

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE CEBADA CERVECERA EN
RESPUESTA AL ANTECESOR Y MANEJO DEL NITRÓGENO Y AZUFRE EN
POS-EMERGENCIA**

por

**Sebastián GUERISOLI PEREIRA
Leonardo Daniel VERME BELTRAMELLI**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2017**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Esteban Hoffman

.....

Ing. Agr. Nicolás Fassana

.....

Ing. Agr. MSc. PhD. Andrés Berger

Fecha: 21 de diciembre de 2017

Autores:

Sebastián Guerisoli Pereira

.....

Leonardo Daniel Verme Beltramelli

AGRADECIMIENTOS

Al Director de la presente tesis Ing. Agr. Esteban Hoffman y al Ing Agr. Nicolás Fassana por su dedicación y apoyo en todas las etapas de esta tesis.

Al Ing. Agr. (PhD.) Jorge Franco por su ayuda

A Alejandro por su ayuda en las etapas de campo y tareas de laboratorio.

Al grupo Villa Trigo de la Empresa ERRO, por permitirnos instalar los experimentos en su establecimiento y brindar información para el desarrollo de esta tesis.

A nuestros familiares y amigos por brindarnos apoyo y comprensión durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 EDAD DE CHACRA.....	2
2.2 NITRÓGENO.....	7
2.2.1 <u>Efectos sobre el crecimiento</u>	7
2.2.2 <u>Dinámica de absorción</u>	10
2.2.3 <u>Respuesta al agregado</u>	12
2.2.4 <u>Eficiencia de utilización</u>	14
2.2.5 <u>Efecto sobre la proteína</u>	15
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO.....	18
3.2 ANTECEDENTES.....	19
3.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	20
3.3.1 <u>Determinaciones</u>	22
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
3.4.1 <u>Análisis de la varianza</u>	23
3.4.2 <u>Modelo estadístico</u>	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	26
4.2 RENDIMIENTO EN GRANO.....	27
4.3 RESPUESTA AL NITRÓGENO SEGÚN EDAD DE CHACRA.....	30
4.4 RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO Y AZUFRE.....	33
4.5 EFECTOS DE LA EDAD DE CHACRA SOBRE EL CRECIMIENTO.....	40
4.6 ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO.....	47
4.7 RELACIÓN ENTRE BIOMASA, NITRÓGENO ABSORBIDO Y RENDIMIENTO.....	50

4.8 RESPUESTA AL NITRÓGENO Y VARIACIÓN DE LA PROTEÍNA EN GRANO.....	53
5. <u>CONCLUSIONES</u>	58
6. <u>RESUMEN</u>	60
7. <u>SUMMARY</u>	62
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	64
9. <u>ANEXOS</u>	70

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Disponibilidad de P ₂ O ₅ , K ₂ O en suelo a siembra, N-NO ₃ en suelo (siembra y Z 22), planta (Z 30) y nivel de fertilización utilizado para cada edad de chacra.....	21
2. Tratamientos evaluados, con sus respectivas dosis de fertilización y momento.....	22
3. Análisis de la varianza para la variable rendimiento según edad de chacra.....	24
4. Contenido de N en suelo a siembra y a Z22, y kg de N absorbido para los tratamientos testigos en diferentes estadios , según edad de chacra.....	31
5. Rendimientos comparados por ambiente según capacidad de aporte de nitrógeno para cada uno de los tratamientos ...	35
6. Nitrógeno absorbido a Z55 para la totalidad de los tratamientos, según la capacidad de aporte de nitrógeno de la chacra.....	49
Figura No.	
1. Ubicación de la chacra donde se realizó el experimento.....	18
2. Imagen del monitor de rendimiento de la cosechadora obtenida en el potrero.....	19
3. Precipitaciones y temperaturas registradas en el predio y para el promedio histórica de la zona.....	26
4. Rendimiento en grano para los tratamientos testigos sin agregado de nutrientes en pos emergencia, para el tratamiento que asegura el máximo rendimiento en grano y para el promedio de todos los tratamientos según edad de chacra, con sus respectivos errores estándar.....	28

5. Componentes del rendimiento según edad de chacra....	29
6. Rendimiento en grano en función del nitrógeno agregado sin S durante todo el ciclo del cultivo, para los ambientes de BCaN y ACaN.....	32
7. Rendimiento en grano en función del nitrógeno y azufre agregados durante todo el ciclo del cultivo...	34
8. Rendimiento en grano para los tratamientos que mostraron mayores diferencias en cuanto a la capacidad del ambiente de aportar nitrógeno.....	36
9. Árbol de de regresión y clasificación para rendimiento en grano, en función de la capacidad diferencial de aporte de N por parte del suelo y el manejo de N y S.....	38
10. Cultivo de cebada en dos estadios diferentes para cada ambiente.....	40
11. Biomasa acumulada a Z 30 para cada sitio.....	41
12. Biomasa acumulada a Z 30 agrupados por las cantidades de nitrógeno y azufre aplicadas a Z 22.....	42
13. Biomasa acumulada a Z 55 para cada sitio.....	43
14. Biomasa acumulada a Z55 para los tratamientos que representan diferentes escalones tecnológicos con respectivos desvíos estándar.....	44
15. Producción de biomasa y tasas de crecimiento a lo largo del ciclo.....	45
16. Producción de biomasa acumulada (sin grano) a lo largo del ciclo, para los dos sitios.....	46
17. Absorción de nitrógeno por parte del cultivo a lo largo del ciclo, para los dos sitios.....	47

18. Absorción del nitrógeno por parte del cultivo a lo largo del ciclo, para los testigos absolutos, testigos tecnológicos y SLN.....	48
19. Biomasa total a Z 55, en función del N absorbido al mismo estadio.....	50
20. Rendimiento en grano en función del N absorbido...	52
21. Rendimiento en grano y % de proteína en grano según la cantidad de nitrógeno agregado.....	54
22. Proteína en grano (%) en función del N absorbido...	56
23. Nitrógeno absorbido a cosecha en función del nitrógeno absorbido a Z 55 según el ambiente; y variación en cuanto a la absorción o pérdida de nitrógeno de Z 55 a MF en función del nitrógeno absorbido a Z 55 según ambiente.....	57

1. INTRODUCCIÓN

En lo que va del siglo se han registrado grandes cambios en la producción agrícola nacional, impulsada principalmente por el cultivo de soja y la implementación del sistema de siembra directa, gracias a un incremento en los precios internacionales de los granos, que trajo como consecuencia además, un aumento en la intensificación de la rotación agrícola. Estos aspectos resultan claves para entender del porque el componente pasturas prácticamente no se lo incluye dentro de dichas rotaciones.

Sin embargo resulta clave mencionar que este proceso ha comenzado a sufrir ciertos cambios a partir de mediados del año 2014, principalmente debido a una disminución del precio del petróleo y a un aumento de producción de granos a nivel mundial, que ha llevado a una disminución de los precios. Dicha tendencia a la baja, junto con el cambio en los costos de producción, consecuentemente afecta los márgenes económicos dentro de cada empresa, determinando menores superficies de siembra tanto para cultivos de invierno, como de verano.

La edad de chacra (años o número de cultivos pos-pastura) en la medida que se sigue sumando años desde la desaparición de las pasturas, condiciona el potencial de los cereales, en particular a los de invierno. Esta situación en parte resulta, de que no son cubiertas todas las necesidades nutricionales de los cultivos en función de las cantidades utilizadas a nivel de producción. No solo son menores las cantidades de nitrógeno (N) utilizadas en relación a la demanda, sino que la eficiencia de uso está condicionada por bajas cantidades de S utilizadas en la actualidad.

Por lo tanto el presente trabajo pretende cuantificar la respuesta diferencial al nitrógeno y azufre de cebada cervecera en pos-emergencia, dos situaciones contrastantes dada por la edad de chacra. Además, valorar el impacto de la edad de chacra sobre el aporte de nitrógeno y del suelo, como su efecto sobre el crecimiento y el rendimiento en grano del cultivo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EDAD DE CHACRA

Incluir leguminosas en una rotación de cultivos, ha mantenido la producción de sistemas agrícolas en el mediterráneo desde la antigüedad, produciendo nitrógeno fijado de forma biológica, y ayudando a combatir enfermedades, plagas y malezas, al romper la continuidad de los monocultivos cerealistas. Dentro de dicha zona mediterránea, los aportes de nitrógeno a través de la fijación de los nódulos de las leguminosas, se consideran fundamentales para una producción sostenible, tanto económica como ambiental (Howieson y Col, citados por Navas et al., 2007).

En experimentos realizados en España, encontraron que el cultivo de leguminosas (guisante) y la práctica de barbecho (por otros motivos), mejoran la reserva disponible de nitrógeno en el suelo, o la eficiencia en su utilización por el cultivo siguiente, frente a la situación de monocultivo de cereales. Esta mejora puede cifrarse en unos 30-40 kg.ha⁻¹ de nitrógeno útil para el siguiente cultivo (Howieson y Col, citados por Navas et al., 2007). De la misma manera, mencionan que un cultivo de trigo cuando se siembra detrás de una leguminosa o un barbecho necesita significativamente menos nitrógeno mineral aportado, que cuando se siembra detrás de otro cereal, esta magnitud significa un ahorro de 5kg de nitrógeno por cada tonelada de grano producido.

Para el caso de Uruguay, Ernst et al., citados por Ernst (2013) encontraron a partir de registros de chacras de trigo, que bajo condiciones de laboreo la historia de estas es una de las variables que explican en mayor medida las variaciones en rendimiento; donde aquellos cultivos de trigo sembrados luego de una pradera promediaban 2800 ± 500 kg.ha⁻¹, mientras los sembrados sobre chacras viejas, promediaron 1900 ± 350 kg.ha⁻¹.

Datos similares fueron publicados por García Lamouthe, citado por Sawchik (2001) trabajando en ensayos de respuesta al agregado de nitrógeno en el cultivo de trigo bajo laboreo convencional, determinó dosis óptimas sustancialmente menores en trigos sembrados a continuación de la pastura, así como menores rendimientos potenciales alcanzables cuando no se utilizó fertilizante en aquellas rotaciones que no incluían una fase pasturas. Basada en estos experimentos se estimó que la capacidad de suministro de nitrógeno para el cultivo de trigo en los sistemas mixtos de producción en el Uruguay puede variar entre 25-40 kg de N.ha⁻¹ para chacras, y 190 kg de N.ha⁻¹ cuando el cultivo anterior es una leguminosa forrajera de buena productividad y persistencia.

García Préchac, citado por Centurión y Chinazzo (2012) menciona que a medida que aumentan el número de cultivos pos pasturas bajo laboreo continuo, aumenta la respuesta al agregado de nitrógeno y a su vez disminuyen los rendimientos máximos alcanzables. A su vez, Díaz Roselló et al., citados por Ernst (2013) identificaron la pérdida de fertilidad junto con la erosión y la pérdida de materia orgánica por oxidación permanente como las principales variables en explicar la pérdida en calidad de suelo en agricultura continua bajo laboreo.

Sawchik (2001) sugirió que uno de los problemas asociados a la rotación de cultivos continuos bajo siembra directa podría llegar a ser la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos. Por lo tanto, si la productividad de los cultivos es alta, mayor es la cantidad de N retirada con el grano, pudiendo generar balances negativos de N, por lo que estos sistemas pueden volverse mucho más dependientes del agregado de fertilizante nitrogenado. Respecto a esto, Fernández y Andregnette, citados por Ernst (2013), analizando los registros de chacras de productores CREA no lograron encontrar rendimientos altos en chacras con más de 7 años de agricultura continua bajo siembra directa.

Sin embargo Centurión y Chinazzo (2012), no encontraron relación entre el rendimiento de trigo y los años de agricultura continua, aunque no se llegó a cuantificar el efecto de los años de agricultura continua sin laboreo. Además, construyeron un índice de calidad de suelo, a través de la caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas; el mismo resultó de una combinación lineal positiva de la concentración de carbono del suelo, velocidad de infiltración, potencial de mineralización de nitrógeno y profundidad del suelo. Los resultados indican que cuanto mejor es la calidad del suelo, menor es la diferencia entre el rendimiento alcanzable y el actual, y que al deteriorarse la calidad del suelo, para lograr un rendimiento actual similar, sería necesario incrementar las cantidades de nutrientes. Esto permitió concluir que son necesarias mayores cantidades de nutrientes para disminuir el efecto de la calidad de suelo, cuando éste se encuentra deteriorado. Por lo tanto estaríamos entrando en sistemas, donde el recurso suelo tiene una menor capacidad de aporte de nitrógeno.

En este sentido, Ernst y Siri (2009) a través de un trabajo donde comparan los niveles de nitrógeno en suelo bajo laboreo continuo y siembra directa, con y sin rotación de pasturas concluyeron que ajustando la cantidad de nitrógeno a agregar a cada cultivo en base a los indicadores y modelos de dosis recomendadas para Uruguay, el sistema de agricultura continua recibió más fertilizante nitrogenado que el sistema que rota con pasturas, ambos sin laboreo.

Con respecto a esto Sawchik y Morón, citados por Sawchik (2001) trabajando sobre sistemas ya establecidos bajo siembra directa y bajo agricultura continua, encontraron valores bajos de potencial de mineralización (PMN) y que además distaban en forma significativa de los sitios indisturbados utilizados como referencia. Por ende, Sawchik (2001) afirma que los valores más elevados de potencial de mineralización del nitrógeno son encontrados en los sistemas de praderas, y que dicho valor tienden a disminuir después de cuatro años de cultivos continuos. Datos similares fueron publicados por Ernst y Siri (2009) con respecto al comportamiento del nitrógeno, donde reportan que las rotaciones que incluyen una fase pasturas, aumentan los niveles de dicho nutriente durante esta fase y vuelven a disminuir en la etapa de cultivos.

Ernst y Siri (2009) al evaluar el comportamiento de cultivos a una misma cantidad de nitrógeno agregado, determinaron que el rendimiento de maíz y de trigo sembrados como cultivos cabeza de rotación fue significativamente superior en rotación agricultura-pastura que en agricultura continua.

Sawchik y Morón, citados por Sawchik (2001), determinaron un incremento relevante en la acumulación de nitrógeno durante la fase de pastura de alfalfa. La caída en el contenido de nitrógeno total una vez iniciada la fase de cultivos, fue mayor en el tratamiento de laboreo convencional que en el de siembra directa. Por ende la incorporación de la siembra directa en los sistemas de rotación cultivo –pastura presentaría una serie de ventajas: la menor tasa de mineralización del nitrógeno orgánico por no mover el suelo evitaría la caída tan pronunciada del contenido de nitrógeno del suelo que se observa cuando se roturan buenas pasturas bajo laboreo convencional. El aporte de dicho nutriente proveniente de la pastura sería entonces más estable y duradero en el tiempo permitiendo recuperaciones más altas por los cultivos y permitiría plantear la hipótesis de alargar la fase de cultivos con respecto a lo que sucede bajo laboreo convencional (Sawchik, 2001).

Estudios realizados por Berardo, citado por Ackermann y Gasparri (2011) en la región pampeana de Argentina verificaron que en las rotaciones en las que se incluyen el trigo y el maíz, el balance de nutrientes no es tan negativo ya que se repone en general entre el 70 y 80% del nitrógeno y del fósforo exportado por el grano debido a una mejora en las fertilizaciones de los cultivos de trigo y maíz. Sin embargo no sucede lo mismo cuando los cultivos en cuestión son la soja y el girasol, dado que en las rotaciones donde predominan las oleaginosas (principalmente la soja) el balance aparente de nutrientes es altamente negativo, por ser muy escaso el agregado de fertilizantes. Aún, en el mejor de los casos, con una fijación del 50-60% del N requerido, en toda la región, la soja ocasiona un balance negativo. Datos

similares fueron publicados por García Préchac, citado por Centurión y Chinazzo (2012), quién mencionó que la mayoría de los sistemas de producción basados en el cultivo de soja, tienen balances de nitrógeno negativos, debido a que la cantidad de nitrógeno que el cultivo es capaz de fijar no alcanza para cubrir las cantidades que extraen y se exportan del sistema, lo que conlleva a un mayor uso de fertilizantes nitrogenados dentro de la rotación.

Al incrementarse los años de agricultura sin laboreo, el rendimiento en grano obtenido en chacras viejas sin el agregado de nitrógeno en pos-emergencia se reduce, con relación a aquellas chacras que tienen cuatro o menos años de agricultura, llevando a un aumento de nitrógeno agregado tanto a Z 22 como a Z 30, de 7 kg.ha.año⁻¹ de agricultura realizado luego de la fase pasturas dentro de la rotación (Hoffman y Perdomo, 2011). Respecto a esto, Hoffman et al. (2015) encontraron que los cultivos de trigo sembrados luego de una fase pastura lograban absorber 84 kg de N.ha⁻¹ a Z65, mientras que los que venían de agricultura continua por más de diez años solamente llegaron a absorber el 47% (40 kg de N.ha⁻¹) al mismo estadio, ambos casos sin agregado de N.

Ackermann y Gasparri (2011), encontraron que cuanto más negativo son los balances de nitrógeno del sistema, debido a los años de agricultura continua, mayores son las necesidades de nitrógeno para mantener la productividad de los cultivos. Algo similar se generó a través de los datos obtenidos por medio de la red de N de cebada cervecera para Uruguay, donde se aprecia que independientemente del mayor uso de nitrógeno, en las chacras viejas no fue posible obtener los mismo rendimientos promedio, que en las chacras con cuatro o menos años de agricultura (Hoffman y Perdomo, 2011). Esto puede interpretarse de dos maneras, una donde los niveles de nitrógeno utilizados aun siendo mayores, siguen estando por debajo del óptimo o porque existen otras limitantes con respecto al suelo, que se asocian a la edad de chacra, que no permiten lograr los rendimientos deseados (Hoffman y Perdomo, 2011).

Con el objetivo de intentar despejar la incógnita planteada en el párrafo anterior, Hoffman et al. (2013) evaluaron sobre chacras de distintas edades, la respuesta al agregado de nitrógeno adicional al recomendado a Z 30, con y sin S. En este trabajo se determinaron que en aquellas chacras con más de 5 años de agricultura continua, existe una mayor respuesta al agregado de nitrógeno a Z 30 en presencia de azufre, aun utilizando dosis de nitrógeno 50% superiores a lo recomendado a partir del modelo de Baethgen (1992). De esta manera se logró amortiguar el efecto edad chacra, agregando nutrientes desde los primeros estadios del cultivo, de manera que no fueran limitantes para alcanzar los potenciales de producción. Dicha información permite visualizar que en los

ambientes considerados como chacras viejas, los modelos de recomendación utilizados no se ajustan a los niveles adecuados, sino que estarían subestimando las dosis necesarias, y que el azufre comienza a ser limitante debido a las elevadas dosis de nitrógeno utilizadas.

Con respecto a la rentabilidad del cultivo de trigo Díaz (s.f.) determinó que el promedio de los productores en el periodo en estudio necesitaron obtener $2321 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano para lograr el rendimiento de indiferencia (costos igual a producto bruto), y estimó además que el 76% de los rendimientos obtenidos se explicaron por el nivel de precipitaciones y temperatura media durante el periodo crítico del cultivo y los efectos fijos del sistema, los cuales fueron agricultura continua sin agregado de fertilizante, agricultura continua fertilizada y rotación con pasturas fertilizadas. Aquellos sistemas bajo agricultura continua sin uso de fertilizante, en el 99% de los casos no lograron el rendimiento de indiferencia. En donde se hacía agricultura continua con fertilización el 42% de las veces se lograba igualar o superar dicho rendimiento, mientras que el 34% de las veces era posible lograr rendimientos superiores en rotación con pasturas fertilizadas.

