



Facultad de Agronomía Universidad Nacional de La Pampa

Trabajo Final de Graduación

FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO EN CEBADA CERVECERA.

Autores:

Kloster Mariano Ezequiel y Parras Vanesa

Director:

Romano Nicolás Fermín

Codirector:

Fernández Miguel Ángel

Ingeniería Agronómica
Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de La Pampa
2014

AGRADECIMIENTOS:

Detrás de todo proyecto de investigación y en la vida misma, nos encontramos afortunadamente con personas que nos enriquecen en nuestro aprendizaje y también nos nutrimos de los valores que ellos predicán. Por ello no podemos dejar de agradecer a nuestro Director Nicolás Romano que desde el primer momento nos motivo e inculcó un trabajo claro, responsable y ordenado; a un puntal que nos apoyo y aconsejo en todo momento como fue Alfredo Bono, a todo el equipo técnico de campo que siempre estuvo dispuestos a colaborar con nuestra causa. Agradecer además a todo el personal técnico de laboratorio de suelos de INTA Anguil, a Nanci Kloster que siempre estuvo incentivando nuestro proyecto. Y a la Institución INTA por abrirnos las puertas y poder realizar nuestro Trabajo Final de Graduación cálidamente y con éxito.

En estos seis años de aprendizaje y continua nutrición de conceptos e interpretación de realidades no podemos olvidarnos de nuestra querida Casa de Estudios que en todo momento nos dio la oportunidad de desarrollarnos e ir formándonos como profesionales críticos e interpretes de todos los sistemas que nos rodean. Agradecer a nuestro Coodirector Miguel “Kata” Fernandez por su vocación en la enseñanza y desinteresada actitud de colaboración con los estudiantes.

Y antes de llegar a esta etapa de universitarios, pasamos por la mejor e incomparable Institución que la vida nos dio, nuestra Familia, donde nos forjamos con valores, costumbres y amor. Eternamente agradecidos con nuestros padres, gracias a ellos somos quienes somos hoy, a nuestros compañeros de banco que son nuestros hermanos y adquirimos algo de cada uno de ellos, y a todos que de una u otra manera nos ayudaron y motivaron en momentos difíciles.

Índice:

Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	3
Hipótesis	3
Antecedentes	4
Materiales y métodos	7
Resultados y discusión	10
Condiciones edafoclimáticas	10
Ensayos comparativos de rendimiento	12
Fertilización en Cebada	14
Componentes de rendimiento	16
Eficiencias de uso de N	20
Conclusiones	21
Bibliografía	21

RESUMEN

El cultivo de cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) es el cuarto cereal del mundo por volumen de producción, detrás de maíz, arroz y trigo. Se han observado respuestas significativas a la fertilización nitrogenada en cebada en numerosos ensayos en la región pampeana, donde las respuestas promediaron 480 kg ha⁻¹. El cultivar Scarlett es uno de los más difundidos en el país y en el mundo. Esta variedad tiene un muy alto potencial de rendimiento pero suele presentar concentraciones de proteínas excesivamente bajas. Hoy aparecen en el mercado nuevas variedades con alto potenciales de rendimiento, incluso más alto que Scarlett. Hasta el momento en la región semiárida hay escasa información sobre los potenciales de rendimiento en grano de las nuevas variedades de cebada disponibles y la respuesta cualitativa y cuantitativa al agregado de nitrógeno (N) y fosforo (P). Los objetivos del siguiente trabajo fueron evaluar los potenciales de rendimiento de las diferentes variedades experimentales y comerciales de cebada cervecera en la Región Semiárida Pampeana durante las campañas 2011 y 2012, y evaluar la influencia de la fertilización con N y P sobre el rendimiento en grano, componentes de rendimiento y parámetros de calidad en seis variedades comerciales de cebada cervecera. Durante los años 2011 y 2012 se instalaron ensayos de cebada sobre un lote en la EEA INTA Anguil, La Pampa, en un suelo Haplustol Entico. Durante la campaña 2012 además del ensayo comparativo se realizó otro ensayo experimental donde se evaluaron solo las variedades comerciales más utilizadas y algunas elegidas según su performance en Anguil en la campaña 2011. Los tratamientos que se llevaron a cabo consistieron en seis variedades de cebada con tratamientos de fertilización con N, con P y la combinación con N y P. En la Campaña 2011 los rendimientos en grano fueron excelentes con un valor promedio para todas las variedades de 4700 kg ha⁻¹. La variedad de INTA Bordenave (Bv 271-10) fue la que mayor rendimiento presentó, muy cerca de ella, variedades más modernas como Andreia y Prestige. En la Campaña 2012, los rendimientos fueron afectados en mayor medida por problemas de enfermedades foliares. Se observó un valor promedio para todas las variedades de 2000 kg ha⁻¹. En relación a la fertilización, no se encontró efecto de dobles y triples interacciones. Andreia y Prestige mostraron los mayores rendimientos con 2692 kg ha⁻¹ y 2426 kg ha⁻¹ respectivamente, no presentando diferencias significativas. No existió efecto estadísticamente significativo por el agregado de N, P y la interacción N-P. Se presentaron bajas eficiencias en el uso del N. Solo la Eficiencia de recuperación fue alta ya que la absorción de N fue alta. Para concluir, se encontraron diferencias de rendimiento en grano en las variedades más modernas de cebada y no se encontraron respuestas estadísticas al agregado de N, P, ni en la combinación de estos nutrientes respecto al testigo sin fertilizar. Las condiciones climáticas generadas durante la campaña 2012 fueron las que enmascararon estos resultados.

Palabras claves:

Región Semiárida Pampeana, fertilización en cebada, eficiencia del uso de nitrógeno, comparativos de rendimientos de cebada.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) es el cuarto cereal del mundo por volumen de producción, detrás de maíz, arroz y trigo. Actualmente tres regiones abarcan el 75% de la producción mundial de cebada, Unión Europea 43%, Ucrania-Rusia 21% y Australia el 8 %. La Argentina ocuparía en este ranking el puesto número 11, aportando el 2% a la producción mundial con 2.300.000 tn (Alonso, 2011). Dentro de Sudamérica, Argentina es el mayor productor de cebada, especializándose en cebada cervecera cuya producción ha experimentado un crecimiento notable y sostenido desde fines de la década del 80, esto está relacionado directamente con el aumento de la producción mundial de cerveza que se ha incrementado en un 40% en los últimos 10 años (Miralles *et al.*, 2011).

Al igual que el trigo (*Triticum aestivum*), el cultivo de cebada presenta respuestas importantes al agregado de nitrógeno (N). Se han observado respuestas significativas a la fertilización nitrogenada en cebada en numerosos ensayos en la región pampeana (Prystupa *et al.*, 2008), las respuestas promediaron 480 kg ha⁻¹. En general las aplicaciones de N se realizan al comienzo del periodo vegetativo o al momento de la siembra, y presumiendo que no habrá altas pérdidas, resultará en una alta eficiencia de uso de nutriente. Aplicaciones más adelantadas respecto a este periodo, o demoras en la aplicación, aumentan la disponibilidad de N durante las etapas de desarrollo posteriores a la floración y tienen como principal consecuencia un directo re direccionamiento del N hacia el grano en formación, con menor efecto directo sobre el rendimiento y un mayor efecto sobre el peso del granos y contenido de proteína (Miralles *et al.*, 2011).

Los requerimientos de fósforo (P) son de 4 kg de P por tonelada de grano cosechada, los cuales son ligeramente inferiores a los de trigo (Ciampitti y García, 2007). Asimismo, el índice de cosecha de P sugerido es de 0,75 y 0,80 para cebada y trigo, respectivamente. La fertilización fosforada en cebada aumenta el área foliar, principalmente porque determina un mayor número de macollos y aumentos en el número de espigas por unidad de superficie. En algunos casos, estos incrementos en el número de espigas están acompañados por aumentos en el número de granos por espigas.

