wardlaw IF, Blumenthal C, Larroque O, Wrigley CW, 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology* 29, 25-34.