Datos similares fueron reportados por Ernst et al. (2016), estudiando las variables que afectan el rendimiento de trigo potencial en Uruguay, el cual fue estimado en $6000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por los autores. En este trabajo se determinó que las principales variables en explicar dichas variaciones son el clima durante el periodo crítico (43%), los años de agricultura pos pasturas (23%) y la interacción entre el clima y los años de agricultura continua (11%). Dicha interacción determinó que los rendimientos fueran mayores e independientes de los años de agricultura pos pasturas cuando el clima durante el periodo crítico fue muy favorable para el crecimiento de trigo (soleado y templado), pero disminuyó rápidamente cuanto mayor es el número de años de agricultura continua y cuando el clima fue desfavorable (lluvioso y caliente).

En cuanto a la dosis de nitrógeno aplicada vía fertilizante, esta explico en mayor medida la brecha de rendimiento entre los rendimientos alcanzables (80% del potencial) y los logrados a nivel comercial cuando el clima fue desfavorable durante el periodo crítico, y la edad de chacra fue la segunda variable en explicar dichas variaciones. En concreto, el impacto negativo de los años de agricultura continua (hasta 10 años) se acentúa bajo condiciones climáticas desfavorables, pero impredecibles bajo condiciones atmosféricas favorables durante el mismo período. Cuanto mayor el números de cultivos pos pasturas (mayor edad de chacra) y más desfavorable el clima, menor es el rendimiento potencial alcanzable y el obtenido a nivel comercial (Ernst el al., 2016).

2.2 NITRÓGENO

El N es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de los cereales, interviniendo en la fotosíntesis y por tanto en la formación de tejidos verdes, participando en el proceso de macollaje y en la generación de área foliar; además de favorecer durante el proceso de encañazón, una mayor supervivencia de los mismos en el momento de mayor competencia por recursos. Una mayor área foliar permite una producción adecuada de carbohidratos por fotosíntesis entorno a espigazón, permitiendo la fijación de un elevado número de granos (Ferraris, 2007).

Cuando los rendimientos son elevados la acumulación de carbohidratos supera a la de nitrógeno y suele resultar en una reducción en el contenido de proteína, que será más pronunciada, cuanto más baja sea la disponibilidad de nitrógeno del ambiente en que se está produciendo (Ferraris, 2007).

2.2.1 Efectos sobre el crecimiento

Ensayos realizados por Baethgen (1992), determinaron que la producción de materia seca a Z30 aumentó con la aplicación de nitrógeno tanto a la siembra como a Z22, y que dicha producción a Z30, constituyó entre un 20 y un 50% de la producción final de materia seca a madurez. Siendo la producción de Z22 entre 7 y un 20% de la producción final de materia seca total. También encontró para todas las localidades estudiadas que el número de macollos por m² a Z30 estuvo altamente correlacionado ($r=0.9$, $p<0.01$) con la producción total de materia seca a ese mismo estadio; concluyendo que la producción de materia seca de los macollos individuales es poco variable, siendo el factor número de macollos por m², el que determina en mayor medida las variaciones en materia seca a fin de macollaje.

Oussible et al., citados por Kemanian y Leites (1996), generando en forma artificial un horizonte compactado, encontraron una reducción en el número de espigas producto de un menor macollaje, en especial en la fase inicial del mismo. Este resultado fue atribuido por los autores a una falta de nitrógeno, inducida por una menor movilidad del nitrato por flujo masal en el suelo. A propósito, Atwell, citado por Kemanian y Leites (1996), sugirió que parte del menor crecimiento en suelos compactados se debe a problemas en la nutrición nitrogenada.

Durante el macollaje es más probable que se den deficiencias de nitrógeno, por ende el agregado durante este estadio resulta en un mayor índice de área foliar y mayor número de macollos (Novoa y Loomis, citados por Castro et al., 1997), permitiendo además una mayor sobrevivencia de los mismos, por lo cual se potencializa la producción de espigas (Spiertz y De Vos, citados por

Castro et al., 1997). Pero en chacras nuevas con 1 o 2 años de cultivos previos bien manejadas, el aporte de nitrógeno del suelo es comúnmente suficiente para permitir una producción de macollos que no limite el número de espigas y la expresión del potencial de rendimiento (García Lamonthe, citado por Sawchik, 2001).

Sin embargo, estudios realizados por Hoffman¹, determinaron que en las chacras de mayor edad los cultivos crecen menos a Z30 y solamente es posible alcanzar el nivel de biomasa crítica a Z30 de 2330 kgMS.ha⁻¹ en pocos casos y bajo nutrientes no limitantes cuando las chacras son de 5 años o más. Datos similares fueron publicados por Hoffman y Ernst, citados por Kemanian y Leites (1996), donde encontraron que 2000 kgMs.ha⁻¹ es el valor de suficiencia para cebada a Z30.

Del mismo modo Centurión y Chinazzo (2012), encontraron diferencias en cuanto a la biomasa acumulada a Z30 para chacras comerciales de más de 7 años de agricultura continua, donde el tratamiento testigo (fertilización realizada por el productor), genero un total de biomasa de aproximadamente el 50% de la producida por el tratamiento fertilizado (fertilización no limitante); 903 kgMS.ha⁻¹ y 2030 kgMS.ha⁻¹ respectivamente. Estos mismos autores y bajo las mismas condiciones experimentales, encontraron para aquellas situaciones de cultivo post-pasturas donde el testigo tecnológico representó el 71% de la biomasa acumulada en el tratamiento sin limitantes para este mismo estadio.

Como contraparte Hoffman, citado por Mazzilli (2004) señala que una alta producción de materia seca hasta macollaje, determina altos niveles de competencia intraespecifica en el momento de fijación del potencial de rendimiento por tallo, por lo que no siempre existe relación positiva con el rendimiento en grano. El nivel de materia seca por hectárea al cual se pierde esta relación, depende de la variedad (Hoffman et al., 1992), y de las condiciones térmicas en las que ocurre el proceso (Tanaka, citado por Mazzilli, 2004).

Cualquiera sea el factor tanto ambiental como de manejo que traiga como consecuencias excesos de crecimiento en la etapa de macollaje, llevara a reducciones en el número y tamaño de espigas, ya que un crecimiento juvenil muy intenso, está asociado a macollos con disminución de fotosíntesis, no produciendo el sustrato suficiente para mantener el ritmo respiratorio, por lo tanto crecen menos y pierden peso, limitándose la posibilidad de definir altos rendimientos, inclusive sobrevivir (Luizzi y Carrasco, citados por Hoffman, 1995).

¹ Hoffman, E. 2013. Com. personal.

Baethgen (1992) encontró para cebada, que las fertilizaciones nitrogenadas a siembra y a Z22 no resultaron en un mayor número de espigas a la cosecha. Las altas dosis de nitrógeno en estos estadios solo resultaron en una mayor proporción de macollos infértiles, que pueden ser considerados como una competencia adicional para los macollos con espiga (Wych et al., citados por Baethgen, 1992). Algo similar determinaron Warrington et al., citados por Castro et al. (1997) para trigo, estudiando el rendimiento en grano bajo dos niveles de fertilización nitrogenada. Donde obtuvieron mayores rendimientos en grano con la dosis más baja, explicado por un mayor número de macollos por planta.

Novoa y Loomis, citados por Castro et al. (1997) encontraron en tratamientos con altos niveles de nitrógeno en suelo, que el agregado de dicho nutriente no estimulo una producción extra de materia seca, pero causo un aumento significativo en la producción de tallos seguido por un bajo porcentaje de sobrevivencia de los mismos, bajo número de espigas y consecuentemente bajo rendimiento en grano. Es posible que dicho efecto este directamente relacionado a la severa competencia entre macollos y que explica el reducido tamaño medio de los mismos de acuerdo con lo expuesto por Fisher y Kohn, citados por Castro et al. (1997). Por lo tanto, las prácticas de manejo y los factores ambientales inciden sobre la sobrevivencia de los mismos (Novoa y Loomis, citados por Castro et al., 1997).

Aquellos cultivares de cebada o de trigo que tienen baja tasa de crecimiento hasta Z 25-30, solo pueden lograr elevados potenciales de rendimiento en grano si concretan elevadas tasas de crecimiento durante la fase de encañado. Por lo que la disponibilidad de nitrógeno y su tiempo de liberación por parte de la fuente determinara la tasa de absorción de este nutriente y por consiguiente la tasa de crecimiento del cultivo, definiendo así la tasa de concreción de rendimiento del cultivo (Mazzilli y Hoffman, 2008).

Desde el punto de vista del manejo del cultivo, las diferencias encontradas por los diferentes autores en cuanto al crecimiento inicial, explican las diferencias en rendimiento a causa de la fertilización nitrogenada, encontrando un efecto significativo de la fertilización sobre el rendimiento, concluyendo que una buena parte de esas diferencias en rendimiento final causadas por el nitrógeno, son ocasionadas en forma indirecta a través del efecto que tienen sobre el crecimiento y desarrollo en las primeras etapas del cultivo.

2.2.2 Dinámica de absorción

La nutrición de la planta depende de la demanda de nutrientes y de la satisfacción de dicha demanda (absorción neta). La misma, es establecida por el potencial de crecimiento de la planta y su capacidad de realizar consumo de lujo (Kemanian y Leites, 1996).

La curva de absorción de nitrógeno en la planta de trigo, se da de forma sigmoidea de la misma manera que la de acumulación de materia seca (Pyarelal y Shama, citados por Cha y Durán, 2001).

La máxima tasa de acumulación de nitrógeno al igual que la de materia seca ocurre aproximadamente durante el periodo de treinta días antes de antesis y la máxima acumulación ocurre entorno a antesis (Daigger et al. 1976, Palta y Fillery 1993a, Oscarson et al. 1995).

Kemanian y Leites (1996) calculan una absorción de $1.78 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno diaria, desde siembra a Z30, suponiendo una absorción constante.

Según estudios realizados por Kemanian y Viega, citados por Hoffman y Castro (2007), la acumulación de materia seca en trigo es dependiente en gran medida de la acumulación de nitrógeno en planta, donde la máxima acumulación ocurre en antesis y las mayores tasas de acumulación se dan entre antesis y los treinta días anteriores (Palta y Fillery 1993a, Oscarson et al. 1995). A su vez, estos últimos encontraron las máximas tasas de absorción desde mitad de macollaje hasta el período de elongación. Datos similares fueron publicados por Cha y Durán (2001), donde las mayores tasas de absorción se dieron entre Z30 y Z33, seguido por el período que transcurre desde Z33 a Z47. Por otra parte Spiertz y De Vos, citados por Castro et al. (1997) encontraron que entre el 65 y 80 por ciento del nitrógeno es asimilado previo a la etapa de antesis.

Sin embargo, para cebada Daigger et al. (1976), Harper et al. (1987) concluyeron que en cuanto a la absorción de N respecto a la producción de materia seca (más del 90% del N ya se absorbió a Z39), mientras que Vera et al. (2002) determinaron que el cultivo de cebada bajo riego es capaz de absorber hasta al 80% del nitrógeno total hasta floración. Esto indicaría que si se asegura una correcta nutrición nitrogenada en los estadios previos a Z39, sería poco probable que se produzcan deficiencias en estadios posteriores evitando disminuciones del rendimiento por condiciones de subnutrición, ya que en la etapa de llenado se produce una elevada re movilización del nitrógeno absorbido en pre-antesis desde los tejidos verdes hacia los granos (alrededor del 30% del N del grano proviene de re movilización), permitiendo en

condiciones de disponibilidad de nitrógeno óptimas, se alcancen altas tasas de llenado de grano y que estas se mantengan hasta el final del ciclo del cultivo.

Según Cox et al., citados por Harper et al. (1987), en el cultivo de trigo una asimilación pos-antesis de entre el 10 y 22% del total de nitrógeno absorbido. Esto afirma lo reportado por Van Sanford y MacKown (1987), Oscarson et al. (1995), los cuáles encontraron que entre un 65 y 92 % del nitrógeno es absorbido pre-antesis. De igual manera una amplia dispersión de resultados es observada entre los diferentes autores.

Por su parte Palta y Fillery (1993b), afirman que las pérdidas post-antesis están más asociadas con la re movilización que con la cantidad acumulada. En general la translocación es un proceso muy ineficiente ya que las principales pérdidas de nitrógeno se dan en forma de amoníaco el cual se genera a partir de este proceso (Daigger et al., 1976).

Hasta este momento se ha tratado de la retranslocación desde las hojas y tallos de tallos fértiles hacia los granos, pero a su vez es importante recordar que el nitrógeno contenido en las estructuras más jóvenes, durante el llenado de grano es exportado mayormente hacia los tallos fértiles, sin embargo la re movilización no es eficiente y gran parte se pierde (Palta y Fillery, 1993b).

Si bien la absorción de nitrógeno en pos-antesis no es la determinante en el contenido de nitrógeno total a fin de ciclo, este ha creado mucha controversia. Existiendo reportes que indican absorción de este nutriente hasta la madurez (Harper et al., 1987), así como otra serie de autores que concluyen lo contrario (Daigger et al. 1976, Palta y Fillery 1993b). Adjudicando estas diferencias a factores externos como agua en el suelo, temperatura (Harper et al., 1987), interacción genotipo por ambiente, así como la magnitud de la absorción de nitrógeno en pre-antesis (Van Sanford y Mackown, 1987).

De la misma manera también existen autores que sugieren que la absorción pos-antesis es afectada por la fuerza de fosa en relación al tamaño que esta tenga y su actividad, donde dicha absorción es regulada por un feedback desde la misma fosa (Bulman y Smith 1994, Guohua et al. 2000).

Como resumen de la información consultada podemos concluir que existe una capacidad por parte de los cultivos de absorber nitrógeno en pos-antesis; pero el principal determinante de que esto suceda parece ser el total de biomasa acumulada hasta el momento de antesis. Cuanto mayor el N absorbido pre antesis, menor será la absorción durante el llenado de los granos.

2.2.3 Respuesta al agregado de N

La respuesta en rendimiento en grano de los cultivos de invierno al agregado de nitrógeno está condicionada en las etapas iniciales por la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo en el corto plazo (Baethgen, 1992). Con respecto a esto Hoffman y Castro (2007), determinaron que las chacras nuevas con rastrojo de fácil descomposición y manejo ajustado del barbecho, e iguales contenidos de N-NO₃ en suelo responden a menores agregados de nitrógeno a la siembra que chacras viejas, la causa de esto es un mayor aporte de dicho nutriente por parte del suelo en aquellos suelos en donde presentan una menor historia de cultivos.

El aporte de N por parte del suelo en las etapas iniciales de los cultivos condiciona la respuesta a la fertilización, es por esto que mediante el uso del modelo propuesto por facultad de agronomía el cual considera tres momentos claves de fertilización nitrogenada, siembra, Z22 y Z30, toma en consideración la disponibilidad de N (NO₃) en suelo para estos dos primeros estadios y el contenido de N en planta para Z30 (Perdomo y Bordoli 1999, Hoffman et al. 2010, Hoffman y Perdomo 2011). Tomando como referencia dos niveles críticos y equivalentes de fertilizantes diferentes para siembra (NC 16-18 ppm y Eq.: 3 y 5 para ambientes de baja y alta respuesta respectivamente); y un NC a Z22 de 15 ppm, siendo el equivalente de fertilizante de 5.7. Sin embargo a Z30 la concentración de N en planta y el potencial de rendimiento a concretar son las herramientas para definir la fertilización nitrogenada (Hoffman et al., 2013).

Para la refertilización al cultivo de cebada con nitrógeno, a inicios del macollaje (Z22), se ha determinado una respuesta prácticamente lineal en crecimiento hasta fines de este periodo con dosis de hasta 60 kg.ha⁻¹ de nitrógeno (García, 2004). El otro momento es a inicios de encañazón (Z30). Durante este periodo (Z22 a Z30), el cultivo presenta un incremento en la acumulación de materia seca lineal y constante donde el objetivo es acumular entre 45 y 60 kg de N.ha⁻¹ dependiendo del cultivar (García y Quincke, 2013).

Baethgen (1992), Hoffman y Ernst (1996), demostraron que la absorción de nitrógeno por parte del cultivo a Z30 presenta un nivel crítico de 90 kg de N.ha⁻¹, identificando situaciones de no respuesta frente a absorciones mayores.

Cuando el agregado de nitrógeno a Z30 se da en una situación de deficiencia, este lleva a un incremento del nitrógeno absorbido por el cultivo (Cha y Durán, 2001). Por otra parte existen situaciones frecuentes en la que no se observa respuesta al agregado de este nutriente (Cha y Durán, 2001), y casos en donde su disponibilidad excesiva puede llevar a disminuciones del rendimiento y el porcentaje de proteína cruda en grano, a consecuencia de un

incremento en la incidencia de enfermedades y problemas de vuelco, además de un excesivo crecimiento inicial (Hoffman et al. 1992, Castro et al. 1994).

A la dosis recomendada, Hoffman y Castro (2007), encontraron que la absorción de este nutriente no sobrepasó los 150 kg de N.ha⁻¹ máximo a Z55, y cuando no se previa respuesta, el agregado de nitrógeno, generó una condición de exceso sin respuesta en rendimiento en grano, pero si aumentos de concentración en granos. Al respecto, Hoffman y Ernst (1996), discuten que en aquellas situaciones de chacras en donde el nivel de nitrógeno en el suelo es bajo, aumenta su eficiencia de uso y la adición de éste por encima de lo requerido, no determina incrementos en el rendimiento, pero si puede traer como consecuencia incrementos en el contenido de nitrógeno en grano, agudizando la situación cuando las aplicaciones se realizan en post-antesis (Campbell et al., citados por Castro et al., 1997).

Alkier et al. (1971), relacionando el nitrógeno absorbido hasta cosecha, con el rendimiento, encontraron una relación exponencial que indicaba que cuando la absorción de nitrógeno era mayor, mayor era el rendimiento en grano, observando que se pueden obtener altos rendimientos mediante la utilización de altas cantidades de fertilizante de hasta 200 kg de N.ha⁻¹. Por otra parte, Spiertz y De Vos, citados por Castro et al. (1997) encontraron que a bajos niveles de absorción de nitrógeno la relación con el rendimiento es lineal, y altos niveles, el rendimiento responde a una curva reflejando un incremento en el contenido de nitrógeno en grano y/o una reducida translocación de N hacia el grano. A su vez, determinaron que el nivel al cual la absorción se incrementa, sin producir un aumento proporcional en el rendimiento en grano, está determinado por la genética y condiciones ambientales.

Siman, citado por Castro et al. (1997) comenta que es de esperarse una clara relación entre el N absorbido y el rendimiento, por otro lado la correlación de esta relación puede variar de acuerdo a la habilidad de la planta de usar ese N absorbido para producir materia seca.

Cuando el nitrógeno es limitante pequeñas adiciones del mismo pueden resultar en rendimientos elevados pero con contenidos proteínicos disminuidos (Greenwood, citado por Castro et al., 1997). Sin embargo dicho autor sostiene que la correlación negativa entre proteína en grano y rendimiento podría combinarse con prácticas de manejo como por ejemplo la fertilización nitrogenada tardía del cultivo.