La fertilización en cebada cervecera puede mejorar el rendimiento, pero tendrá consecuencias, en algunos casos negativos y en otros positivos, sobre la calidad comercial del grano obtenido. En este cultivo, obtener altos rendimientos es tan importante como producir granos con el contenido proteico (entre 10-12%) y el calibre adecuado (Miralles *et al.* 2011). Durante la comercialización, las partidas de cereal que no cumplen con los requisitos de calidad reciben importantes descuentos en el precio. El cultivar Scarlett es uno de los más difundidos en el país y en el mundo. Esta variedad tiene un muy alto potencial de rendimiento pero suele presentar concentraciones de proteínas excesivamente bajas (Loewy *et al.*, 2008). Hoy aparecen en el mercado nuevas variedades con alto potenciales de rendimiento, incluso más alto que Scarlett. Hasta el momento en la región semiárida hay escasa información sobre los potenciales de rendimiento en grano de las nuevas variedades de cebada disponibles y la respuesta cualitativa y cuantitativa al agregado de N y P.

OBJETIVOS

Los objetivos del siguiente trabajo fueron:

- Evaluar los potenciales de rendimiento de las diferentes variedades experimentales y comerciales de cebada cervecera en la Región Semiárida Pampeana durante las campañas 2011 y 2012.
- Evaluar la influencia de la fertilización con N y P sobre el rendimiento en grano, componentes de rendimiento y parámetros de calidad en seis variedades comerciales de cebada cervecera.

HIPOTESIS

- A pesar de estar dentro de la región semiárida pampeana Argentina, donde el agua limita el alcance de los potenciales de rendimiento en grano, se encuentran diferencias en rendimiento en grano a favor de las variedades más modernas.
- El incremento de rendimiento en grano por el agregado de N es significativo en las variedades de cebada y las respuestas se mejoran con el agregado de P.

ANTECEDENTES

Los sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana Argentina (RSP) son mixtos, basados en rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes en base a leguminosas, siendo la más común alfalfa (Viglizzo *et al.*, 2001). Como integrante de esas rotaciones, la cebada cervecera se presenta como una alternativa considerable. Es un cereal de invierno con una superficie de siembra promedio de 48473 ha y una producción promedio de 1850 kg ha⁻¹ para la provincia de La Pampa (Anuario Estadístico de La Pampa, REPAGRO 2012). En las últimas campañas el 66,6 % de la superficie de cebada cervecera se realizó bajo siembra directa en la provincia de La Pampa; y bajo labranza convencional el 33,4 % (Anuario Estadístico de La Pampa, REPAGRO 2012). En los cultivos de cereales, la fertilización nitrogenada es una herramienta que permite alcanzar rendimientos elevados e incrementar su contenido proteico. En una red realizada durante dos años en las principales regiones productoras del país, se observaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada inicial en 7 de 19 ensayos (Loewy *et al.*, 2008). En ellos el rendimiento aumentó entre el 24 y 45 %. Los fertilizantes más comúnmente usados en la RSP son el fosfato diamónico a la siembra, y la urea y la mezcla líquida de urea y nitrato de amonio (UAN) al macollaje (Belmonte *et al.*, 2010).

El área agropecuaria de la RSP posee suelos clasificados mayormente como Haplustoles Énticos y Ustipsamientos Típicos de texturas arenosa-francas a francas (INTA *et al.*, 1980; Romano y Roberto, 2007). En los últimos años se ha producido una mayor agriculturización de la región, con caídas de la materia orgánica (MO) y estabilidad estructural de los suelos, incrementándose la susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1996a). El excesivo laboreo y la incorporación de tierras de menor aptitud han generado procesos de erosión eólica e hídrica con importantes pérdidas de nutrientes. Debido a esto, el uso de fertilizantes se ha ido incrementando en los últimos años. El mantenimiento de la fertilidad de los suelos o la reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas es uno de los requisitos importantes para el aumento de la producción y la sustentabilidad de la agricultura moderna (Buschiazzo *et al.*, 1991; Quiroga *et al.*, 1996b).

Esta región es caracterizada por una gran variabilidad de las precipitaciones (Scienc, 2002) y grandes diferencias en la capacidad de retención de agua de sus suelos, condicionada, a su vez, por la granulometría y profundidad efectiva del perfil (Quiroga *et al.*, 1996b). Por otra parte, se observa un balance hídrico anual negativo, donde la evapotranspiración potencial es mayor que la cantidad anual de lluvia. Se comprueba que la probabilidad de precipitaciones superiores a 350 mm (adecuado para cebada) es inferior al 20%. Por esta razón, resulta significativa la contribución del agua almacenada a la siembra y las estrategias de su manejo, condicionando además la respuesta a la fertilización (Quiroga *et al.*, 2010) (Figura 1).

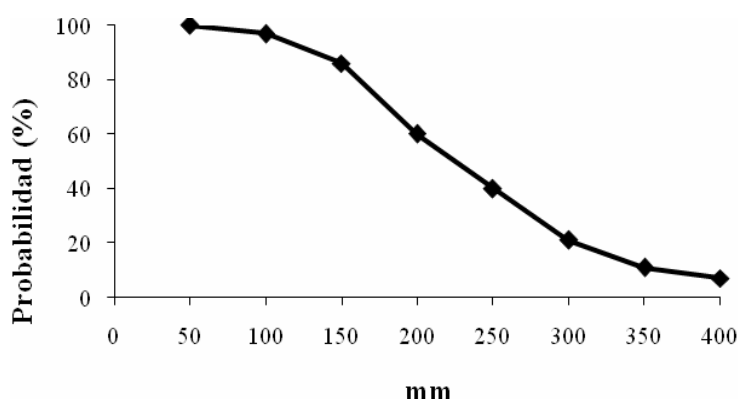


Figura 1. Probabilidad de precipitaciones durante el período julio-noviembre (ciclo cebada).

Por lo tanto, al fertilizar se busca el máximo rendimiento con la menor cantidad de fertilizante (uso eficiente del insumo). Es necesario lograr una predicción de la respuesta con cierto grado de confiabilidad. Desde 1996 hasta el 2004, a partir de una red de ensayos de fertilización en la RSP y Subhúmeda Pampeana, se generó un modelo que explicó el 48% de la variabilidad del rendimiento en el cultivo de trigo. En el mismo se utilizó como variables independientes la humedad a la siembra, el N orgánico del suelo, el contenido de N mineral más la dosis de N del fertilizante, la profundidad del perfil, la textura y el sistema de labranza (Bono y Álvarez, 2009). En consecuencia, las variables relacionadas con el agua y el N del suelo explican en mayor grado el rendimiento del cultivo. Por otro lado, cuando no se cuenta con curvas de respuesta puede usarse el modelo de balance para la estimación de N a aplicar. El modelo se puede usar para nutrientes móviles y se aplica

básicamente para diagnosticar necesidad de fertilización nitrogenada. El mismo considera el requerimiento de N del cultivo y la oferta del suelo, calculándose la dosis de N como la diferencia entre ambos (Álvarez *et al.*, 2007). El modelo del balance trabaja bajo la asunción básica de que el N es limitante del rendimiento y propone una respuesta lineal.

$$N_{\text{cultivo}} + N_{\text{residual}} = N_{\text{inicial}} + N_{\text{mineralizado}} \pm N_{\text{residuos}} + N_{\text{fertilizante}} - N_{\text{perdidas}}$$

N cultivo: N total absorbido por el cultivo; *N residual*: N remanente en el suelo a cosecha; *N inicial*: N disponible en el suelo a la siembra; *N mineralizado*: N orgánico mineralizado durante el ciclo del cultivo; *N residuos*: N liberado (+) o inmovilizado (-) por los residuos vegetales en descomposición; *N fertilizante*: dosis de N a aplicar; *N pérdidas*: pérdidas de N del sistema suelo-planta por volatilización, desnitrificación y lixiviación.