Otros trabajos coinciden con lo expuesto anteriormente, y explican el mayor porcentaje de proteína en el grano por la existencia de condiciones que promueven un bajo rendimiento y particularmente cuando el exceso de N está presente en estados tardíos de desarrollo (Campbell et al., citados por Castro et

al., 1997). Dichos autores concluyen que la única manera en que ocurriese un aumento en el contenido de proteína con bajos niveles de N, es habiendo un fuerte estrés entre macollaje y llenado de grano, y que si éste es moderado o se produce en etapas tardías del ciclo, no influiría sobre la proteína en grano.

2.2.4 Eficiencia de utilización

En Argentina han sido reportados valores entorno al 42% en cuanto a la eficiencia de recuperación del nitrógeno en trigo (Salvagiotti et al., 2009). Mientras Dobermann (2007), Snyder et al. (2007), encontraron eficiencias de absorción, entre 0.5 y 0.8 kg de nitrógeno absorbido por cada kg de nitrógeno aplicado.

Sin embargo, existen evidencias que la eficiencia en la utilización del nitrógeno puede ser mejorada mediante el uso de azufre (Salvagiotti y Miralles 2008, Hoffman et al. 2015).

Mientras que la respuesta a un nutriente de menor importancia (azufre) se produce solamente a partir del momento en que se va cubriendo los requerimientos del nutriente principal, en este caso el nitrógeno (Ferraris, 2007). Por dicho motivo el agregado de azufre permitió a Salvagiotti et al. (2009) aumentar la eficiencia de recuperación del nitrógeno en un 30%. Datos similares fueron obtenidos por Hoffman et al. (2015), donde encontraron respuesta en la eficiencia de absorción, por agregado de azufre, en todos los niveles de nitrógeno aplicado, llegando a lograr un 60% del nitrógeno absorbido con relación al aplicado, solo en presencia de S. Cuando en situaciones similares sin el agregado de azufre, los máximos valores no superaron el 40%.

Van Sanford y MacKown (1987), confirmado por Bulman y Smith (1994), encontraron en trabajos a campo que cuanto mayor es la concentración de nitrógeno dentro de los tejidos de la planta, más ineficiente se vuelve el proceso de retranslocación al grano, determinando un índice de cosecha de nitrógeno menor. A su vez, Bulman y Smith (1994), determinaron que no existió una correlación significativa entre la eficiencia de retranslocación del nitrógeno al grano y la concentración de proteína en grano, pero sí una correlación directa y negativa con el total de nitrógeno en planta a cosecha.

Cha y Durán (2001), encontraron en experimentos a campo que por cada 100kg de nitrógeno absorbido a Z47, solo 20kg llegan a cosecha, determinando que la cantidad de nitrógeno absorbido a Z47, explica solo un 36% de la cantidad de N a cosecha, existiendo una baja eficiencia y aparentemente poca relación con el rendimiento y el contenido de proteína.

Los hechos afirman que la eficiencia de absorción o recuperación es la variable que explica en mayor medida los cambios en la eficiencia agronómica del nutriente, y que la eficiencia fisiológica suele ser mucho más estable (Hoffman et al., 2015). Por ende sería necesario seguir buscando soluciones que permitan aumentar la proporción del nitrógeno absorbido con relación a lo aplicado, mejorando el balance económico y disminuyendo las pérdidas del nitrógeno hacia el ambiente.

2.2.5 Efecto sobre la proteína en grano

La mayor fuente de nitrógeno son las partes vegetativas de la planta, ya que hasta 80% o 90% del N del grano puede estar presente en el cultivo a floración (Kramer, citado por García, 2004).

Por otro lado experimentos realizados por Magliano et al. (2014), demostraron que si bien el tamaño de grano tiene una estrecha relación con el contenido proteico del lote, este es determinado en mayor medida por la abundancia relativa de N del ambiente de producción.

En este sentido Baethgen (1992), demostró que el resultado de la proteína en grano es el reflejo de la relación entre la disponibilidad de nitrógeno y el rendimiento obtenido; cuando se obtienen altos rendimientos y/o la disponibilidad de nitrógeno es baja, el contenido proteico de los granos tiende a disminuir.

En condiciones de alta fertilidad del suelo la absorción post-antesis de nitrógeno resulta muy importante porque esta positivamente correlacionada con la proteína del grano y el índice de cosecha de N (Spiertz y Ellen 1978, Pérez et al. 1983, Sarandón et al., citados por Golik et al. 2003).

Los altos niveles de nitrógeno disponibles en el suelo promueven una mayor absorción de nitrógeno en post-antesis (Campbell et al., citados por Bulman y Smith, 1994), disminuyendo la cantidad de nitrógeno translocado al grano, y por ende la eficiencia de retranslocación (Bulman y Smith, 1994).

Existe abundante información que demuestra que en general altos rendimientos están asociados a una mayor concentración de N en antesis, por una mayor cosecha de nitrógeno en pre-antesis, lo que también determina una mayor concentración de nitrógeno en grano (Hoffman et al. 1999, Cha y Durán 2001).

Cha y Durán (2001), encontraron para el cultivo de trigo que el agregado de N a Z30, no solamente determina incrementos en el rendimiento,

sino que también aumento el contenido de proteína en grano; sin embargo, en el caso de un mayor agregado, en situaciones de no respuesta, no modificó el contenido de proteína en grano (Hoffman et al. 1999, Cha y Durán 2001) sino que aumento el contenido de nitrógeno absorbido presentando fuertes pérdidas de nitrógeno a cosecha, finalizando con el mismo valor que el testigo (Cha y Durán, 2001).

Siendo así Hoffman et al. (1992), determinaron que cuando la absorción de nitrógeno hasta espigazón superó los 130 a 140 kg.ha⁻¹, no se modifica el rendimiento de cebada cervecera (en torno a los 5.0 Mg.ha⁻¹) y se incrementa el contenido de proteína en grano, cada aumento porcentual del contenido de proteína se logró con 40 kg.ha⁻¹ más de N, absorbido a espigazón.

Es abundante la información que muestra que cuánto más tarde y mayor es la cantidad de nitrógeno absorbida por un cultivo de cebada, más alto es el contenido de nitrógeno en grano (Baethgen 1992, Perdomo et al. 1999, García, citado por Hoffman et al. 1999). Siendo los mismos factores que llevan a un incremento en los potenciales de producción, determinando altos niveles de nitrógeno en grano (Hughes-Charbonier, citados por Hoffman et al. 1999, Cha y Durán 2001).

Gooding y Davies (1992), demuestran que la respuesta en la concentración de proteína en grano está asociada al efecto del nutriente sobre el rendimiento. Cuando el efecto es pronunciado, puede no modificarla o hacerlo de forma negativa; sin embargo si el efecto del nitrógeno sobre el rendimiento es escaso o nulo, tiende a ser mayor el incremento en proteína, por lo que las fertilizaciones con N hasta inicios del encañado resultan comúnmente más eficientes para aumentar el rendimiento y las más tardías para aumentar la concentración proteica del grano.

Cha y Durán (2001), mencionan que la principal variable que explica el contenido de proteína en grano es el nitrógeno absorbido a Z47. Estos ajustaron un modelo lineal-lineal y definieron un nivel de absorción de N a Z47 de 88 kg.ha⁻¹, a partir del cual los incrementos en proteína en grano por cada kg de N absorbido son muy bajos. Por debajo de este nivel serían necesarios absorber 14 Kg de N.ha⁻¹ para aumentar en 1% el contenido proteico, y por encima de ese valor serían necesarios 123 kg de N.ha⁻¹.

Sin embargo, también existen pérdidas de nitrógeno post-antesis que van desde 7.4 kg de N.ha⁻¹ (Harper et al., 1987) a 78 kg de N.ha⁻¹ (Greenwood et al., citados por Cha y Durán, 2001). Estas pérdidas se ven incrementada a medida que el agregado de nitrógeno es mayor (Daigger et al., 1976).

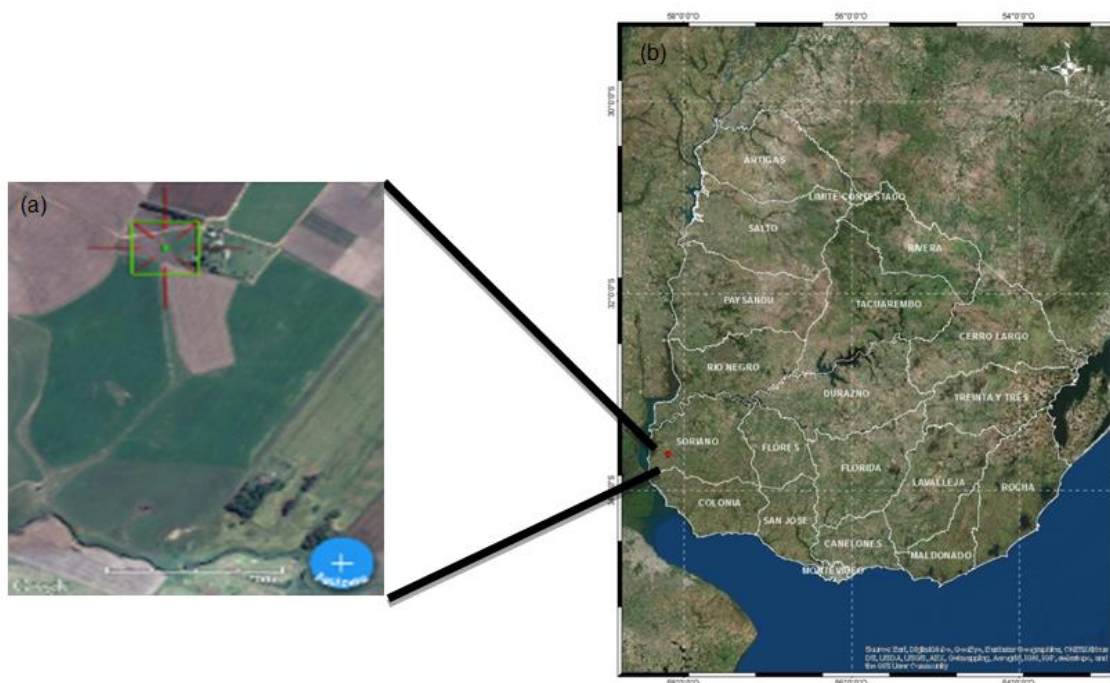
Kanwarpal y Waines (1989), encontraron que los coeficientes de regresión observados mostraron que la acumulación de nitrógeno post-antesis, estuvo asociada negativamente con el N pre-antesis, y positivamente con el contenido de N en grano.

Hoffman et al. (1999), utilizando el modelo de Baethgen (1992), no encontró respuesta al agregado de N en trigo a Z 47, cuando el porcentaje de N en planta a Z 30 era mayor al 4%, y a su vez, en situaciones de menor contenido de nitrógeno en planta al mismo estadio, el agregado de N en Z47, no modificó el contenido de proteína en grano, cuando la restricción fue corregida a Z 30. Por lo tanto, incrementos importantes en la proteína en grano se logran cuando la fertilización nitrogenada es bien manejada a Z 30, y el uso de nitrógeno tardío a Z 47, proporcionaría un aumento en la proteína en grano solo si existiesen deficiencias severas no corregidas en estadios anteriores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

El presente trabajo se realizó en el departamento de Soriano, cercano a la ciudad de Dolores durante la zafra invernal del año 2014. El ensayo fue realizado en suelos pertenecientes a la unidad Cañada Nieto según carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976), sobre un brunosol subéutrico típico. En lo que respecta a las coordenadas geográficas del experimento, el mismo se ubicó a $32^{\circ} 22' 45''$ de latitud sur y a $58^{\circ} 03' 45''$ de longitud oeste, a una altitud que se encuentra entre 48 y 50 metros. En estas coordenadas se encuentra el establecimiento “Media Lucha” perteneciente a la empresa ERRO, cultivo propiedad de Villa Trigo (Figura 1).



*Foto aérea del potrero comercial donde se realizó el experimento (a), y mapa del Uruguay con la localización del establecimiento “Media Lucha” (b)
Figura 1. Ubicación de la chacra donde se realizó el experimento.

3.2 ANTECEDENTES

Para poder contar con un punto de comparación inicial, se procede a realizar una primera aproximación en cuanto a los rendimientos obtenidos a nivel nacional y para la chacra comercial en donde se instalaron los experimentos.

Si bien las condiciones climáticas para el periodo de concreción del rendimiento del cultivo no fueron las más adecuadas, estas no limitaron en gran magnitud el rendimiento del cultivo para el potrero comercial, el cual fue en promedio de $5476 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, siendo de $3680 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la zona en donde el antecesor fue avena y $5664 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el resto del potrero en donde el antecesor fue *Lotus corniculatus*, existiendo una diferencia de $1984 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, atribuibles al antecesor.

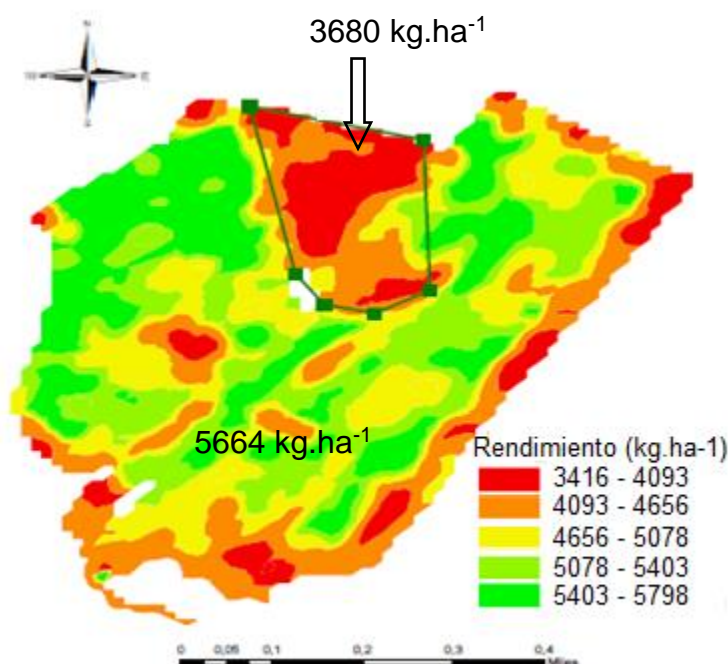


Figura 2. Imagen del monitor de rendimiento de la cosechadora obtenida en el potrero (Fuente: Villa Trigo²).

Al observar el rendimiento promedio del país para ese año, el cual fue de $1605 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MGAP. DIEA, 2016) queda en evidencia que fue un año muy

² Villa Trigo. 2014. Mapa de rendimiento al momento de la cosecha (sin publicar).

malo en cuanto al clima para el cultivo de cebada a nivel nacional, más cuando nos fijamos en el rendimiento promedio de la zona, el cual representa el 31 % del obtenido en la chacra donde se plantearon los ensayos.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El ensayo consistió en la instalación de dos experimentos sobre el mismo suelo, los cuales provenían de historia agrícola contrastantes. Sin embargo, ambos se encontraban contiguos.

El primer experimento fue sobre el antecesor *Lotus corniculatus* (leguminosa perenne), el cual tuvo una duración de dos años. Para dicho experimento de aquí en más se lo nombrara como “chacra nueva” (ch. nueva), ya que la cebada ocupó el lugar del cultivo cabeza de rotación.

Por otro lado el segundo experimento fue instalado en un ambiente que seguía en agricultura continua sin rotar con pasturas por 9 años, sobre un antecesor avena, motivo por el cual dicho experimento se le asignó el nombre de “chacra vieja” (ch. vieja).

La siembra de este cultivo comercial fue realizada el 5 de junio con la variedad “Danielle”, la cual se caracteriza por ser de ciclo medio-largo, con baja estatura, resistente al vuelco y desgrane, así como brotado en espiga (Verges, 2007). Según la bibliografía consultada para el litoral oeste del país, esta variedad presenta su fecha óptima de siembra a inicios de junio.

Ya que el experimento se planteó sobre una chacra de producción comercial, y al presentar una zona en la cual se podían evaluar el cultivo para dos historias diferentes, se esperaba que la capacidad de aporte de nutrientes (sobre todo N) por parte del suelo sea diferente.

Ambas situaciones evidenciaron diferencias en las concentraciones de nutrientes a la siembra, así como a Z 22 y Z 30. La empresa corrigió los nutrientes como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Disponibilidad de P₂O₅, K₂O en suelo a siembra, N-NO₃ en suelo a siembra y Z 22, y N en planta a Z 30; y nivel de fertilización utilizado para cada ambiente dado por la edad de chacra, realizado por la empresa.

	Estadio	N en suelo (ppm) o planta (%)	P en suelo (ppm)	K en suelo (meq/100gr)	N aplicado (kg.ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ aplicado (kg.ha ⁻¹)	K ₂ O aplicado (kg.ha ⁻¹)	Fertilizante
Ch. Nueva	siembra	9 ppm	14	0,47	22	-	-	60 lts.ha ⁻¹ (solmix)
	Z 22	8 ppm	-	-	48	-	-	130 lts.ha ⁻¹ (solmix) *
	Z 30	3.9%	-	-	0	-	-	-
Ch. Vieja	siembra	6 ppm	12	0,41	26	20	60	50 kg.ha ⁻¹ (7-40/40-0-6). 100 kg.ha ⁻¹ (KCl). 60 lts.ha ⁻¹ (solmix)
	Z 22	6 ppm	-	-	55	-	-	150 lts.ha ⁻¹ (solmix) *
	Z 30	3.6%	-	-	19	-	-	50 lts.ha ⁻¹ (UAN) *

*Niveles de fertilización aplicada para las dos edades de chacra tanto en Z22 como en Z30, excluyendo las parcelas experimentales. En ch. nueva se agregaron a lo largo del ciclo del cultivo 70 kg de N.ha⁻¹ y en ch. vieja 100 kg.ha⁻¹.

Cabe destacar que tanto la fertilización de Z 22 como la de Z 30 realizadas por la empresa en la chacra comercial no se realizaron en las parcelas donde se instaló el ensayo, las cuales el único agregado de nutriente que tuvieron en estos dos estadios fue las asignadas a cada tratamiento.

A continuación se presentan los tratamientos evaluados para los dos ambientes (Cuadro 2). Dichos tratamientos son una combinación de N en Z 22 y Z 30 con agregado de azufre en Z 22. Además se sumó un último tratamiento el cual contiene a su vez fósforo, potasio a Z22 y S a Z30, aunque por los datos de chacra comercial mostrados en el cuadro anterior no era esperable que existiese respuesta al P y K.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados, con sus respectivas dosis de fertilización y momento.

No. del Tratamiento	Z22		Z30
	nitrógeno* (Kg.ha ⁻¹)	azufre* (kg.ha ⁻¹)	nitrógeno** (Kg.ha ⁻¹)
1	0	0	0
2	50	0	0
3	100	0	0
4	50	15	0
5	100	15	0
6	50	0	50
7	50	0	100
8	50	15	50
9	50	15	100
10	100	0	50
11	100	0	100
12	100	15	50
13	100	15	100
14	60 P ₂ O ₅ + 60 KCL + 100 N + 20 S		100 N + 20 S

*nitrógeno y azufre en kg.ha⁻¹ agregado a Z22; y nitrógeno** en kg.ha⁻¹ agregados a Z30.