En la Región Pampeana norte, la postergación de la fertilización nitrogenada de la siembra al macollaje, suele traer aparejado la obtención de rendimientos similares -en años con invierno húmedos, o inferiores en años con inviernos secos a las aplicaciones de siembra. Por otra parte, un aspecto clave tanto en la sustentabilidad a largo plazo como en la rentabilidad es lograr elevadas eficiencias de uso de N (EUN) (Echeverría, 2009). Existen numerosas formas de definir la EUN (Fageria y Baligar, 2005), desde el punto de vista del suelo, Echeverría (2009) propone que la EUN es el cociente entre el rendimiento en grano y el N disponible. La EUN surge del producto entre la eficiencia de recuperación (ER) y la eficiencia fisiológica (EF). La ER, se refiere a la cantidad de N absorbido en relación al N disponible del suelo o del fertilizante. Por otra parte, la EF nos indica cuanto del N absorbido del suelo o del fertilizante se traduce en rendimiento. La ER disminuye a medida que se incrementa la disponibilidad del nutriente (Abbate y Andrade, 2007). De igual manera, la EF es menor a medida que aumenta el N absorbido. En términos generales, para trigo, se estima que entre el 20 y el 50% del N aplicado no es utilizado por el cultivo y se puede perder del sistema (Bono y Alvarez, 2007). Como consecuencia, se estaría generando un perjuicio económico y ambiental (Quinteros y Boschetti, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2011 y 2012 se instalaron ensayos de cebada sobre un suelo Haplustol Entico en la EEA INTA Anguil, La Pampa. El lote presentaba tosca a profundidad variable (60-80 cm). Las características del suelo se detallan en la Tabla 1. Se implantó la cebada mediante un sistema de siembra convencional sobre un antecesor soja.

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo donde se desarrolló el ensayo.

N total %	P asimilable ppm	DA tn m ⁻³	MO Total		pH	Fracciones texturales			Clase textural
			%	tn ha ⁻¹		Arena	Limo	Arcilla	
0,1	12,3	1,25	1,9	47,5	6,2	55,0	32,0	13,0	franco arenoso

Datos de suelo en los primeros 20 cm. DA: Densidad aparente; MO: Materia orgánica.

En las campaña 2011/2012 se realizaron ensayos comparativos de rendimiento de cebada donde participaron variedades comerciales y experimentales, Tabla 2.

Tabla 2: Variedades intervinientes en los ensayos comparativos de rendimiento de cebada con sus pesos de mil semillas para las dos campañas.

Campaña 2011			Campaña 2012		
Designación	Origen	Peso mil (g)	Designación	Origen	Peso mil (g)
Scarlett	Cargill	50	MP 1109	Maltería Pampa	41
Andreia	Malteria Quilmes	49	Bv.135 - 10	INTA Bordenave	49
Shakira	Malteria Quilmes	47	Andreia	Malteria Quilmes	42
Q. Carisma	Quilmes	44	Scarlett	Cargill	37
Prestige	Cargill	53	Sylphide	Cargill	40
Silphide	Cargill	47	MP 2122	Maltería Pampa	43
MP 2122	Maltería Pampa	47	Bv. 271 - 10	INTA Bordenave	45
MP 1109	Maltería Pampa	47	Prestige	Cargill	45
MP 1012	Maltería Pampa	47	MP 1012	Maltería Pampa	42
Bv. 73-02	INTA Bordenave	41	Bv. 273 - 10	INTA Bordenave	48
Bv. 72-07	INTA Bordenave	40	Shakira	Malteria Quilmes	44
Bv. 45-08	INTA Bordenave	44	Bv. 73 - 02	INTA Bordenave	41
Bv. 100-08	INTA Bordenave	42	Bv. 72 - 07	INTA Bordenave	43
Bv. 155-10	INTA Bordenave	46	Bv. 292 - 10	INTA Bordenave	48
Bv. 173-10	INTA Bordenave	46	Q.Carisma	Quilmes	43
Bv. 59-06	INTA Bordenave	44			
Bv. 256-10	INTA Bordenave	44			
Bv. 271-10	INTA Bordenave	45			
Bv.272-10	INTA Bordenave	49			
Josefina INTA	INTA	44			
Bv. 285-10	INTA Bordenave	46			
Bv. 289-10	INTA Bordenave	43			

Durante la campaña 2012 además del ensayo comparativo se realizó otro ensayo experimental donde se evaluaron solo las variedades comerciales más utilizadas y algunas elegidas según su performance en Anguil en la campaña 2011. En este caso los tratamientos que se llevaron a cabo consistieron en seis variedades de cebada con distintos tratamientos de fertilización, Tabla 3.

Tabla 3: Tratamientos que se realizaron con 6 variedades comerciales de cebada y los distintos tratamientos de fertilización.

Nº	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	Variedad
1	0	0	Scarlett
2	0	0	Andreia
3	0	0	Shakira
4	0	0	Prestige
5	0	0	Josefina INTA
6	0	0	Bv. 271-10
7	0	20	Scarlett
8	0	20	Andreia
9	0	20	Shakira
10	0	20	Prestige
11	0	20	Josefina INTA
12	0	20	Bv. 271-10
13	50	0	Scarlett
14	50	0	Andreia
15	50	0	Shakira
16	50	0	Prestige
17	50	0	Josefina INTA
18	50	0	Bv. 271-10
19	50	20	Scarlett
20	50	20	Andreia
21	50	20	Shakira
22	50	20	Prestige
23	50	20	Josefina INTA
24	50	20	Bv. 271-10

N (Nitrógeno) en forma de urea, P (Fósforo) en forma de super fosfato triple de calcio.

Las siembras, en ambas campañas, se realizaron durante la primer quincena del mes de Julio, con una densidad de 250 semillas por m². El control de malezas se realizó en forma química utilizando para tal fin 2,4D amina 800cm³ ha⁻¹+dicamba 150cm³ ha⁻¹+ metsulfurón 5g ha⁻¹. Las fertilizaciones con P se realizaron al momento de la siembra, al voleo y utilizando como fuente super fosfato triple de calcio. Las fertilizaciones con N, utilizando urea, se realizaron al macollaje del cultivo de cebada. En madurez fisiológica se estimó la absorción de N por parte del cultivo de cebada. Para esto se determinó la producción de materia seca de biomasa aérea y producción de grano. Luego se determinó N Kjeldhal en el material vegetal para estimar la absorción. Con los datos de rendimiento en grano y absorción de N se estimó además las distintas eficiencias de uso de N. Las mismas fueron realizadas de la siguiente forma: Eficiencia de uso de N (EUN): rendimiento en grano / N disponible, Eficiencia fisiológica (Efis): rendimiento en grano / N absorbido, Eficiencia de recuperación (Erec): N absorbido / N disponible y Eficiencia agronómica (Eagr): respuesta (rendimiento fertilizado - rendimiento testigo) / dosis de N aplicada. Para caracterizar el suelo bajo estudio se realizó una muestra compuesta de los primeros 20 cm y se determinó MO por el método de Walkey y Black, N total por Kjeldahl, pH en pasta, P extractable por el método de Bray y Kurtz N° 1 y textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos. La densidad aparente se determinó con cilindros de acero de 250 cm³ de volumen, en capas de 20 cm hasta 60 cm, para transformar los valores de humedad en el suelo de % a mm y de ppm a kg ha⁻¹ de N de nitratos. Las constantes hídricas (CC: capacidad de campo y PMP: punto de marchites permanente) se determinaron en capas de 20 cm hasta 60 cm con olla de Richard. Se determinó la humedad en el perfil en capas de 20 cm hasta 140 cm o hasta la tosca por gravimetría, y N de NO₃ en capas de 20 hasta 60 cm, por la técnica de arrastre de vapor (Bremner, 1965) a la siembra, al macollaje y a cosecha.