El primer tratamiento (el testigo), no lleva agregado de nutrientes. Los tratamientos del 2 al 5 son diferentes combinaciones de N a Z 22 con o sin S, pero sin agregado de N a Z 30, mientras que el resto de los tratamientos posteriores todos tienen N a Z 30. Del 6 al 9 tienen solamente 50 unidades a Z 22, con y sin S, y con diferentes combinaciones de N a Z 30. El grupo que incluye el tratamiento 10 hasta el 13 es similar al grupo anterior, con la diferencia que llevan 100 kg de N.ha⁻¹ a Z 22 y con diferentes dosis de N a Z 30. El último tratamiento (14) pretendió ser el de nutrientes no limitantes, por lo tanto será mencionado a lo largo del trabajo como “Sin limitantes nutricionales” (SLN).

3.3.1 Determinaciones

A Z 22 se contó el número de plantas en 2 metros lineales definidos al azar dentro de cada bloque de cada experimento. Además, se tomaron 3 muestras de suelo por experimento (1 por bloque) a 20 cm de profundidad con un calador manual de suelo, donde se determinaron nitratos en suelo.

Por su parte se colectó la biomasa producida en una muestra independiente al azar de 30 cm. X 30 cm. por cada bloque, a Z 22 y por cada parcela a Z 30 y Z 55, con el objetivo de medir producción de materia seca, las cuales se obtuvieron secando en estufa a 60°. Luego dichas muestras fueron

enviadas al laboratorio donde se determinó nitrógeno y azufre en planta por método Kjeldhal.

Al momento de la cosecha, se cortó manualmente dos filas centrales de 5 metros de plantas para cada parcela para ambos experimentos. Utilizando una trilladora experimental, a partir de dichas muestras se determinó el rendimiento y se lo corrigió a 13.5 % de humedad, mediante un humidímetro. A su vez, se tomaron muestras de granos y paja, y se las envió a laboratorio para determinar N.

Se realizaron tres muestras por parcela de 100 granos tomados al azar y se calculó el peso de 1000 granos.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis principales fueron: análisis de las varianzas, ANAVA por tratamientos y por ambiente, regresiones y contrastes ortogonales.

3.4.1 Análisis de la varianza

Para poder comparar ambos ambientes entre sí y evaluar si era posible tratarlos como un único experimento, se debió realizar un análisis de homogeneidad de varianzas para las variables rendimiento en grano, biomasa para Z 22, Z 30, Z 55 y MF y absorción de N en los mismos estadios, con el objetivo de poder considerar ambas condiciones de chacra dentro de un mismo análisis.

De antemano es necesario plantear la hipótesis, de que hipótesis nula es que la varianza (σ^2) de chacra nueva para una determinada variable es igual a σ^2 de chacra vieja. La hipótesis alterna es que la σ^2 de dicha variable para chacra nueva es diferentes de la σ^2 de la chacra vieja.

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$

$$H_a: \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

Este análisis se realizó a través de una prueba de $F = \text{CM error (ch. vieja)} / \text{CM error (ch. nueva)}$. Si el cociente es mayor al F de tabla para un $\alpha=5\%$, se rechaza la hipótesis nula (H_0). A modo de ejemplo se detalla a continuación para la variable rendimiento en grano:

Si $\text{CM error (ch.vieja)} / \text{CM error (ch.nueva)} > F (\alpha =5\%) 26/26 \text{ gl.} =$
rechazo H_0

Cuadro 3. Análisis de la varianza para la variable rendimiento en grano según edad de chacra

	F.V	GI	CM	p-valor
ch. nueva	Modelo	15	1265805.56	0.0065
	Tratamiento	13	1434973.95	0.0037
	Error	26	419173.09	
ch. vieja	Modelo	15	1274627.53	0.0391
	Tratamiento	13	1403092.99	0.0277
	Error	26	584061.72	

*El análisis de esta variable en chacra nueva (Rendimiento 13.5 %H) presento un $R^2=0.64$ y un CV= 15.67 para un N= 42.

*Análisis de la misma variable para chacra vieja con un $R^2= 0.56$ y un CV= 16.15 para un N= 42

El valor de la relación entre los cuadrados medios del error es 1.39, e inferior al valor del F de tabla (1.93), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula.

Como se comprobó que existía homogeneidad de varianzas para las variables de interés (Anexos 10, 13, 17, 19, 21, 23, 29), se procedió a diseñar el modelo estadístico que permitiese realizar una correcta comparación de medias de las variables entre ambientes. Se utilizó el test de Tukey al 10%.

3.4.2 Modelo estadístico

El modelo estadístico corresponde al análisis conjunto de dos experimentos (edades de chacra) cada uno de ellos con un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones por tratamiento, el cual se presenta a continuación.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{k(i)} + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

En donde,

Y_{ijk} : rendimiento en grano $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

μ : media general del ensayo

α_i : efecto de experimento (edad de chacra)

γ_j : efecto de tratamiento

$\beta_{k(i)}$: efecto de bloque dentro de experimento

$(\alpha\gamma)_{ij}$: interacción edad de chacra x tratamiento

ε_{ijk} : error residual

$i = 1, 2$

$j = 1, 2, \dots, 14$

$k = 1, 2, 3$

Cabe destacar que aunque existió homogeneidad de varianzas para la variable rendimiento en grano, se realizó la prueba comparación de medias (Tukey al 10%) entre tratamientos dentro de cada ambiente, ya que la respuesta al agregado de nutrientes difiere como consecuencia de la edad de chacra, permitiendo un mejor análisis de los datos obtenidos.

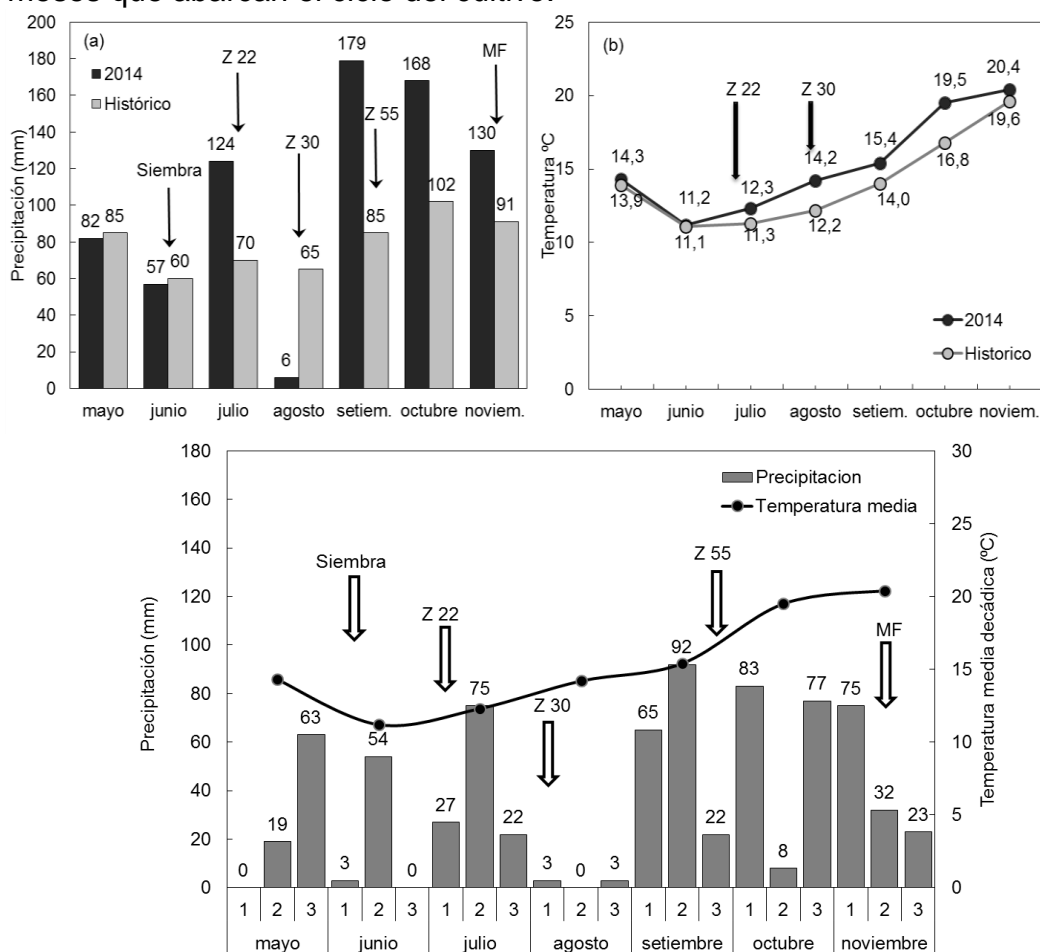
Se hicieron a su vez, contrastes ortogonales para la variable rendimiento en grano, con el objetivo de mostrar las diferencias en rendimiento que generan historias agrícolas contrastantes, cuando se utilizan dosis totales de N agregado en el ciclo y con la utilización de S. Además, se utilizaron contrastes entre algunos tratamientos o grupos de ellos para la biomasa a Z 30 y Z 55.

Para determinar la influencia de la edad de chacra y de las diferentes dosis de N y S a Z 22 y N a Z 30, sobre la variación del rendimiento observado, se utilizó la función partition del JMP 8.0. Esta función realiza particiones recursivas de datos de acuerdo a una relación entre los valores x (factores) e y (rendimiento), para la creación de un árbol de particiones. Mediante una búsqueda de todas las agrupaciones de valores posibles, se encuentra aquella agrupación de valores (x) que mejor predicen el valor (y). Estas divisiones se realizan de forma recursiva hasta generar un árbol de partición que permite detectar en qué orden se ubican los factores de producción y variables de mayor peso relativo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El invierno 2014 se caracterizó por la ocurrencia de precipitaciones por encima de lo normal y presentar temperaturas superiores a la media histórica (particularmente en la primavera), motivo por el cual los rendimientos nacionales de cebada se ubicaron por debajo en relación a las zafas 2013 y 2015 (MGAP. DIEA, 2016). En la siguiente figura se presenta para la media histórica y para el 2014 las precipitaciones y temperaturas para la zona, para los meses que abarcan el ciclo del cultivo.



*Precipitaciones registradas en el predio en 2014 y promedio histórico para la localidad de Mercedes (1961-1990) (a), temperatura media para Mercedes en 2014, en relación al promedio histórico de esta localidad (1961-1990) (b), precipitaciones y temperatura media registrada en forma decádica para el periodo de crecimiento del cultivo en el 2014 (c).

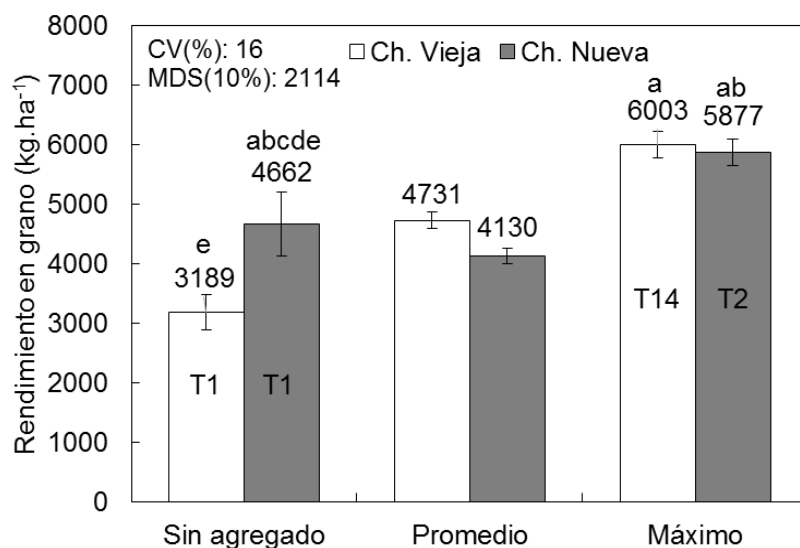
Figura 3. Precipitaciones y temperaturas registradas en el predio y para el promedio histórica de la zona.

Si bien para la mayoría de los meses que comprende el ciclo del cultivo, el régimen hídrico estuvo por encima del promedio histórico de 29 años para esta localidad, esto no fue así en las primeras etapas del cultivo, correspondiente a los meses de mayo y junio, en donde el régimen de precipitaciones registrado fue sensiblemente menor. No obstante, esto no fue limitante para que el cultivo naciera en condiciones adecuadas, lográndose una buena implantación (33-40 pl.m lineal). En el mes de julio las precipitaciones se ubicaron por encima de la media histórica, en el entorno a los 100 mm, coincidiendo, con el periodo que va entre Z 22 y Z 30, pudiendo haber disminuido la absorción de N y S agregado a Z 22, dado el probable aumento de las pérdidas por lavado. Agosto en cambio, se caracterizó por presentar bajas precipitaciones, apenas alcanzando el 10% del esperado histórico para este mes; es poco probable que el cultivo se haya visto enfrentado a una situación de déficit hídrico, ya que esta situación probablemente fue mitigada por un suelo con recarga suficiente como para abastecer en gran medida los requerimientos de agua del cultivo. A partir de setiembre, durante el período de floración y llenado de grano, se volvieron a registrar lluvias por encima de la media histórica, representando más del doble que las esperadas para este periodo.

Por su parte la temperatura, tuvo oscilaciones entre 0.1 y 2.7 °C por encima de la media histórica, dándose las mayores diferencias, en el periodo comprendido entre agosto y octubre (Figura 3b), abarcando el periodo de floración, fertilización-cuajado y llenado de grano.

4.2 RENDIMIENTO EN GRANO

Una primera aproximación en cuanto a las diferencias en rendimiento, dadas por la edad de cada chacra y la respuesta a la fertilización se observa en la siguiente figura.



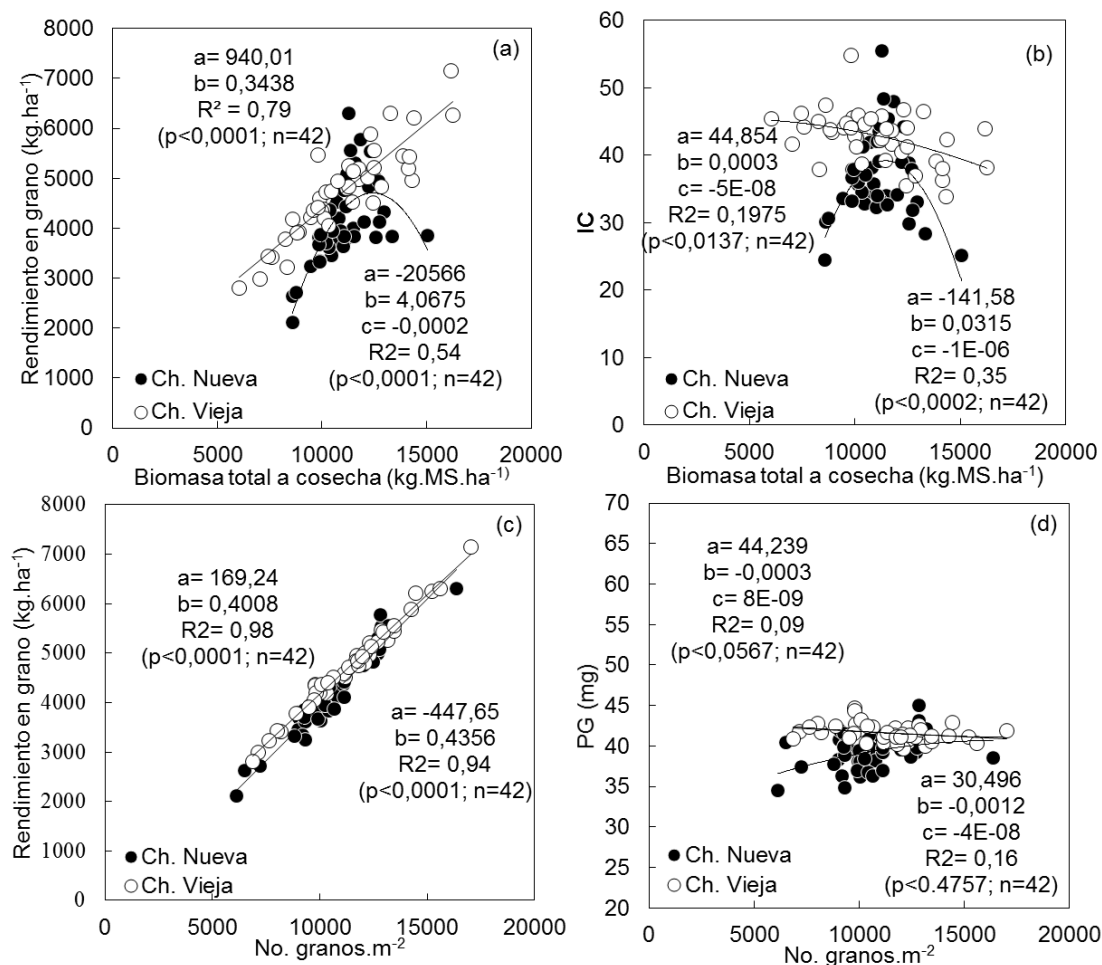
*Valores con distinta letra para la misma edad de chacra y entre distintas edades de chacra difieren entre sí Tukey ($\alpha=10\%$).

Figura 4. Rendimiento en grano para los tratamientos testigos sin agregado de nutrientes en pos emergencia, para el tratamiento que asegura el máximo rendimiento en grano y para el promedio de todos los tratamientos según edad de chacra, con sus respectivos errores estándar.

Se puede apreciar en la Figura 4, que para los tratamientos testigos, sin agregado de nutrientes, los rendimientos fueron mayores en la chacra nueva en relación a la chacra vieja, tal cual fue reportado por García Lamonthe, citado por Sawchik (2001), aunque no existieron diferencias significativas. El máximo rendimiento alcanzado en cada ambiente fue similar, a diferencia de lo mencionado por Mazzilli (2008), García Préchac, citado por Centurión y Chinazzo (2012), los cuales mencionan que a medida que aumentan el número de cultivos pos pasturas, disminuyen los rendimientos máximos alcanzables. Sin embargo, el mismo autor sugiere que a su vez aumenta la respuesta al N, tal cual sucede en este caso, ya que por el lado de chacra nueva, fueron necesarios solamente 50 kg de N.ha⁻¹, mientras que para chacra vieja fueron necesarios 300% más de N con relación a chacra nueva y mayor cantidad de S (40 kg.ha⁻¹, Hoffman et al., 2013), como será discutido a continuación. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Centurión y Chinazzo (2012), en trigo en Uruguay.

4.2.1 Componentes del rendimiento

Los componentes que explicaron la variación del rendimiento en grano, se presentan a continuación en la Figura 5.



*Rendimiento en función de la biomasa total (a), en función al número de granos (c), índice de cosecha en función de la biomasa total (b) y peso de grano en función del número de granos por metro² (d).

Figura 5. Componentes del rendimiento en grano según edad de chacra.