El cultivo se cosechó manualmente (3 m²) durante los primeros días de diciembre evaluándose los rendimientos en grano corregidos por humedad en kg ha⁻¹ de cada uno de los tratamientos y sus componentes, número de espigas por m² (con un marco de 0,25 m²), granos por espiga y peso de mil granos y porcentaje de proteína. Se midió materia seca en biomasa de todos los tratamientos con un marco de 0.25 m². Para evaluar la distribución de los datos de rendimiento en grano en función del número de grano por metro cuadrado se compararon con datos extraídos de Alzueta, 2008. Para esto se utilizó el software GetData

Graph Digitizer 2.26 para digitalizar los datos. Se relacionó la biomasa aérea y el N absorbido por el cultivo (N_{planta}). Se realizó un análisis de regresión entre rendimiento en grano y biomasa aérea producida. De manera similar se analizó por regresión la relación entre la cantidad de N necesario para producir una tonelada de grano (COEFB) y el N absorbido por el cultivo (N_{planta}). Por último, se relacionó el índice de cosecha de N, relación entre el N que se lleva en grano y lo que absorbe (ICN) con el N absorbido por el cultivo (N_{planta}). Todas las relaciones se realizaron por regresión y correlación testeando la significancia por la F ($P=0.05$).

Para los ensayos comparativos de rendimiento se adoptó un diseño en bloques completamente aleatorizado con 4 repeticiones y 3 repeticiones para el caso del ensayo de fertilización. El tamaño de las parcelas fue de 1,4 m x 5 m (7 m²). Los datos fueron analizados utilizando el análisis de la varianza (INFOSTAT) para detectar diferencias significativas entre los tratamientos y las interacciones con un $P=5\%$. Pruebas de diferencias de medias fueron usadas para comparar los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones edafoclimáticas.

En las dos campañas al momento de la siembra de la cebada el perfil se encontró con buena cantidad de agua útil, Figura 1. Para el caso de la campaña 2011 el valor de agua útil a los 120 cm fue de 111 mm y de 135 mm en el 2012. Teniendo en cuenta estos valores y la probabilidad de que las precipitaciones cubran el uso consuntivo del cultivo, 350 mm (Miralles, 2011), se estaría dentro de un 40 y 60% de probabilidad de cubrir esa demanda, (Quiroga *et al.*, 2010). Luego durante el ciclo del cultivo de cebada, el agua en el perfil no limitó el normal desarrollo de cultivo en las dos campañas. Los contenidos de agua útil, diferencia entre la humedad total y el punto de marchitez permanente, se redujeron sustancialmente durante la antesis del cultivo pero, en mayor medida durante la campaña 2011, Figura 1.

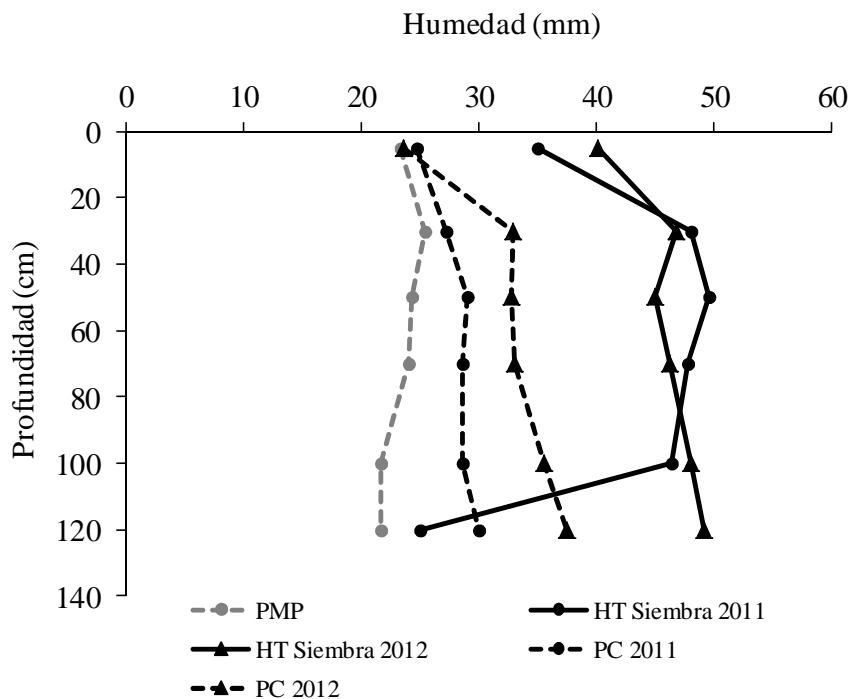


Figura 1: Distribución de la humedad en el perfil de suelo observándose los contenidos de humedad en punto de marchitez permanente (PMP), humedad total (HT) y humedad total en el periodo crítico del cultivo de cebada (PC) según los dos años de ensayos.

Sin embargo, cuando se analizaron las precipitaciones durante el ciclo del cultivo en las dos campañas, las condiciones fueron muy distintas. En la campaña 2011, las precipitaciones solo superaron a la media histórica en los meses de otoño, y en la primavera las lluvias estuvieron por debajo de los valores históricos e inferiores a la evapotranspiración potencial (ETP), Figura 2. A pesar de eso las lluvias tempranas en octubre lograron el normal desarrollo del cultivo. En este año no se observaron condiciones predisponentes para el desarrollo de enfermedades fúngicas, las precipitaciones registradas en la primavera se encontraron próximas a la media histórica.

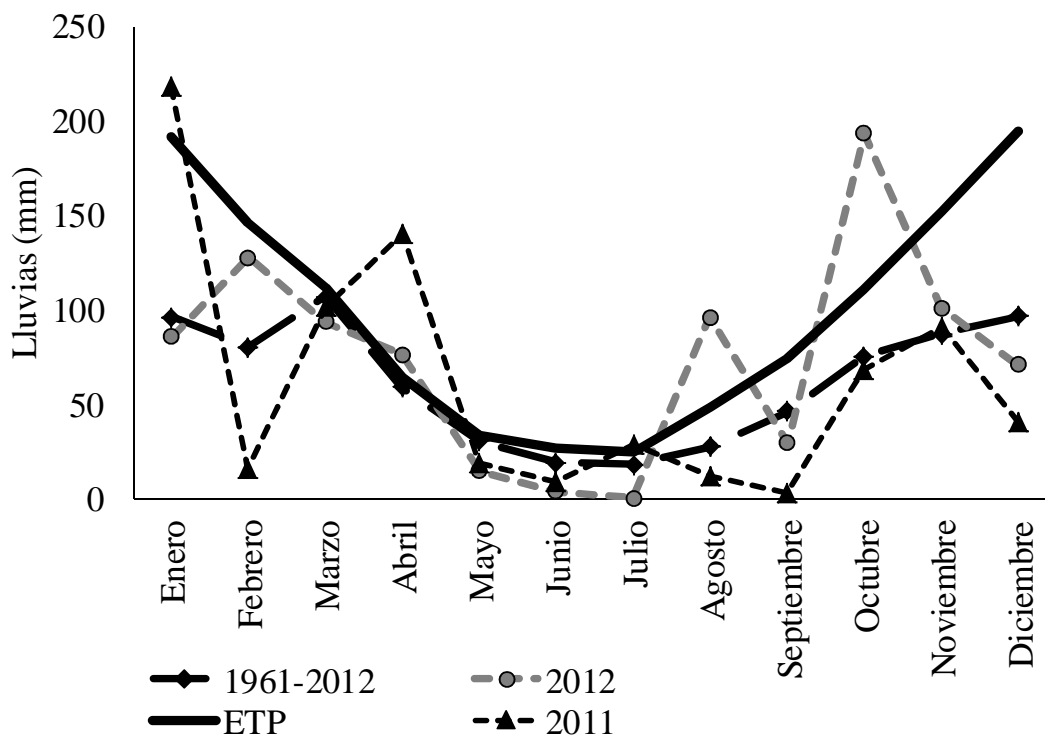


Figura 2. Distribución de las precipitaciones durante los años 2011 y 2012, distribución promedio histórica (1961-2012) y evapotraspiración potencial (ETP).