La variación en rendimiento en la chacra vieja y la chacra nueva estuvo asociada a la variación de la biomasa, pero ambas se relacionan de manera distinta. Mientras para la chacra vieja el rendimiento presenta una relación lineal con la biomasa total a cosecha, para la chacra nueva dicha relación es cuadrática, en donde el rendimiento en grano disminuyó a medida que la biomasa a cosecha se ubica en un valor intermedio, asociado a la caída del índice de cosecha (Figura 5b). Posiblemente esto ocurra por un excesivo

crecimiento inicial, consecuencia de una alta absorción de N. Este comportamiento registrado como frecuencia en la década de los noventa, se asociaba a la disminución de la fertilidad de espigas como fue reportado por Hoffman (1990), Wych et al., citados por Baethgen (1992), Luizzi y Carrasco, citados por Hoffman (1995), Warrington et al., citados por Castro et al. (1997). Lo contrario sucede para chacra vieja, en donde a mayor biomasa generada a cosecha mayor el rendimiento en grano (aumentando en 340 kg de grano por cada 1000 kg de biomasa, 0.79; $p < 0.0001$).

Sin embargo lo analizado en el párrafo anterior afecta de igual manera el número de granos obtenidos por metro cuadrado, ya que la relación entre rendimiento y número de granos es lineal e independiente de la edad de chacra (Figura 5b).

4.3 RESPUESTA AL NITRÓGENO SEGÚN EDAD DE CHACRA

Dada la historia agrícola diferencial de ambos ambientes, considerando las diferencias observadas en la capacidad de aporte de N. El efecto edad de chacra puede involucrar otros factores diferenciales además del aporte de nitrógeno del suelo. Por lo tanto, luego de culminados este trabajo, se estudiaron las propiedades físicas del suelo en ambos ambientes con distinta historia agrícola. Los resultados obtenidos, permitieron inferir que si bien existen diferencias en las propiedades físicas entre ambientes, es poco probable que estén al nivel y por tanto fuesen una condicionante al logro del máximo potencial definido por la nutrición, agua y material genético (datos no mostrados). Por tanto se tomara para el análisis, que las principales diferencias entre ambiente obedecen a la capacidad diferencial en la oferta de nitrógeno. Por tal motivo se procedió a un cambio de nomenclatura, en función de la siguiente información (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de N en suelo a siembra y a Z22, y kg de N absorbido para los tratamientos testigos en diferentes estadios, según edad de chacra.

Edad de chacra		Siembra	Z22	Z30	Z55	Tasa de abs. de N (kg.ha ⁻¹ .dia) [*]	Nueva nomenclatura.
Nueva	N-NO3 en suelo (ppm)	9	8	-	-	-	Alta capacidad de aporte de N (ACaN)
	N absorbido (kg N.ha ⁻¹)	0	17	73	94	1.0	
Vieja	N-NO3 en suelo (ppm)	6	6	-	-	-	Baja capacidad de aporte de N (BCaN)
	N absorbido (kg N.ha ⁻¹)	0	10	17	41	0.4	

*Absorción diaria de nitrógeno desde emergencia a Z55. Ciclo a Z 55 para chacra nueva 93 días y para chacra vieja 100 días

Más allá de las diferencias en el análisis de suelo a Z 22 (momento de instalación de los experimentos), los cultivos creciendo bajo diferentes antecesores fueron capaces de absorber distintas cantidades de nitrógeno a Z 22. El cultivo presente sobre BCaN absorbió apenas el 55% del N absorbido por el cultivo sobre ACaN.

Para poder realizar la correcta comparación entre el N absorbido por el cultivo a Z 30 y Z 55 para los testigos entre ambientes, fue necesario realizar una prueba de homogeneidad de varianzas. Dicha prueba resultó ser significativa (Anexos 10 y 13), permitiendo evaluar y comparar las diferencias existentes entre ambientes, y tratarlos como si fuesen un único experimento.

Al igual de lo sucedido a Z 22, a Z 30 se mantuvieron las diferencias en cuanto a la absorción de N. Ésta fue para BCaN apenas el 23% del absorbido sobre ACaN.

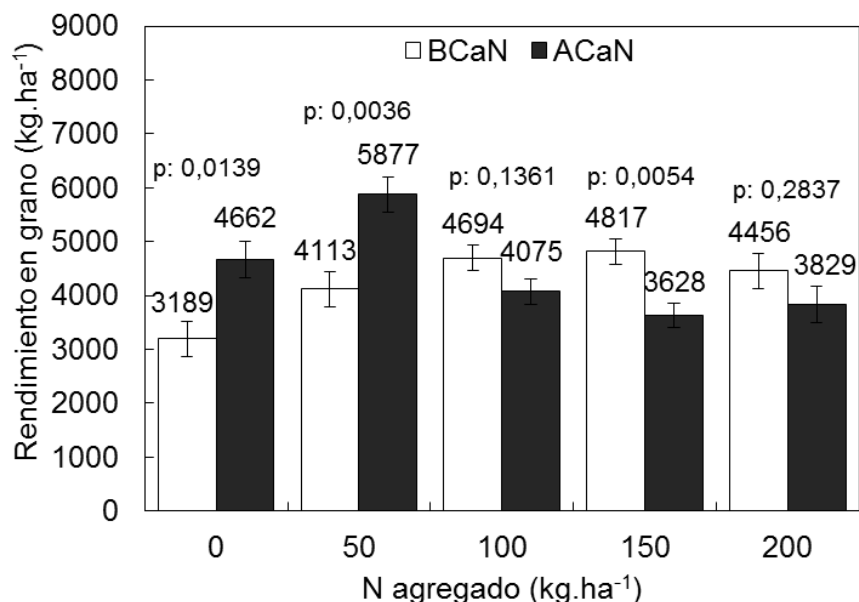
Existió una tasa de absorción diaria del testigo sobre ACaN de 1.52 kg.ha.dia⁻¹ desde emergencia a Z 30, datos similares fueron publicados por Kemanian y Leites (1997) quienes encontraron una tasa de absorción para el

mismo periodo de 1.78 kg.ha.día⁻¹, a diferencia de los 0.35 kg.ha.día⁻¹ absorbidos por el testigo presente sobre BCaN.

Tal cual sucedió a Z 22 y Z 30, el ambiente BCaN fue capaz de brindar solamente un 43% del N total absorbido a Z55 con respecto al ACaN. Similares resultados fueron reportados por Hoffman et al. (2015) para el cultivo de trigo a Z65, quienes encontraron que los cultivos creciendo en ambientes que venían de más de 10 años de agricultura continua lograron absorber menos de la mitad del N que se logró absorber en aquellos cultivos sembrados luego de una pastura.

Sabiendo que el aporte de N es dependiente del ambiente analizado (Sawchik 2001, Ernst y Siri 2009, Sainz Rosas et al. 2011, Hoffman et al. 2015), es de interés profundizar en la respuesta al N para cada situación en estudio (Figura 6).

Para poder realizar una comparación del rendimiento en función del N total agregado, fue necesario agrupar tratamientos. Por lo tanto el análisis utilizado en función del modelo actual llevaría a variaciones en cuanto a la significancia de los resultados obtenidos, debido a que el error experimental se termina modificando. Motivo por el cual fue necesario realizar un análisis de contrastes ortogonales.



*Análisis de contrastes ortogonales para iguales dosis de N, según ambiente (p-valor<0.1 diferentes significativamente, 10%).

Figura 6. Rendimiento en grano en función del nitrógeno agregado sin S durante todo el ciclo del cultivo, para los ambientes de BCaN y ACaN.

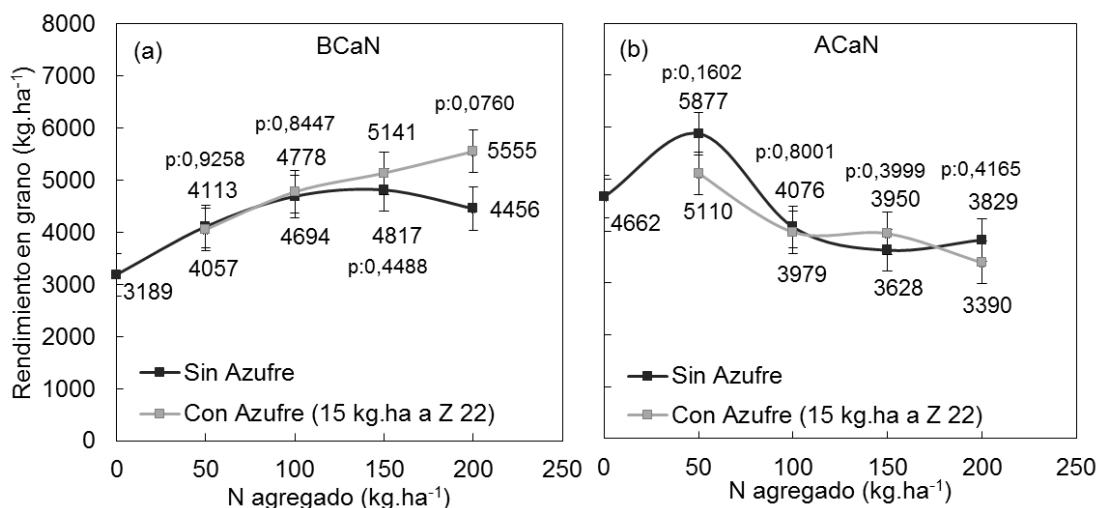
En ausencia de N en pos emergencia, la respuesta fue significativamente diferente entre ambientes, de igual forma que cuando se agregaron 50 kg de N.ha⁻¹ a favor del ambiente ACaN. Sin embargo, a partir de los 100 kg de N.ha⁻¹ agregados no se observa la misma tendencia, ya que a esta dosis no existen diferencias significativas entre tratamientos. Pero con un agregado igual o mayor a los 150 kg de N.ha⁻¹ el cultivo sobre BCaN fue capaz de lograr mayores rindes que sobre ACaN (Anexo 7). Esto se debe a que el rendimiento sobre el ambiente de ACaN disminuyó con altos agregados de N. Básicamente la respuesta diferencial en el rendimiento al agregado de N es debido al ambiente, donde se observa una máxima respuesta con 50 kg de N.ha⁻¹ sobre ACaN y entre los 100 y 150 kg de N.ha⁻¹ sobre BCaN.

Los 50 kg de N.ha⁻¹ agregados a un ambiente de ACaN comparado con los 100 o 150 kg de N.ha⁻¹ en suelo de BCaN, permitió obtener aproximadamente 1000 kg.ha⁻¹ de diferencia entre ellos para rendimiento en grano a favor de ACaN. Por lo tanto se decidió realizar un análisis en base a contrastes ortogonales (50 en ACaN contra 100 y 150 sobre BCaN), el cual fue significativo (p: 0.0049), determinando que el máximo rendimiento en promedio obtenido en ACaN, es diferentes de los máximos rendimientos medios para BCaN cuando lo analizamos en función del N agregado (Anexo 8). Esto significa que los niveles de N utilizados aun siendo mayores, no permitieron igualar los rendimientos en ambientes de baja capacidad de aporte de N o porque existen otras limitantes, que se asocian a la edad de chacra u otros nutrientes limitantes (Hoffman y Perdomo 2011, Hoffman et al. 2013).

4.4 RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO Y AZUFRE

Ya que la respuesta al agregado de N difiere entre ambientes, se analizó cada uno por separado, con el objetivo de entender mejor la respuesta al N en presencia o ausencia de S.

Analizar la respuesta al N en presencia de S, es ineludible en la actualidad, considerando los antecedentes en cuanto al fuerte condicionamiento de la respuesta al N por falta de azufre (Salvagiotti y Miralles 2008, Salvagiotti et al. 2009, Hoffman et al. 2013, Hoffman et al. 2015).



*Para BCaN (a) y ACaN (b). Análisis de contrastes ortogonales para iguales dosis de N con y sin S, según ambiente (p-valor<0.1 diferentes significativamente, 10%).

Figura 7. Rendimiento en grano en función del nitrógeno y azufre agregados durante todo el ciclo del cultivo.

Cuando además de N se adiciona S (Figura 7a), la tendencia es que la respuesta al N se incremente por encima de los 100 kg de N.ha⁻¹, hasta los 200 kg.ha⁻¹. Solo para el ambiente de BCaN el agregado S fue significativo cuando se utilizaron altas dosis de N (p: 0.076). Datos similares fueron reportados por Hoffman et al. (2013), quienes encontraron que en chacras viejas la respuesta a altas dosis de N está condicionado por el S. Resulta conveniente evaluar el efecto del agregado de N y S, según estadio, además de visualizar el efecto de cada tratamiento sobre el rendimiento.

Cuadro 5. Rendimiento en grano, comparados por ambiente según capacidad de aporte de nitrógeno para cada uno de los tratamientos evaluados.

Z22		Z30	Rendimiento en grano (kg.ha ⁻¹)	
N	S	N	BCaN	ACaN
0	0	0	3189 b	4662 ab
50	0	0	4112 ab	5877 a
		50	4763 ab	4229 ab
		100	4846 ab	3774 b
		0	4056 ab	5110 ab
100	15	50	4887 ab	4404 ab
		100	5363 a	4057 b
		0	4624 ab	3922 b
		50	4786 ab	3482 b
100	15	100	4455 ab	3829 b
		0	4667 ab	3554 b
		50	4918 a	3843 b
		100	5555 a	3390 b
Sin limitantes nutricionales			6003 a	3694 b
Promedio			4730	4130
CV (%)			16,15	15,67
p-valor			0,0277	0,0037
MDS (10%)			2096	1776

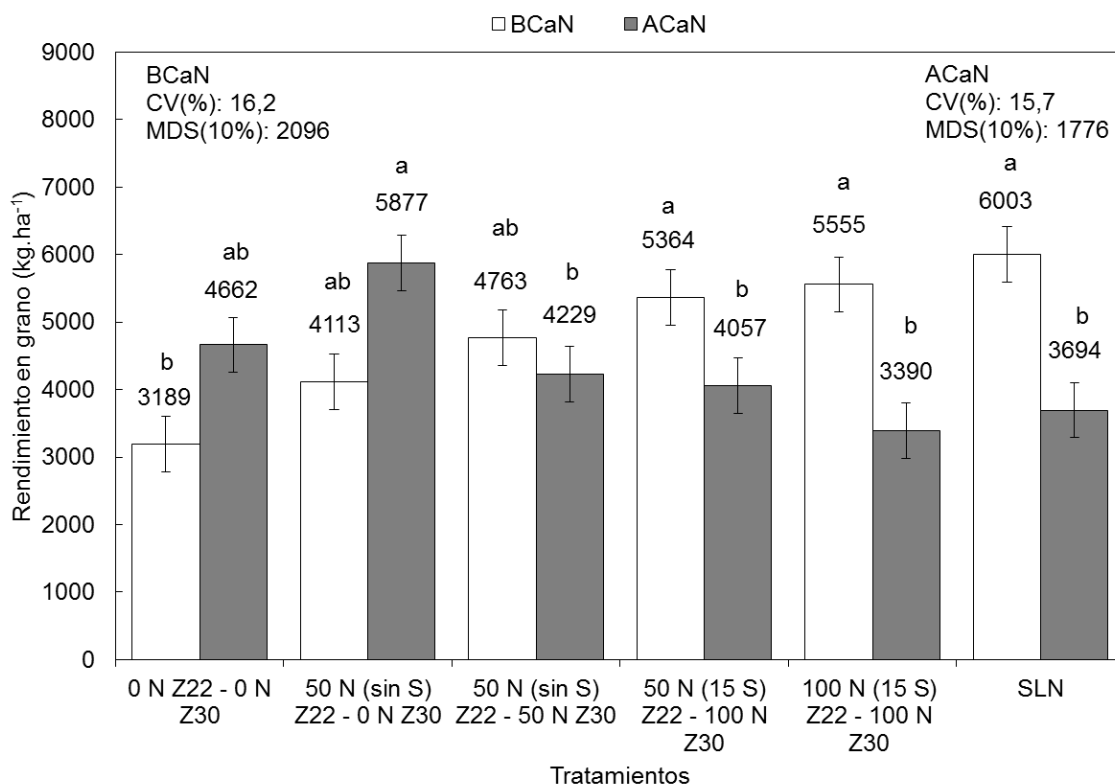
*N y S medidos como kg.ha⁻¹ de nutriente aplicado en dos diferentes estadios, N y S a Z22 y N a Z30. Valores con distinta letra difieren entre sí dentro de cada ambiente de capacidad de aporte de nitrógeno. Tukey ($\alpha=10\%$).

Analizando el rendimiento en grano en función de los tratamientos, según ambiente, vemos que existen pocos tratamientos diferentes entre sí. Para BCaN, el testigo difiere significativamente (Tukey 10%) del tratamiento SLN y de los que llevaron 150 kg de N.ha⁻¹ con S, independientemente de cómo se repartió la fertilización nitrogenada entre Z 22 y Z 30.

La tendencia sobre BCaN es que existan aumentos en el rendimiento hasta un agregado de 100 kg de N.ha⁻¹ independientemente del uso de S y de cómo se reparta la fertilización entre comienzos de macollaje y principio de encañazón. Cuando la cantidad de N agregado es superior, es necesario que vaya acompañado de S, hasta los 150 kg de N.ha⁻¹ alcanzaría con 15 kg de S.ha⁻¹, pero cuando agregamos hasta 200 kg de N.ha⁻¹ aparentemente esta cantidad de S sería insuficiente

En contra parte, cualquiera de los tratamientos que llevaron agregado de S, acompañado de igual dosis de N o superior a $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para ACaN, vieron su rendimiento disminuido, existiendo una respuesta opuesta a BCaN (Figura 7).

En base a estos resultados, surge que el uso eficiente de los nutrientes como el N en primer término, debe contemplar el monitoreo, considerando que es la base de la propuesta de manejo de N para cereales de Invierno en Uruguay (Perdomo et al. 1999, Hoffman et al. 2010, Hoffman y Perdomo 2011). En este sentido en la siguiente figura se muestra la respuesta en rendimiento para los tratamientos que nos posibilitan un análisis tecnológico.



*Valores con distinta letra difieren entre si dentro de cada ambiente de capacidad de aporte de nitrógeno. Tukey ($\alpha=10\%$).

Figura 8. Rendimiento en grano para los tratamientos que mostraron mayores diferencias en cuanto a la capacidad del ambiente de aportar nitrógeno.

El valor agronómico de un suelo cabeza de rotación con alta capacidad de aporte de nitrógeno entre otras diferencias, representó $1473 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de grano adicionales (un 32 % más), frente a un sitio de baja capacidad de aporte de nitrógeno, sin refertilización N-S en pos emergencia. La herramienta actual de

ajuste de N en Uruguay para cultivos de invierno nos determinaría realizar refertilizaciones a Z 22 y/o Z 30 según los análisis de suelo y planta obtenidos en éste ensayo (Hoffman et al., 2013).

Según el N en suelo a Z 22, el cultivo sobre BCaN debería de haberse fertilizado con $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N en dicho estadio, y $42 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en ACaN, ya que el suelo contaba con 6ppm y 8ppm de N-NO₃ en suelo a 20 centímetros de profundidad, al momento del análisis, respectivamente. Tomando como referencia un nivel crítico (Nc) de 15ppm en suelo, con equivalente de fertilizante mínimo de $6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N por cada 1ppm por debajo del Nc. Los tratamientos que más se adaptarían a estas dosis serían los de 50 kg de N. $\cdot\text{ha}^{-1}$.

En función de la concentración de N en planta a Z 30, la dosis necesaria sería de aproximadamente 23 kg de N. $\cdot\text{ha}^{-1}$ para BCaN y 10 kg de N. $\cdot\text{ha}^{-1}$ para ACaN, en aquellas parcelas en donde la fertilización a Z 22 había sido con $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ya que el correspondiente análisis determinó un 3,6% y 3,9% de N en planta, respectivamente. Siguiendo éste criterio, junto con lo expresado por Hoffman et al. (2013, 2015), podemos considerar como testigos tecnológicos (TT) aquel tratamiento que para BCaN determinó un agregado máximo de 50 kg de N. $\cdot\text{ha}^{-1}$ a Z 22 y a Z 30; y de solamente 50 kg de N. $\cdot\text{ha}^{-1}$ a Z 22 para ACaN.