En el 2012, las lluvias de primavera fueron muy importantes en magnitud y generaron muchos problemas de enfermedades foliares en el cultivo, Figura 2. En la primavera se produjeron lluvias muy superiores a la normal histórica, donde en el mes de octubre se registraron cerca de 200 mm. Esta primavera con mucha humedad relativa y con numerosos días con presencia de rocío en las plantas de trigo y cebada generó la manifestación de enfermedades tales como roya de la hoja (*Puccinia hordei*) y mancha en red (*Dreschlera teres*). Las enfermedades fúngicas en el cultivo de cebada son un problema grave en años con estas condiciones climáticas, ya que si los comparamos con las variedades de trigo, el cultivo de cebada es mucho más susceptible. Por esta razón es recomendable usar fungicidas foliares a base de triazoles y estrobirulinas en este cultivo.

Ensayos comparativos de rendimiento

Campaña 2011

Los rendimientos en grano en esta campaña fueron excelentes. Se observó un valor promedio para todas las variedades de 4700 kg ha⁻¹. La variedad de INTA Bordenave (Bv 271-10) fue la que mayor rendimiento presentó, muy cerca de variedades más modernas como Andreia y Prestige, Tabla 4.

Tabla 4: Rendimiento en grano de cebada cervecera y porcentajes en base al promedio (100). Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Designación	Rendimiento		
	kg ha ⁻¹	%	Tukey 5%
Bv. 271-10	6266	133	A
Andreia	6198	132	A
Prestige	5713	121	AB
Bv. 100-08	5676	121	ABC
MP 2122	5430	115	ABC
Bv. 289-10	5206	111	ABC
Bv. 173-10	5028	107	ABCD
Bv. 155-10	4915	104	ABCD
Bv. 73-02	4913	104	ABCD
Bv. 285-10	4855	103	ABCD
Bv. 256-10	4812	102	ABCD
MP 1012	4748	101	ABCD
Scarlett	4710	100	ABCD
Q. Carisma	4587	98	ABCD
Bv. 59-06	4474	95	ABCD
Bv. 72-07	4154	88	ABCD
Bv.272-10	4078	87	BCD
Josefina INTA	4030	86	BCD
MP 1109	3939	84	BCD
Silphide	3701	79	BCD
Shakira	3214	68	CD
Bv. 45-08	2834	60	D
Promedio	4704	100	

Si bien estadísticamente no hay diferencias significativas entre materiales, Scarlett la variedad más sembrada en la región, fue superada de manera muy notable por materiales más modernos. Variedades Shakira y Silphide, también muy difundidas, presentaron

problemas a muchas heladas en macollaje y además Shakira mostró problemas sanitarios, por presencia de mancha en red.

Campaña 2012

El comportamiento de la cebada en esta campaña fue en general muy malo. Los rendimientos fueron afectados en mayor medida por problemas de enfermedades foliares. Se observó un valor promedio para todas las variedades muy inferior a la campaña anterior no llegando a los 2000 kg ha⁻¹. Muchas de las variedades que se destacaron en el 2011, fueron superados por las de más bajo rendimiento en grano el año anterior, por ejemplo es el caso de Sylphide y MP 1109. La variedad que mostró bastante estabilidad fue Andreia, Tabla 5. Al verse restringidos los potenciales de rendimiento se observó que la brecha entre el que más rindió MP1109 y el que menos rindió Q. Carisma es de solo 1100 kg ha⁻¹ y en la campaña anterior el rango fue de 3400 kg ha⁻¹.

Tabla 5: Rendimiento en grano de cebada cervecera y porcentajes en base al promedio (100). Letras distintas indican diferencias significativas al 5%.

Designación	Rendimiento	%	Tukey 5%
MP 1109	2464	126	A
Bv.135 - 10	2399	122	A B
Andreia	2370	121	A B
Scarlett	2299	117	ABC
Sylphide	2278	116	ABC
MP 2122	2258	115	ABC
Bv. 271 - 10	2250	115	ABC
Prestige	2141	109	ABC
MP 1012	1832	94	ABC
Bv. 273 - 10	1731	88	ABC
Shakira	1715	88	ABC
Bv. 73 - 02	1715	88	ABC
Bv. 72 - 07	1507	77	ABC
Bv. 292 - 10	1264	65	BC
Q.Carisma	1169	60	C
Promedio	1960	100	

Fertilización en Cebada

En el análisis de la fertilización en cebada sobre las variedades seleccionadas se incluyó en el modelo las variables clasificatorias cómo, variedad, P, N, las respectivas interacciones y la triple interacción. No se encontró efecto ni de la triple interacción y las dobles interacciones. Se encontró diferencia significativa en el rendimiento en grano para las distintas variedades de cebada, Figura 3. Andreia y Prestige mostraron los mayores rendimientos con 2692 kg ha⁻¹ y 2426 kg ha⁻¹ respectivamente, no presentando diferencias significativas. En cuanto al desempeño de las variedades Shakira y Josefina INTA se decidió retirarlas del análisis estadístico ya que presentaron alta susceptibilidad a enfermedades y no brindaban datos representativos y confiables.

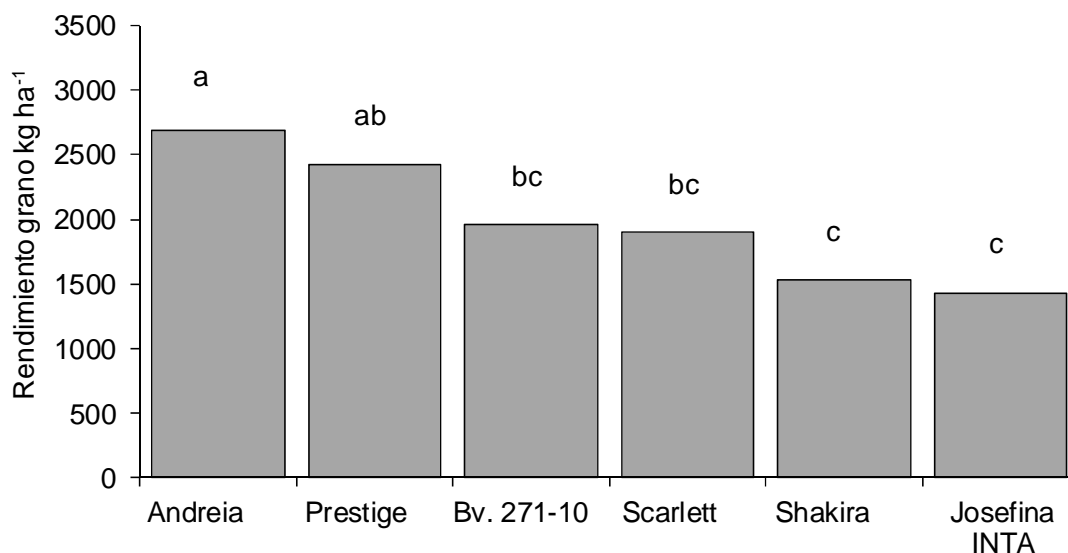


Figura 3. Rendimiento en kg ha⁻¹ de las diferentes variedades de cebada. Diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

No existió efecto estadísticamente significativo por el agregado de N, P y la interacción N-P, Figura 4. A pesar de no encontrar diferencias estadísticas las tendencias nos indican respuesta a la fertilización, sobre todo cuando se combinaron los nutrientes. La variabilidad entre repeticiones hace que este efecto pierda la significancia estadística.