En ACaN el tratamiento que permitió lograr el máximo rendimiento coincide con el TT para dicho ambiente, mientras el TT para BCaN no coincide con el tratamiento de máximo rendimiento, que si se logró con el tratamiento SLN. Estos resultados coincidirían con los reportados por Hoffman et al. (2013), donde mencionan que en chacras con muchos años de agricultura continua sin rotar con pasturas, existe respuesta a altas dosis de N, por encima de lo que predice el modelo a Z 30, siempre y cuando este vaya acompañado de S (Centurión y Chinazzo 2012, Hoffman et al. 2015).

Para poder entender como afectó al rendimiento en grano la capacidad de aporte de N del suelo, el N y S agregados a Z 22, y el N agregado a Z 30, se realizó un análisis de regresión y clasificación (Figura 9).

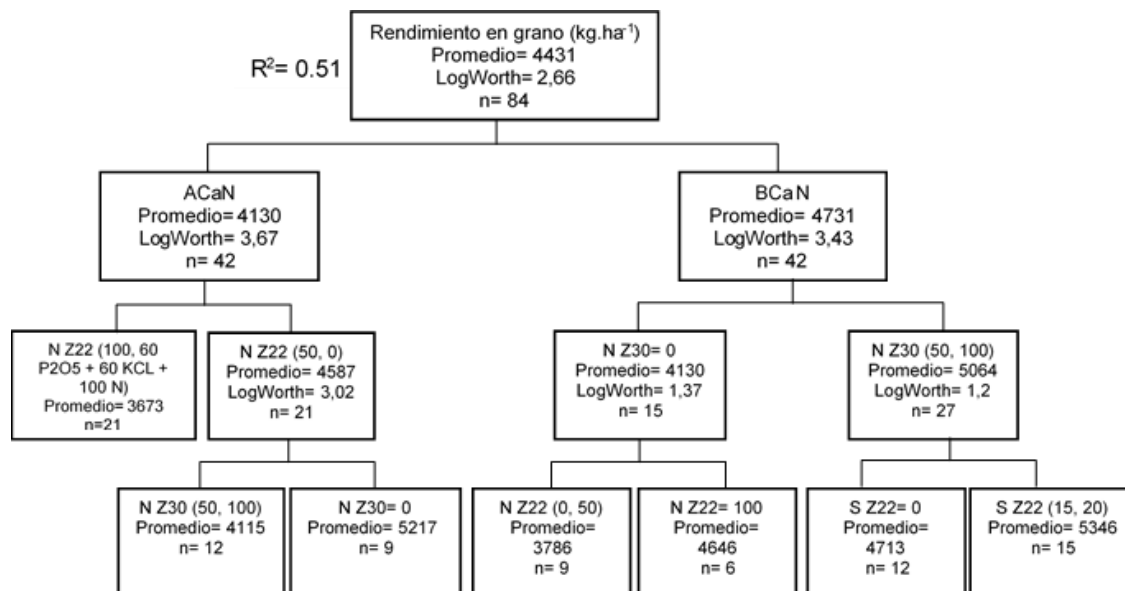


Figura 9. Árbol de regresión y clasificación para rendimiento en grano, en función de la capacidad diferencial de aporte de N por parte del suelo y el manejo de N y S.

Cuando analizamos la importancia de la capacidad de aporte de N por parte del suelo y el manejo del N y S, como factores que pueden explicar la variación del rendimiento en grano, surge en primer lugar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo, coincidiendo con lo reportado por Ernst (1990), Sawchik (2001), Ernst et al. (2016).

En segundo lugar, el factor que explicó las diferencias en rendimiento dentro de BCaN es el agregado de nitrógeno a Z 30. El haber agregado (50 o 100 kg de N.ha⁻¹) representó 860 kg.ha⁻¹ a más de grano a la hora de la cosecha.

Dentro de los tratamientos que no llevaron N a Z 30 (BCaN) fue el agregado de 100 Kg de N.ha⁻¹ a Z 22, que permitió lograr los mayores rendimientos dentro del grupo. Mientras que el factor azufre es quien explica las diferencias dentro del grupo de tratamientos que llevaron N a Z 30. Lo que implica que los mayores rendimientos para esta condición de baja capacidad de aporte de nitrógeno, fueran aquellos que llevaron N a Z 30 y S a Z 22, poniendo en evidencia la respuesta incremental al N (Sawchik 2001, Ernst y Siri 2009, Ackermann y Gasparri 2011, Sainz Rosas et al. 2011) cuando es acompañado de S (Hoffman 2011, Hoffman et al. 2015).

El primer factor en explicar las diferencias en rendimiento dentro del grupo de ACaN fue el haber agregado dosis superiores a los 50 kg de N.ha⁻¹ a

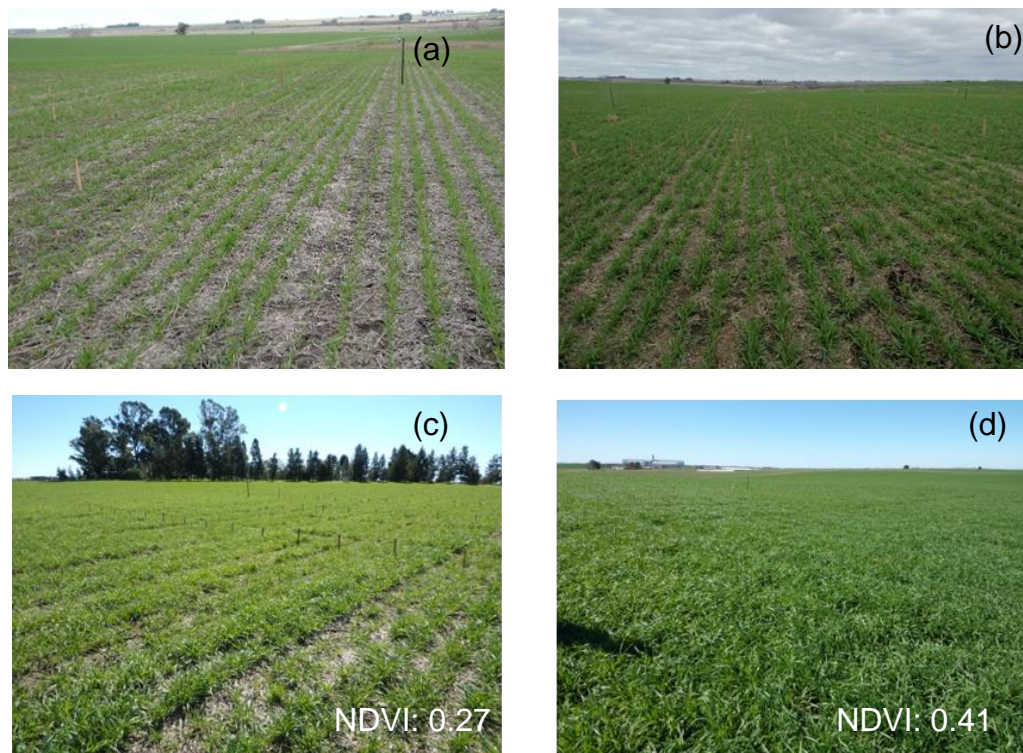
Z 30, que llevó a obtener los menores rendimientos. Mientras que el agregar 0 o 50 kg de N.ha⁻¹ permitió obtener 4587 kg.ha⁻¹ de grano en promedio. A su vez, dentro de este último grupo de tratamientos, los que no llevaron N a Z 30 fueron los que permitieron generar los mayores rendimientos dentro del grupo de tratamientos de ACaN.

Sabiendo que las temperaturas, radiación y agua durante el período crítico, junto con la edad de chacra son los principales factores en explicar las diferencias en rendimientos alcanzables entre años para cultivos de invierno en Uruguay (Ernst et al., 2016), era de esperarse que los rendimientos obtenidos fuesen diferentes según la chacra. Ernst et al. (2016), sugieren que el impacto negativo de los años de agricultura se acentúa bajo condiciones climáticas desfavorables y que el rendimiento alcanzable disminuye cuanto mayor es la edad de chacra y menos la cantidad de N agregada.

Aun así fue posible lograr el máximo rendimiento para nuestras condiciones, para ambos ambientes. En ACaN se logró siguiendo el modelo de fertilización utilizado en Uruguay, mientras que para BCaN, siguiendo el modelo de fertilización utilizado se logró el 79% del rendimiento máximo, que fue solamente posible de concretar agregando altas cantidades de N y S, por encima de lo que recomendaría el modelo, dosis que actualmente no se estaría dispuesto a utilizar a nivel de producción.

4.5 EFECTOS DE LA EDAD DE CHACRA SOBRE EL CRECIMIENTO

Dada la situación contrastante en cuanto a la capacidad de aporte de N de cada ambiente, se decidió evaluar el efecto sobre el crecimiento del cultivo.

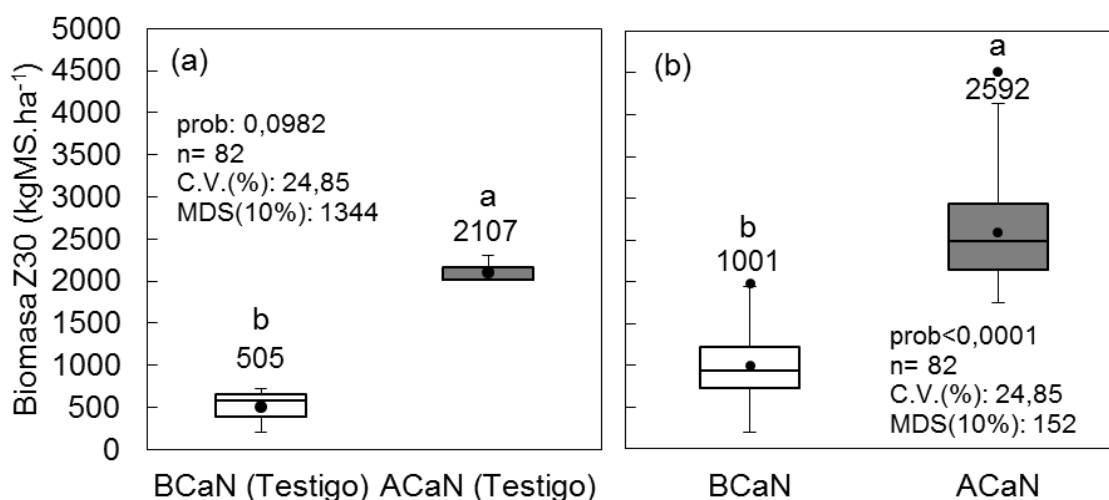


*En Z 22 sobre BCaN (a) y ACaN (b), y en Z 30 sobre BCaN (c) y ACaN (d).

Figura 10. Cultivo de cebada en dos estadios diferentes para cada ambiente y mediciones de NDVI para el cultivo a Z 30 para el promedio de los tratamientos.

Las fotos de la figura 10, fueron el principal motivo por el que se decidió realizar el experimento. Fueron tomadas el 10 de julio al momento en donde el cultivo se encontraba en Z 22. Estas diferencias, dadas por la edad de chacra, arrojaron que el cultivo con menor crecimiento en BCaN (148 kgMS.ha^{-1}) representara apenas el 55% de la biomasa generada, en relación al que se encontraba creciendo sobre ACaN (269 kgMS.ha^{-1}).

Al momento de tomar las fotografías a Z 30 (Figuras 10c y 10d), se realizaron determinaciones de NDVI con crops scanner, en donde para el promedio de los tratamientos, el cultivo presente sobre el ambiente de BCaN mostró un índice, 34% inferior en relación al cultivo sobre ACaN (0.27 y 0.41 respectivamente). Las diferencias en crecimiento atribuibles al ambiente, se muestran en la Figura 11.



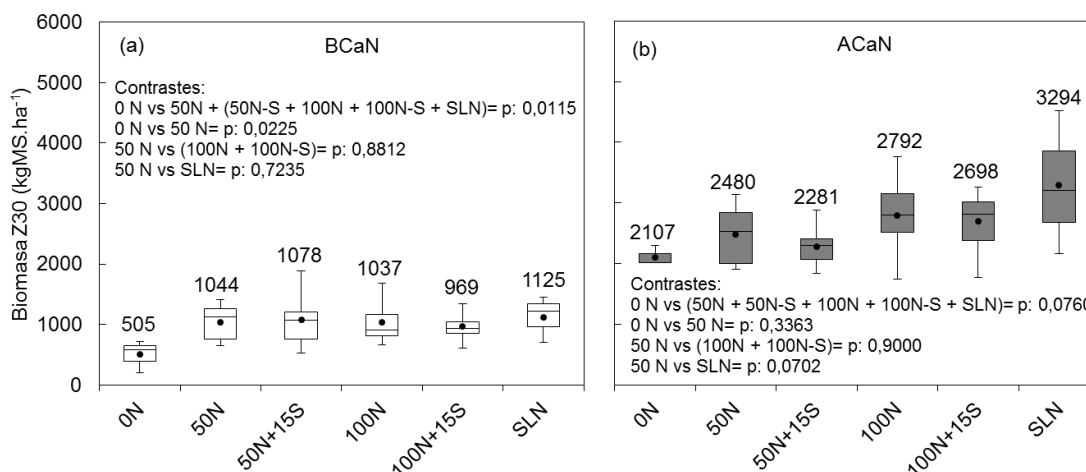
*Tratamientos testigos (a) y promedio de los tratamientos (b), con sus respectivos desvíos estándar. Valores con distinta letra difieren entre si dentro de cada ambiente de capacidad de aporte de nitrógeno. Tukey ($\alpha=10\%$).

Figura 11. Biomasa acumulada a Z 30 para cada sitio, para los tratamientos testigos y para el promedio de los tratamientos.

El cultivo creciendo sobre un ambiente de BCaN sin agregado de N y S en pos-emergencia presentó una producción de biomasa a Z 30 de 505 kg de MS.ha⁻¹, representando apenas el 23 % del registrado para el mismo tratamiento sobre un ambiente de ACaN, el cual fue de 2107 kg de MS.ha⁻¹ (Figura 11a).

Para el promedio de los tratamientos existe la misma tendencia, donde el cultivo sobre un ambiente de BCaN, generó solo el 38% de la materia seca total generada sobre un ambiente de ACaN (Figura 11b).

Para el suelo de ACaN la biomasa generada a Z 30 para el promedio de los tratamientos representó el 23 % de la biomasa total a cosecha. Información similar fue encontrada por Baethgen (1992), quien afirma que hasta Z 30 el cultivo podía generar un 20 % de la materia seca total a madurez, estando la variabilidad relacionada íntimamente con la disponibilidad de nitrógeno. Sobre BCaN, la biomasa a Z 30 representó solamente el 9 % biomasa total a cosecha.



*Para BCaN (a) y ACaN (b), con sus respectivos desvíos estándar. Análisis de contrastes ortogonales, según ambiente (p-valor<0.1 diferentes significativamente, 10%).

Figura 12. Biomasa acumulada a Z 30 agrupados por las cantidades de nitrógeno y azufre aplicadas a Z 22, para BCaN y para ACaN.

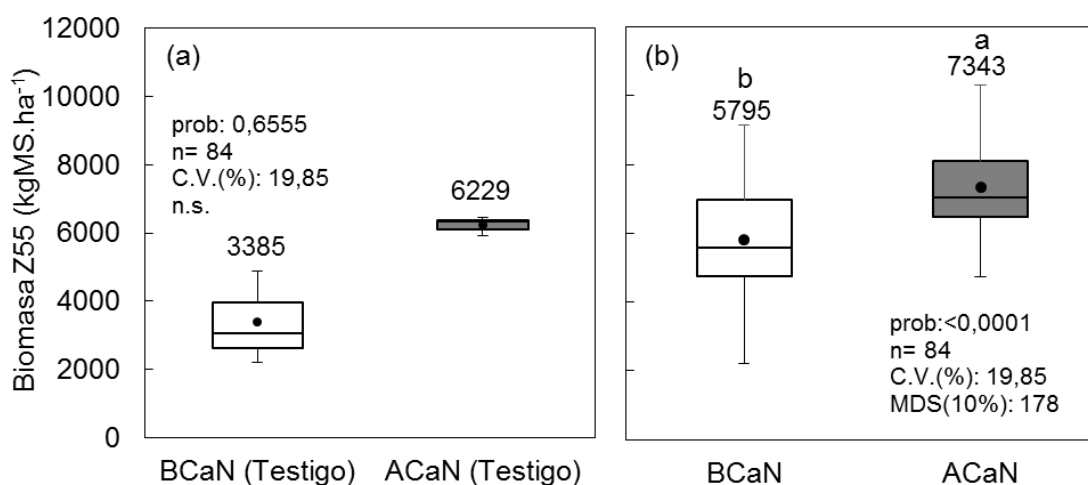
El agregado de N con o sin S a Z 22 para el ambiente de BCaN, permitió prácticamente duplicar la producción de MS a Z 30 con relación al testigo (p: 0.0115), a su vez el testigo presentó diferencias significativas con el TT (50 kg de N.ha⁻¹ Z 22). Sin embargo, el TT no presentó diferencias con los tratamientos que llevaron dosis más altas de N con o sin S (Figura 12a). Lo importante a destacar, es que existió un bajo crecimiento inicial a Z 30 sobre el ambiente BCaN para cualquiera de los tratamientos evaluados, lo cual no fue posible de ser solucionado con elevadas dosis de N y S a Z 22. Aunque tienen un efecto importante sobre el crecimiento, no permitieron igualar las producciones de biomasa a Z 30 con respecto al ambiente de alta capacidad de aporte.

Para el ambiente de ACaN (Figura 12b), haber fertilizado permitió obtener una mayor producción de MS a Z 30 (p: 0.0760). Sin embargo el tratamiento testigo no se diferenció significativamente del TT (50 kg de N.ha⁻¹ a Z 22). Este último tampoco fue diferente de aquellos tratamientos que llevaron 100 kg de N.ha⁻¹ con o sin S (p: 0.9000), pero si significativamente fue capaz de producir menos MS que el SLN (p: 0.0702).

Los datos obtenidos no concuerdan con lo reportado por Centurión y Chinazzo (2012), quienes obtuvieron bajo nutrientes no limitantes (SLN) el doble de producción de materia seca a Z 30 con relación al TT, en chacras con 7 o más años en agricultura continua. Sin embargo, encontraron que la producción de MS de los TT a Z 30 representaba el 71 % de la generada por el

SLN para ambientes considerados como ACaN, siendo muy similares a los obtenidos en este experimento (75 %). Las diferencias, pueden deberse a que en este caso, el cultivo presente sobre BCaN, al presentar una muy baja producción de MS a Z 22 y al corto período de tiempo existente entre Z 22 y Z 30 (25 días), no permitió que el total del N aplicado fuese convertido en materia seca por las plantas.