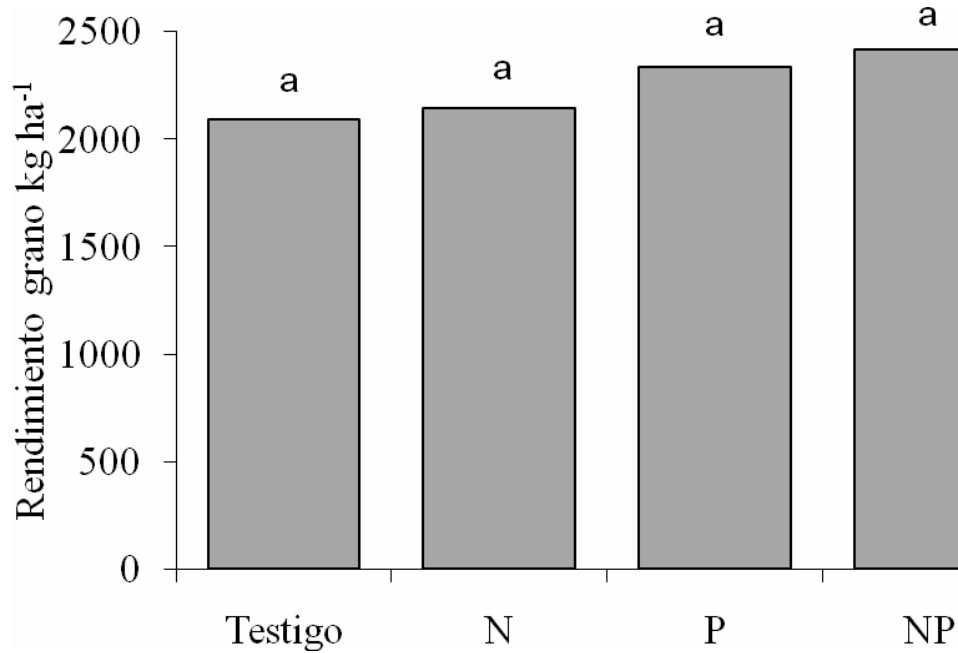


Figura 4. Rendimiento en grano promedio de los tratamientos de fertilización realizados. Promedio de tres repeticiones ($P < 0,05$).

Analizando cada variedad en particular solo Andreia mostró una respuesta importante al agregado de N, aunque en la combinación con P, estas respuestas se diluyeron notablemente, Figura 5.

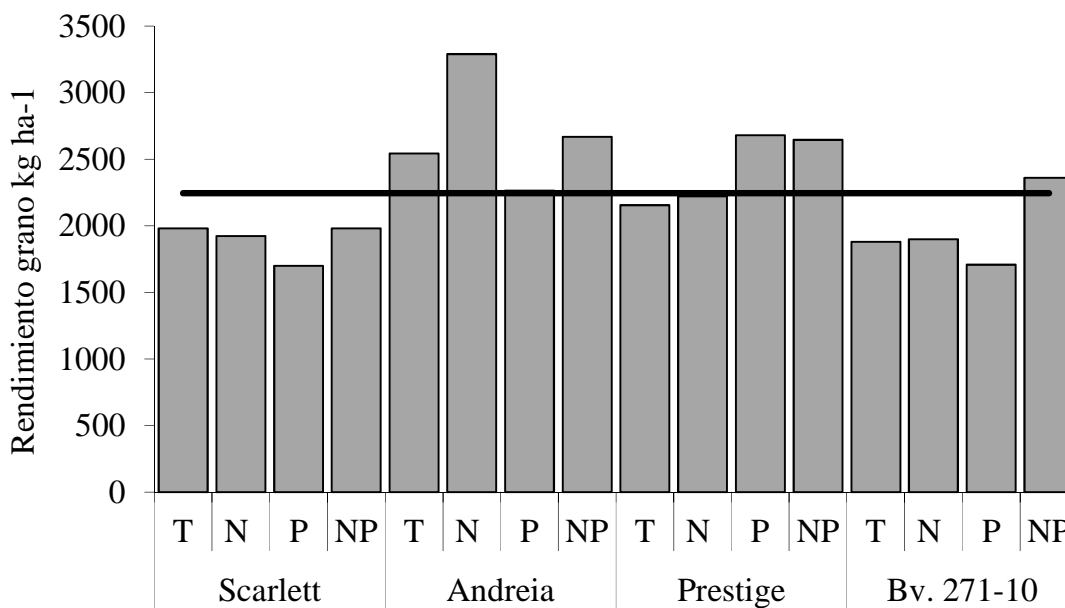


Figura 5. Rendimiento en grano promedio según variedades de cebada y tratamientos de fertilización. La línea negra llena indica el rendimiento promedio de los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

Componentes de rendimiento:

El número de granos producidos por unidad de área fue el que mejor explicó el rendimiento de cebada. Analizando nuestras unidades experimentales y combinándolas con la información de Alzueta, 2008, encontramos un patrón de correlación importante. Se obtuvo un número muy bajo de granos m^{-2} , pero fueron acordes a los rendimientos generados en el ensayo, Figura 6.

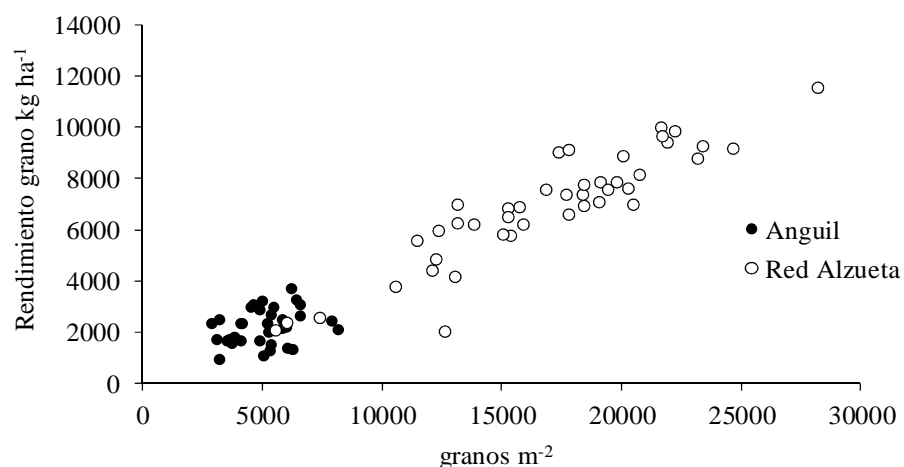


Figura 6. Rendimiento en grano de cebada en función del número de granos por unidad de área (grano m⁻²).

Cuando se analizaron los demás componentes de rendimiento, no se encontraron diferencias significativas tanto en las variedades de cebada, como en la fertilización. Los factores tales como, número de espigas por metro cuadrado, número de granos por espiga y el número de granos por metro cuadrado no presentaron diferencias estadísticas, Figura 7. Se sugiere que la variabilidad en los rendimientos está más influenciada por el número de granos que por el peso de los mismos (Slafer *et al.*, 2003). Es decir el número de granos por unidad de superficie es el componente del rendimiento que suele estar más asociado con el rendimiento de los cultivos de grano.

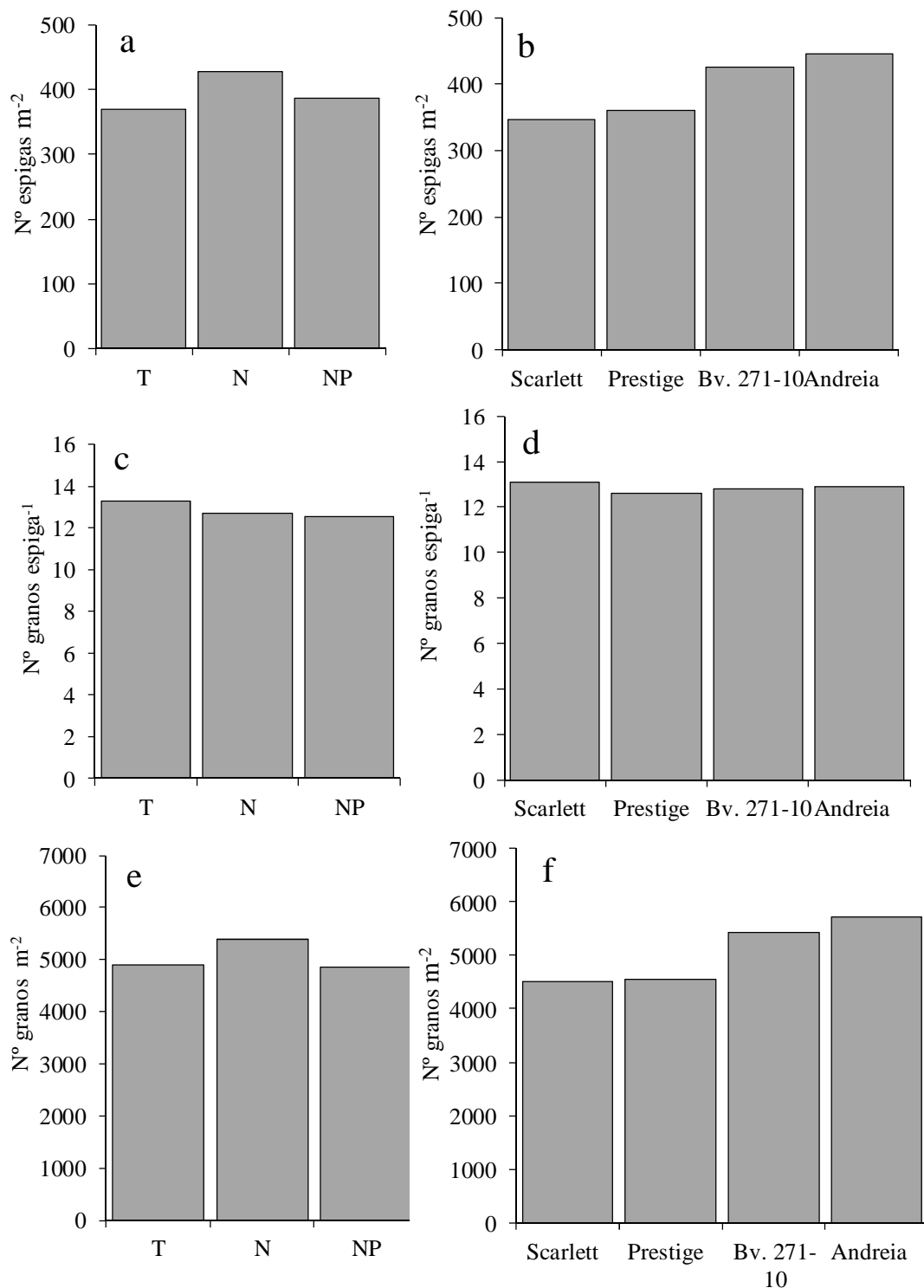


Figura 7. Componentes de rendimiento en cebada según variedades y tratamientos de fertilización. Números de espigas m⁻²(a y b), números de granos por espiga (c y d) y número de granos m⁻² (e y f).

Análisis de regresiones

Se trató de explicar el rendimiento del cultivo de cebada en función de la absorción de N y producción de biomasa del cultivo. No se encontró una correlación entre la absorción de N y la producción de biomasa, Figura 8a. Se encontró una relación entre la producción de biomasa y el rendimiento en grano, Figura 8b.

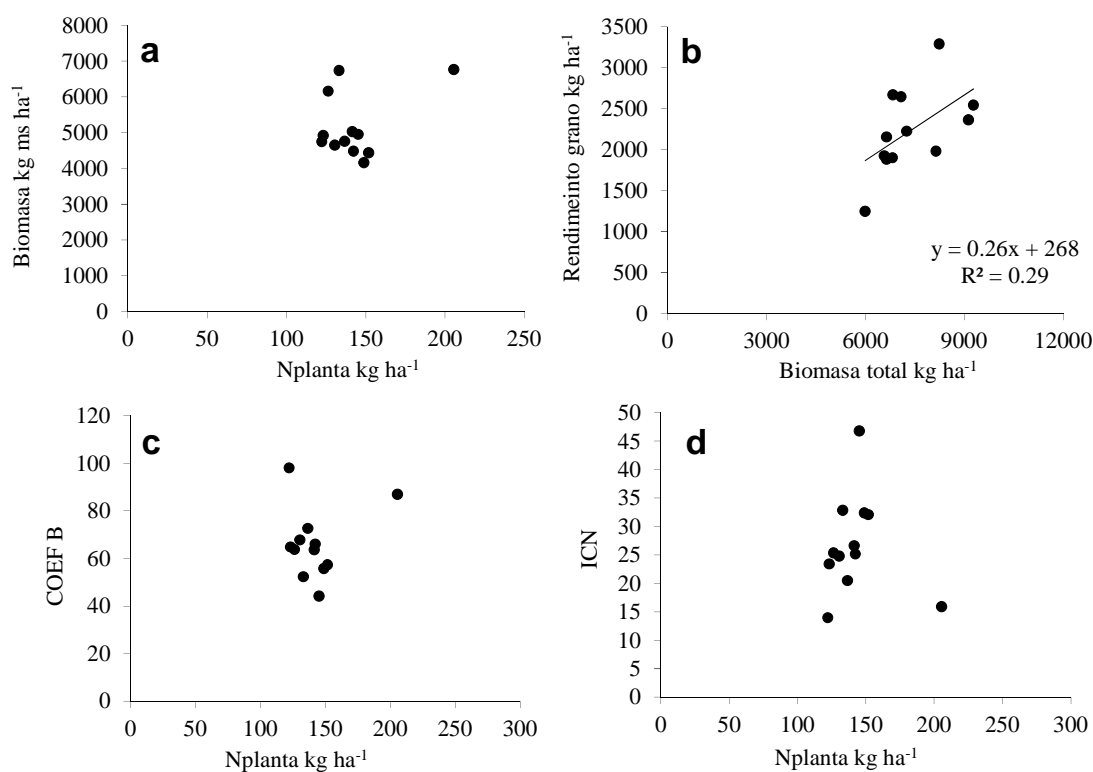


Figura 8. a) Biomasa del cultivo en función al contenido de N absorbido en planta, b) relación entre el rendimiento en grano y la biomasa total, c) COEFB (cantidad de N requerida para producir una tonelada de grano coeficiente b en función al contenido de N absorbido en planta y d) ICN (índice de cosecha de N) en función al contenido de N absorbido en planta.

Al analizar el comportamiento de la utilización de N por el cultivo en función de la cantidad de N que absorbe, no se encontró relación entre el COEFB y la cantidad de N absorbido por la planta (N Planta), Figura 8c. Contrariamente a lo esperado a medida que el

cultivo absorbe más N el COEFB aumentara, es decir que el cultivo requiera cada vez más N por tonelada de grano producido. Por otro lado se trató de explicar que sucedió con el ICN (índice de cosecha de N). No se encontró relación entre el ICN y la cantidad de N que absorbió la planta, Figura 8d.