En resumen, el total de biomasa producida por el cultivo a Z 30 es dependiente del ambiente y no fue posible corregirlo solo con el agregado de N y S a Z 22, cuando el cultivo ha crecido muy poco desde sus primeros estadios, tal cual sostiene Hoffman¹. Estos autores otorgan el escaso crecimiento inicial a aquellas condiciones de chacra donde presentan 5 años o más de agricultura continua. Tomando como referencia un nivel crítico de biomasa para trigo a Z 30 de 2330 kgMS.ha⁻¹, solamente logrados para ACaN en la mayoría de los tratamientos, incluyendo el TT y el SLN.



Tratamientos testigos para cada ambiente (a) y promedio de los tratamientos para cada ambiente (b), con sus respectivos desvíos estándar.

*Valores con distinta letra difieren entre si dentro de cada ambiente de capacidad de aporte de nitrógeno. Tukey ($\alpha=10\%$).

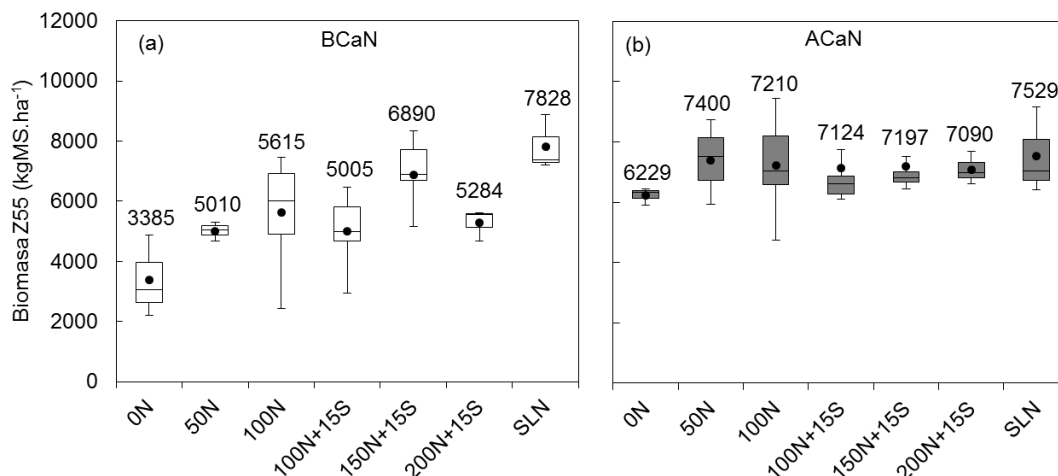
Figura 13. Biomasa acumulada a Z 55 para cada sitio, para los tratamientos testigos y para el promedio de los tratamientos

Si bien esta condición de diferencias en la capacidad de aporte de nitrógeno por parte del suelo a priori determinarían que para los testigos a Z 55 las diferencias en biomasa fueran mayores, esto no fue así, ya que el cultivo sobre el ambiente de BCaN pasó de representar el 24 % de la biomasa total generada a representar el 54 % con relación al cultivo sobre ACaN, a Z 30 y Z 55 respectivamente, aunque no fueron significativamente diferentes (Figura 13a).

Las diferencias en biomasa a Z 55 se deben a la cantidad de N absorbido, ya que el cultivo sobre ACaN hasta dicho estadio, fue capaz de absorber 94 kg de N.ha⁻¹, y el sobre BCaN 41 kg de N.ha⁻¹ (Cuadro 4).

Para el promedio de los tratamientos se observa la misma tendencia en cuanto al crecimiento, aunque se reducen las diferencias. El cultivo sobre el ambiente de BCaN representa el 79 % de la biomasa total producida a Z 55 sobre el ambiente de ACaN.

Para poder comparar los tratamientos o grupos de ellos que más nos interesan en cuanto a la biomasa producida a Z 55, se realizó un análisis de contrastes ortogonales, que incluyen los que aparecen en la Figura 14 (Anexos 15 y 16).



Para BCaN (a) y para ACaN (b).

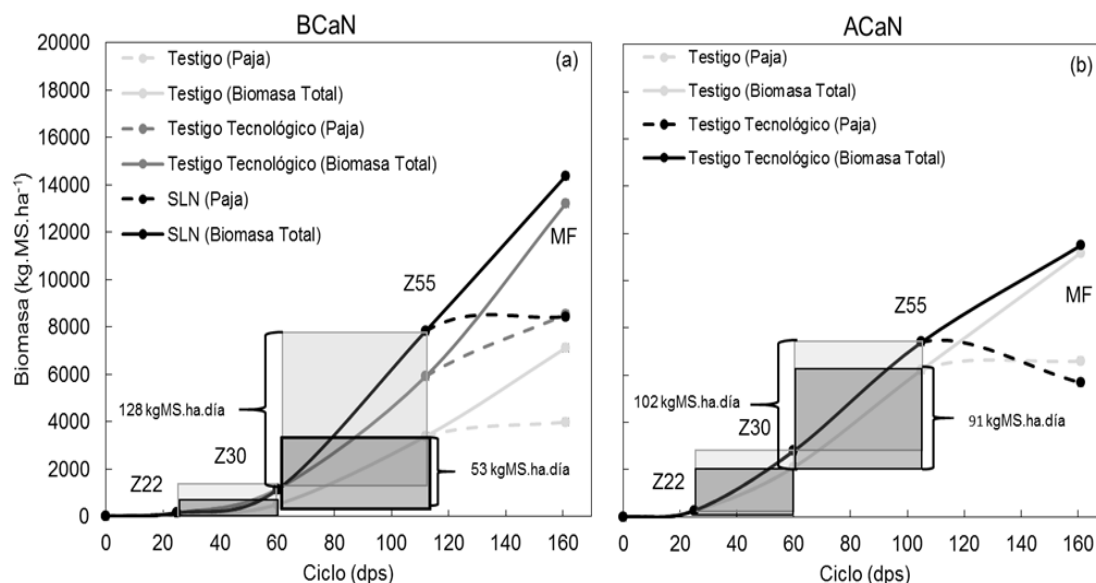
Figura 14. Biomasa acumulada a Z55 para los tratamientos que representan diferentes escalones tecnológicos con respectivos desvíos estándar.

En la Figura 14a, se observa una tendencia diferente que para Z 30 en el mismo ambiente, donde hay aumentos progresivos en la biomasa por la adición de N hasta 100 kg.ha⁻¹, y respuestas a mayores dosis cuando este va acompañado de S, aunque el tratamiento que llevó 200 kg de N.ha⁻¹ acompañado de S no haya logrado equiparar el nivel de biomasa que logró el SLN, diferencia atribuible a los 40 kg de S.ha⁻¹.

Sin embargo, el análisis de contrastes ortogonales para el ambiente de BCaN muestra que existió efecto fertilización ($p: 0.0018$), a su vez, el testigo fue diferente del TT ($p: 0.0291$), y este diferente del SLN ($p: 0.0930$). Ya que existe

una mayor generación de MS a Z 55 a medida que el agregado de N y S fueron mayores, donde el TT (50 kg de N.ha⁻¹ a Z 22 y 50 kg e N.ha⁻¹ a Z 30) y el SLN fueron capaces de producir un 75 % y 131 % más de MS que el testigo, respectivamente.

Por el contrario, para el ambiente de ACaN (Figura 14b), el aporte de N por parte del suelo no limitó el crecimiento del cultivo, no existiendo diferencias significativas en ninguno de los contrastes analizados. Del mismo modo a lo mencionado por Cha y Durán (2001), García Lamonthé, citado por Sawchik (2001), quienes encontraron que en chacras nuevas con cultivos bien manejados, el aporte de nitrógeno por parte del suelo puede ser suficiente para lograr un nivel de crecimiento que no limite la expresión del potencial de rendimiento.



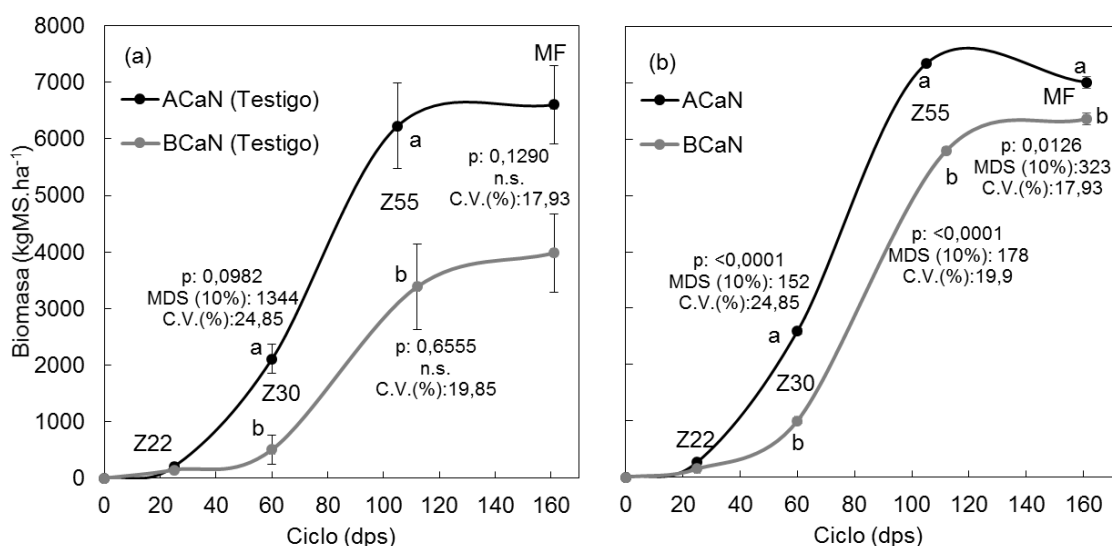
*Para los testigos absolutos, testigos tecnológicos y sin limitantes nutricionales, para BCaN (a) y ACaN (b). *kgMS.ha.día⁻¹ representa las tasas de crecimiento diarias entre Z 22 y Z 30, y entre Z 30 y Z 55.

Figura 15. Producción de biomasa y tasas de crecimiento a lo largo del ciclo

Como era de esperarse las tasas de crecimiento varían según los tratamientos de agregado de N y S, y el ambiente. Las máximas tasas de crecimiento se observan entre Z 30 y Z 55 independiente del ambiente y del tratamiento. Similares resultados fueron publicado por Daigger et al. (1976), Palta y Fillery (1993a), Oscarson et al. (1995), quienes afirman que la máxima tasa de acumulación de MS ocurre en el período aproximadamente 30 días antes de antesis.

Cuando realizamos la comparación entre ambientes, para BCaN, en el periodo Z 30-Z 55, la tasa de crecimiento para el tratamiento SLN fue de 2.3 veces mayor con respecto al testigo sin agregado ($129 \text{ kgMS.ha.dia}^{-1}$ y $55 \text{ kgMS.ha.dia}^{-1}$, respectivamente). Sin embargo, en ACaN para el mismo periodo, es de muy escasa diferencia, determinando que el TT ($50 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ a Z 22) tuviera tasas de crecimiento muy similares al testigo ($102 \text{ kgMS.ha.dia}^{-1}$ y $92 \text{ kgMS.ha.dia}^{-1}$, respectivamente)

Se aprecia que las tasas de crecimiento entre Z 22-Z 30 son mayores en ACaN, mientras que las tasas superiores entre Z 30-Z 55 se ubican sobre el ambiente de BCaN (Figura 15). Lo cual coincide con lo reportado por Mazzilli y Hoffman (2008) quienes afirman que aquellos cultivos que tienen baja tasa de crecimiento hasta Z 30 solo pueden alcanzar elevados potenciales de rendimiento en grano si concretan elevadas tasas de crecimiento durante la fase de encañado.



*Tratamientos testigos (a) y para el promedio de todos los tratamientos (b), con su respectivo EE asociado a la media para cada estadio (medias con diferentes letras difieren significativamente entre ellos según Tukey para un $\alpha=10\%$).

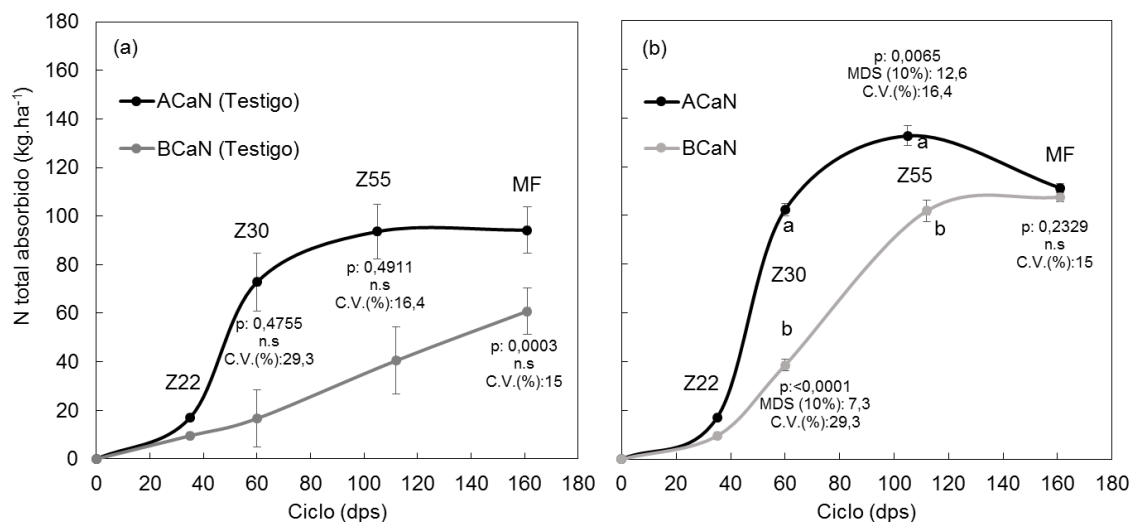
Figura 16. Producción de biomasa acumulada (sin grano) a lo largo del ciclo, para los dos sitios.

En la Figura 16a se muestra que existen diferencias estadísticas entre los testigos para los tres estadios analizados, en donde la diferencia se incrementa a medida que avanza el ciclo del cultivo, logrando tasas de crecimiento similares a partir de Z 55, alcanzándose a madurez fisiológica un 36% más de biomasa producida a favor del ambiente con ACaN .

Para el promedio de los tratamientos (Figura 16b), se ve la misma tendencia en cuanto a las diferencias en crecimiento de los testigos, pero el agregado de N y S en Z 22 y N a Z 30, redujeron en parte la brecha existente entre los ambientes.

4.6 ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO

Al igual que lo observado para la producción de biomasa, a continuación se presenta la evolución de la absorción de N a los largo del ciclo para los testigos (Figura 17a) y para el promedio de los tratamiento según ambiente (Figura 17b).



*Tratamientos testigos (a) y para el promedio de los tratamientos (b), con su respectivo EE asociado a la media para cada estadio. Valores con distinta letra difieren entre sí para un mismo estadio. Tukey ($\alpha=10\%$).

Figura 17. Absorción de nitrógeno por parte del cultivo a lo largo del ciclo, para los dos sitios.

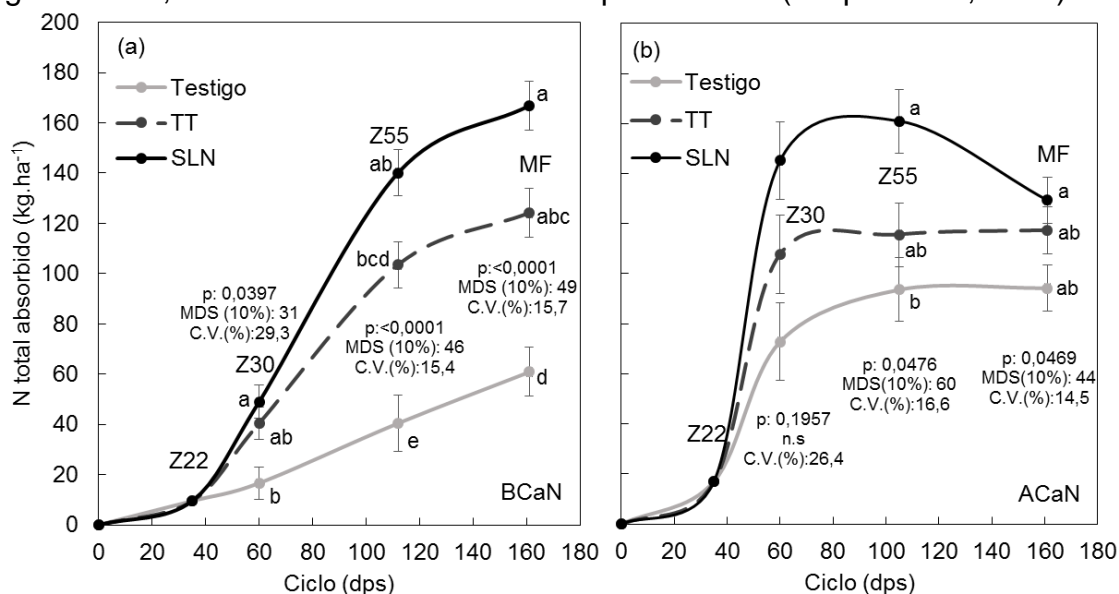
Como se puede observar en la figura anterior, las curvas de absorción de N son similares a las curvas de crecimiento (Pyarelal y Shama, citados por Cha y Durán, 2001) excepto para el testigo sobre el ambiente de BCaN (Figura 17a).

La absorción de N por parte de los testigos (Figura 17a), presentan diferencias dada por el ambiente. Las mayores diferencias se observan entorno a Z 30-Z 55, y disminuyen a MF.

De Z 30 a Z 55, el promedio de los tratamientos en un ambiente de BCaN (Figura 17b) mantuvieron prácticamente la misma tasa de absorción de N

que desde Z 22 (1.2 kg de N.ha⁻¹). Sin embargo, para el ambiente de ACaN la tasa de absorción promedio de Z 22 a Z 30 fue de 3.5 kg de N.ha⁻¹ y de Z 30 a Z 55 de 0.6 kg de N.ha⁻¹. Esto lleva a que la máxima diferencia se observe a Z 30. Esta información no coincide exactamente con lo reportado por Daigger et al. (1976), Palta y Fillery (1993a), Oscarson et al. (1995), quienes encontraron que el momento de mayor absorción ocurre aproximadamente 30 días antes de antesis y el de acumulación entorno a floración.

Para el ambiente de ACaN (Figura 17b), luego que el cultivo alcanzo el estadio de Z 55, comienza un proceso de caída en la cantidad de N acumulado. Se redujo en: 20 kg de N.ha⁻¹ en 56 días, existiendo una pérdida de -0.36 kg de N.ha.dia⁻¹. Esto sería consecuencia de que el proceso de removilización del N es ineficiente y gran parte se pierde en forma de amoniaco (Daigger et al. 1976, Palta y Fillery 1993a) dependiendo de la cantidad de N acumulada a floración (Cha y Durán, 2001). Sin embargo para el promedio de los tratamientos sobre BCaN, el contenido de N absorbido aumento hasta madurez fisiológica en 5.7 kg de N.ha⁻¹, existiendo absorción de N en post antesis (Harper et al., 1987).



*Para el testigo absoluto, testigo tecnológico y SLN para BCaN (a) y para ACaN (b), con su respectivo EE asociado a la media para cada estadio. Valores con distinta letra difieren entre sí para un mismo estadio. Tukey ($\alpha=10\%$).