Eficiencias de uso de N

Además del N inicial a la siembra y el N agregado por fertilizantes, se tuvo en cuenta el N proveniente de la mineralización de la materia orgánica. El cálculo de este pool de N se realizó teniendo en cuenta el N orgánico a los 20 cm de profundidad multiplicado por un coeficiente de mineralización de 1.5 %, (Romano *et al.*, 2014). En general, todas las eficiencias de uso de N fueron muy bajas, Tabla 6. Olano y Vessoni, 2013, trabajando en la misma región con distintas fuentes de N en trigo obtuvieron eficiencias promedio de 17, 24, 0.65 y para la EUN, EFis, ERec, respectivamente. Uno de los causales de esas bajas eficiencias fueron las altas cantidades de N mineral disponible a la siembra (NS 0-60) y los bajos rendimientos obtenidos. Solo la Erec fue alta ya que la absorción de N fue alta, esta eficiencia solo considera el N que absorbió la biomasa y no lo que es traducido en rendimiento. Por ultimo analizando la Eficiencia agronómica (Eagr) que solo considera el rendimiento del cultivo en relación a la cantidad de N agregada por el fertilizante, observamos valores muy contrastantes. Si tomamos en cuenta un valor promedio de 11 kg de grano por Kg de N agregado como fertilizante, es un valor que se acerca mucho a las eficiencias encontradas por Bono y Alvarez, 2009, trabajando en trigo en la región.

Tabla 6. Cantidades de N a la siembra, N del fertilizante, N mineralizado y las distintas eficiencias de uso de N calculadas para las distintas variedades de cebada según tratamientos de fertilización.

Variedad	Tratamiento	NS 0-60 kg ha ⁻¹	N Fert kg ha ⁻¹	N min kg ha ⁻¹	N total kg ha ⁻¹	EUN	E Fis	E rec	Eagr
Scarlett	T	95	0	41	177	7	10	0.69	.
	N	95	37	41	214	9	15	0.61	18
	NP	95	37	41	214	9	16	0.59	20
Andreaia	T	95	0	41	177	14	19	0.75	.
	N	95	37	41	214	15	23	0.68	20
	NP	95	37	41	214	12	18	0.70	3
Prestige	T	95	0	41	177	12	15	0.80	.
	N	95	37	41	214	10	16	0.66	2
	NP	95	37	41	214	12	17	0.71	13
Bv. 271-10	T	95	0	41	177	11	14	0.77	.
	N	95	37	41	214	9	15	0.58	1
	NP	95	37	41	214	11	11	0.96	13

N a la siembra a los 60 cm de espesor de suelo (NS0-60) N agregado por fertilizante (Nfert), N mineralizado por la materia orgánica (Nmin), N absorbido por el cultivo (Ntotal) kg ha⁻¹, eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica (Efis), eficiencia de recuperación (Erec) y eficiencia agronómica (Eagr).

CONCLUSIONES

- Se encontraron diferencias de rendimiento en grano a favor de las variedades más modernas de cebada cervecera.
- No se encontraron respuestas estadísticas al agregado de N, P ni la combinación de ellos respecto al testigo sin fertilizar.
- Las condiciones climáticas generadas durante la campaña 2012, cuando se desarrollo el ensayo de fertilización, fueron las que enmascararon estos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate P y FH Andrade. 2007. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos. *In: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed: INTA. Pp 43-65.*
- Alonso M. 2011. Cebada. Apuntes de mercado. Agromercado. Año 30. 15-17 p.
- Álvarez R; F Gutiérrez Boem y G Rubio. 2007. Capítulo 5: Recomendación de fertilización. *In: Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la región pampeana. Ed: Facultad de Agronomía UBA. Pp 63-77.*
- Anuario estadístico de la provincia de La Pampa. 2012. Gobierno de la provincia de La Pampa. http://www.estadisticalapampa.gov.ar/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=15&Itemid=134
- Alzqueta I. 2008. Caracterización fenológica de cultivares comerciales de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) y análisis de la generación del rendimiento. Especialización en cultivos de grano de la Universidad de Buenos Aires.

- Belmonte ML; M Fernández; Y Bellini Saibene; H Lorda; M Fuentes; A Rossi; J Garay y R Rivarola. 2010. Capítulo 2: Caracterización tecnológica y productiva del cultivo de trigo y otros cereales de invierno para la Región Semiárida Pampeana Central. *In: El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Publicación Técnica N° 79. Pp 13-31.*
- Bono A y R Álvarez. 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. Publicación Técnica N° 69, INTA Anguil. Pp 65-76.*
- Bono A y R Álvarez. 2009. Rendimiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada. *Informaciones Agronómicas IPNI 41. Pp 18-21.*
- Bremmer JM. 1965. Inorganic forms of nitrogen. p. 1179-1237. In C. A. Black et al. (ed) *Methods of soil analysis. 1st ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison.*
- Buschiazzo D; A Quiroga y K Stahr. 1991. Paterns of organic matter acumulations in soils of the semiarid argentinian pampas. *Z. Pflanz. Boden 154. Pp 437-441.*
- Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, oleaginosos e industriales. *ArchivoAgronómico N° 11 Informaciones Agronómicas N° 33 Instituto Internacional de nutrición de Plantas. Programa Latinoamérica – Cono Sur*
- Echeverría H. 2009. Eficiencia de uso de nitrógeno en cultivos extensivos. *Balcarce Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACCS. Bahía Blanca, Buenos Aires.*
- Fageria NK y VC Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *In: Advances in Agronomy. Volumen 88. Pp 89.*
- INTA, Gobierno de La Pampa, UNLPam. 1980. Inventario integrado de recursos naturales de la provincia de La Pampa. *ISAG Buenos Aires. Pp 493.*
- Loewy T., R. Bergh; G . Ferraris; LL. Ventimiglia, F.HH. Gutierrez Boem y P. Prystupa. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera Cv. Scarlett: I. Efecto del Nitrógeno inicial. *En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis.*
- Miralles DJ.; RL, Benech- Arnold y GL RL., Abeledo GL. 2011. Cebada cervecera. *Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.284p- 71 p- 29p.*
- Olano I y S Vessoni. 2013. Fertilización nitrogenada en trigo en la Región Semiárida Pampeana: Perdidas por volatilización y eficiencia de uso. *Tesis de grado. Universidad Nacional de La Pampa.*
- Prystupa P; G, Ferraris; G., R. Bergh;, T. Loewy;, L. Ventimiglia y F.H. Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. *In: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis*
- Quinteros C y G Boschetti. 2001. Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la región pampeana argentina. *Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER.*
- Quiroga A; D Buschiazzo y N Peinemann. 1996a. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science 163. Pp 591-597.*
- Quiroga A; D Buschiazzo y N Peinemann. 1996b. Soil organic matter particle size fractions in soil of the semiarid argentinian pampas. *Soil science 161. Pp 104-108.*
- Quiroga A; R Fernandez; O Ormeño e I Frasier. 2010. Capítulo 4. Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. *In: El cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Publicación Técnica N° 79, INTA Anguil. Pp. 41-46.*

- Romano NF y ZE Roberto. 2007. Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute. IPNI 33: 4.
- Romano NF; R Álvarez y A Bono. 2014. Mineralización de nitrógeno en suelos de la Región Semiárida Pampeana. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas de Congreso.
- Scian B. 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la Región Semiárida Pampeana, Argentina. *Geoacta* 27. Pp 30-52.
- Slafer GA; D Miralles; R Savin; EM Whitechurch y FG Gonzalez. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. *In: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Pp:100-132.
- Viglizzo EF; F Lértora; AJ Pordomingo; JN Bernardos; ZE Roberto y H Del Valle. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the Pampas of Argentina. *Agricultural. Ecosystem. Environment*. Volume 83. Pp 65-81.