Figura 18. Absorción del nitrógeno por parte del cultivo a lo largo del ciclo, para los testigos absolutos, testigos tecnológicos y SLN

En el ambiente de BCaN la absorción de N hasta Z 30 para el tratamiento SLN fue de 49 kg de N.ha⁻¹, un 17 % superior al TT y un 66% por encima del testigo sobre dicho ambiente. En cambio sobre el ambiente de

ACaN el testigo logró absorber 73 kg de N.ha⁻¹, mientras que el TT y el SLN absorbieron 108 y 145 kg de N.ha⁻¹, respectivamente. Esto implicó que el cultivo sobre BCaN presentara mayores tasas de absorción post Z 55, las cuales se incrementaron a medida que el agregado de N y S fue mayor (Figura 18a).

Para el caso de ACaN la caída en cuanto al contenido de N a partir de Z 55 se dio solo para el tratamiento SNL (Figura 18b). Sin embargo, en BCaN (Figura 18a) no sucede lo mismo, donde todos los tratamientos siguieron absorbiendo N a tasas crecientes incluso posterior a Z55, lo que permitió una acumulación similar a la registrada por los mismos tratamientos sobre ACaN en estadios anteriores.

Cuadro 6. Nitrógeno absorbido a Z55 para la totalidad de los tratamientos, según la capacidad de aporte de nitrógeno de la chacra.

Z22		Z30	N absorbido a Z55 (kg.ha ⁻¹)	
N	S	N	BCaN	ACaN
0	0	0	41 d	94 b
50	0	0	69 cd	116 ab
		50	104 abc	133 ab
		100	111 abc	151 ab
		0	71 cd	117 ab
100	15	50	109 abc	136 ab
		100	153 a	146 ab
		0	95 bc	125 ab
		50	114 abc	127 ab
100	0	100	140 ab	162 a
		0	67 cd	121 ab
		50	105 abc	136 ab
Sin limitantes nutricionales		100	104 abc	134 ab
			140 ab	161 a
Promedio			102	133
CV (%)			15.4	16.6
p-valor			<0.0001	0.0476
MDS (10%)			50.4	66.3

*N y S medidos como kg.ha⁻¹ de nutriente aplicado en dos diferentes estadios, N y S a Z 22 y N a Z 30. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según Tukey para un $\alpha=0,10$.

Para el ambiente de BCaN, con un agregado de 50 kg de N.ha⁻¹ a Z 22, aumenta la respuesta cuando se agregan a Z 30 100 kg de N.ha⁻¹ y S, confirmando lo reportado por Hoffman et al. (2015), quienes encontraron

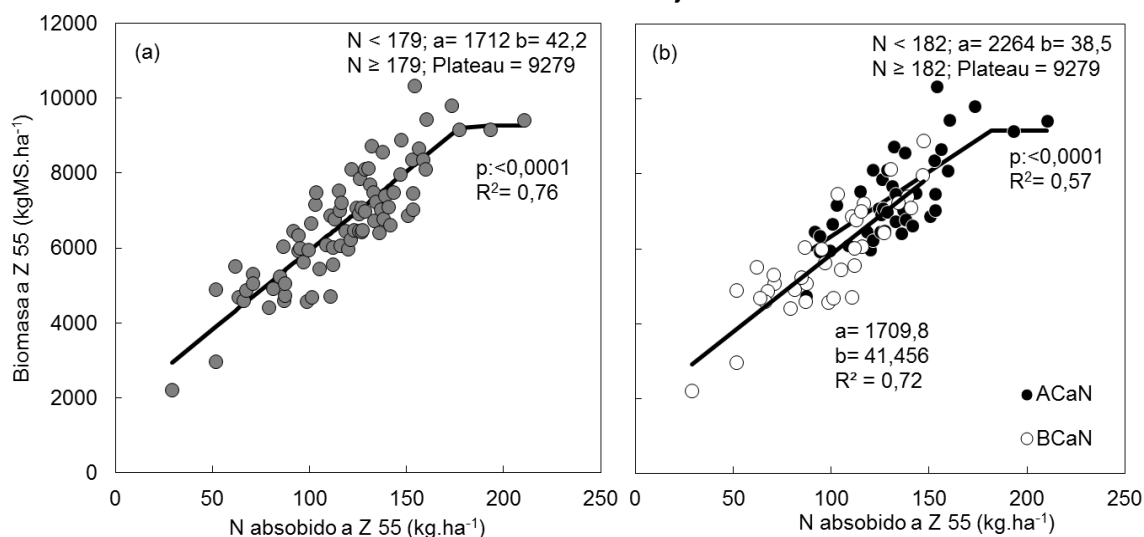
respuestas al agregado de N de un 50% por encima de lo que predice el modelo de Baethgen (1992), cuando se acompañó con S. En cambio cuando se agregan 100 kg de N.ha⁻¹ en Z 22 la respuesta cambia, ya que el agregado de 15 kg de S.ha⁻¹ no permitió aumentar la absorción de N, bajo ninguna de las dosis de N utilizadas a Z 30, lo cual podría ser explicado por la baja eficiencia de uso del nitrógeno cuando se utilizan altas dosis durante el macollaje.

A diferencia de lo comentado sobre el ambiente de BCaN, la respuesta en ACaN no difiere por si la fertilización con N se realiza en mayor proporción a Z 22 o Z 30, tampoco por la dosis de N utilizadas, o por la utilización de S.

Queda claro que la cantidad de N absorbida está directamente relacionada a la dosis de N agregado con y sin S, según el ambiente. Donde el ambiente de BCaN presenta aumentos en el N absorbido a Z 55 a medida que se incrementa la aplicación de N a Z 30, utilizando 50 kg de N a Z 22 junto con S, mientras que para el ambiente de ACaN, no existen incrementos en el N absorbido cuando se adicionó S.

4.7 RELACIÓN ENTRE BIOMASA, NITRÓGENO ABSORBIDO Y RENDIMIENTO

Aunque anteriormente se estudió el efecto sobre el rendimiento, crecimiento y absorción de N en respuesta a las diferencias asignadas a la capacidad de aporte de N por parte del suelo y al agregado de N con o sin S, a continuación se analiza a estas variables en conjunto.



*Para el conjunto de los ambientes (a) y para cada ambiente por separado (b).

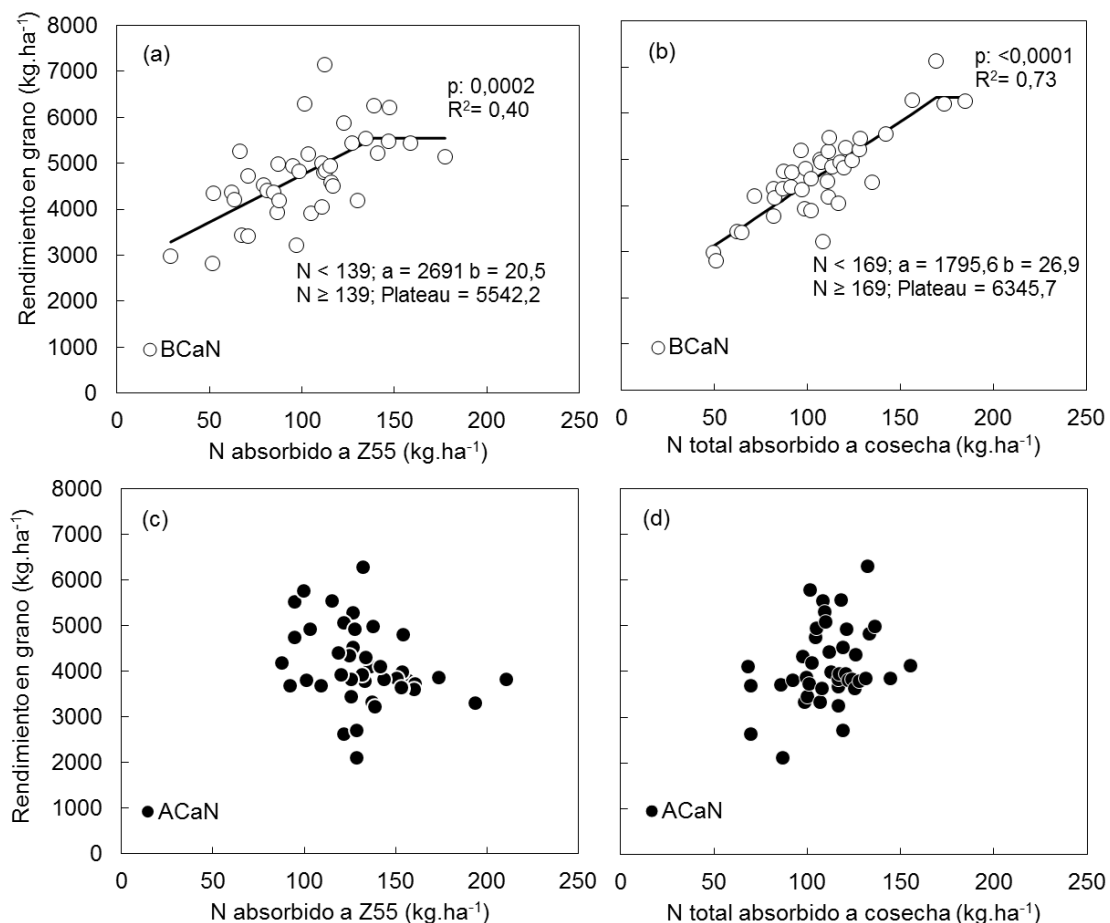
Figura 19. Biomasa total a Z 55, en función del N absorbido al mismo estadio.

En la Figura 19a, es posible apreciar una estrecha relación entre biomasa generada a Z 55 y el N absorbido al mismo estadio, existiendo una alta correlación entre las variables y un buen ajuste del modelo, determinando que por encima de los 1712 kg de biomasa, en promedio se produjeran 42 kg.MS.ha⁻¹ por cada kg de N absorbido.

En cambio cuando analizamos la respuesta según la capacidad de aporte de nitrógeno del ambiente, existe una respuesta lineal entre la biomasa y la absorción de N a Z 55 para BCaN (Figura 19b), donde cada kg de N adicional absorbido significó un aumento de 41 kgMS.ha⁻¹. En cuanto a ACaN, la respuesta al N absorbido corresponde a una función lineal Plateau, en donde por cada kg de N absorbido se produjeron 38.5 kgMS.ha⁻¹, hasta los 9279 kgMS.ha⁻¹, a una absorción de 182 kg de N.ha⁻¹. A partir de dicho punto, no existió respuesta en la biomasa producida.

Las diferencias entre ambientes pueden ser atribuibles a la baja disponibilidad de N en suelo a lo largo del ciclo para el ambiente de BCaN, no pudiendo ser compensado por el efecto fertilización, y como resultado de ello, no se pudieron en BCaN alcanzar los mismos niveles de biomasa que ACaN. También podrían estar explicados por las bajas tasas de crecimiento sobre el ambiente de BCaN, detectadas durante el primer tercio del ciclo, lo que no permitió al cultivo generar adecuados niveles de biomasa en etapas tempranas capaz de absorber y metabolizar el N aplicado hasta dicho momento. Independientemente de la causa, resultó en que el mínimo y el máximo nivel de biomasa y N en planta, fuesen menores en el sitio de BCaN.

Dada la estrecha relación existente entre la biomasa y el N absorbido a Z 55, a continuación se analiza las relaciones entre el rendimiento en grano y el N absorbido a Z 55 y el total absorbido a cosecha.



*A Z 55 BCaN (a) y A CaN (c); y a cosecha para BCaN (b) y A CaN (d).

Figura 20. Rendimiento en grano en función del N absorbido.

El rendimiento en grano para el ambiente de BCaN aumentó linealmente hasta una absorción de 139 kg de N.ha⁻¹ a Z 55, no existiendo incrementos en el rendimiento frente a mayor absorción de N, concordando con lo reportado por Hoffman et al. (1992), Hoffman y Castro (2007), los cuales determinan un nivel crítico de N a Z 55 de 140 y 150 kg de N.ha⁻¹, respectivamente. A su vez, existe una buena correlación entre el N absorbido a cosecha y el rendimiento ($R^2= 0.73$), lo cual significa que el rendimiento obtenido sobre el sitio de BCaN fue dependiente del N acumulado a madurez fisiológica (Sooper et al., 1971).

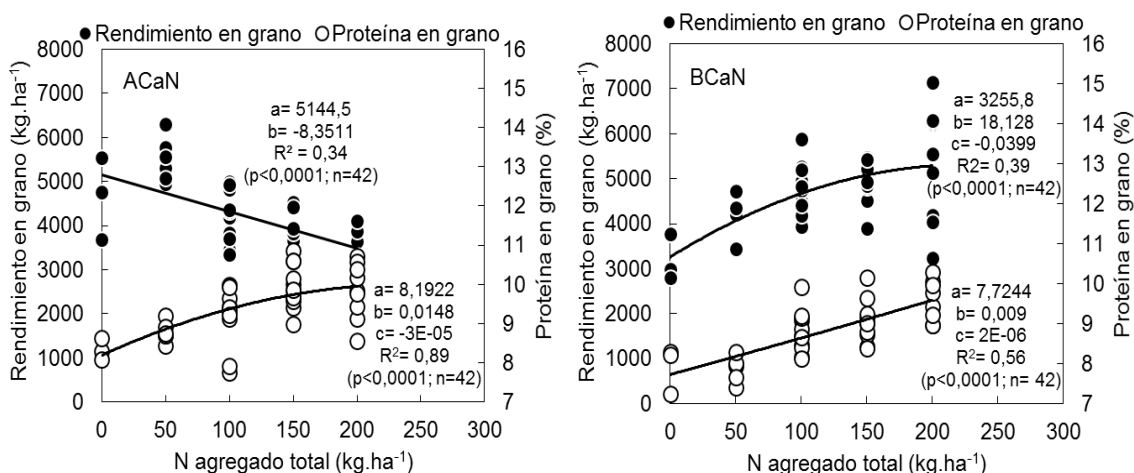
En el ambiente de A CaN no existió relación entre el N absorbido a Z 55 y cosecha con el rendimiento en grano, aunque por encima de los 150 kg.ha⁻¹ absorbidos a Z 55 parece llevar a una disminución en el rendimiento. Además, absorciones de N a Z 55 que rondan los 120 kg.ha⁻¹ presentan una alta

variabilidad con respecto al rendimiento, explicado principalmente por las altas cantidades de N utilizadas que determinaron un exceso de crecimiento hasta Z 30, que pudo ser producto de un alto macollaje. Como consecuencia se podría esperar un alto porcentaje de muerte de macollos y por ende pérdida de nitrógeno, posiblemente asociadas a que el cultivo no tendría suficiente fosa para la cantidad de N asimilada. Estos resultados serían el sustento de que absorciones de N por encima del óptimo, resultan de un consumo de lujo de N (Kemanian y Leites, 1996) y que por lo tanto no se traduce en incrementos del rendimiento en grano.

Para el ambiente de BCaN fueron necesarias mayores cantidades de N en comparación con el cultivo sobre ACaN para lograr el máximo rendimiento en granos. Ese máximo se logró con 139 kg.ha⁻¹ y 170 kg.ha⁻¹ de N absorbido a Z 55 y a cosecha respectivamente; por ende además de ser necesarias menores dosis de N sobre el ambiente de ACaN, también resultó siendo más eficiente su eficiencia de uso a cosecha (24 vs. 14 kg de grano por cada kg de N adicionado, para ACaN y para BCaN)

4.8 RESPUESTA AL NITRÓGENO Y VARIACIÓN DE LA PROTEÍNA EN GRANO

Dada la importancia de la calidad de grano de cebada cervecera, no basta conocer la dosis de N a partir del cual se logra el mayor rendimiento, sino que actualmente es de suma importancia conocer la interacción de éstas dos variables con la proteína en grano.

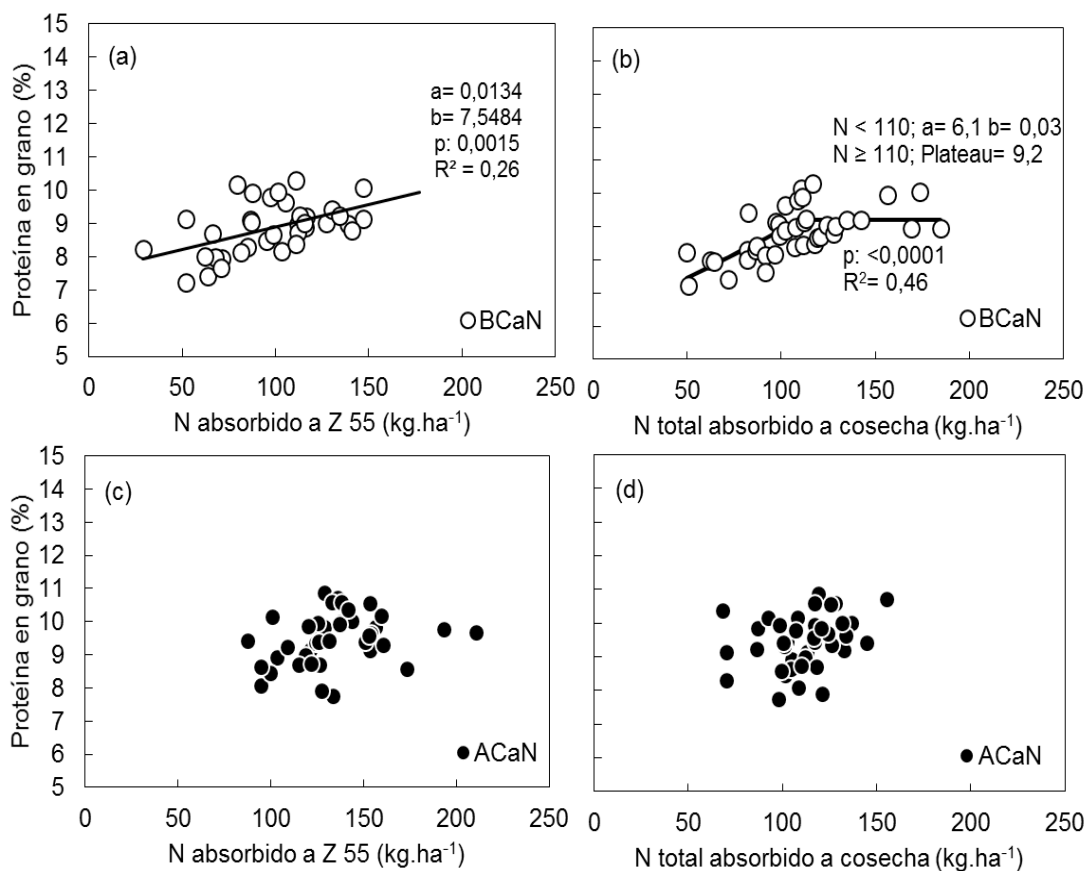


*Para ACaN (a) y para BCaN (b).

Figura 21. Rendimiento en grano y % de proteína en grano según la cantidad de nitrógeno agregado.

Era de esperarse según lo que sugieren varios autores (Baethgen 1992, Gooding y Davies 1992, Greenwood, citado por Castro et al. 1997, Ferraris 2007) que el porcentaje de proteína en grano para el tratamiento testigo sobre un ambiente de alta capacidad de aporte de nitrógeno, podría ser bajo, ya que se obtuvo en promedio un rendimiento de aproximadamente $4650 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ sin agregado de nitrógeno. Aunque, si bien el contenido de proteína en grano aumenta a medida que se incrementan las dosis de nitrógeno agregadas tal cual lo afirman Gooding y Davies (1992), los valores máximos de proteína en grano siguen siendo bajos

Sobre el ambiente de BCaN, el tratamiento testigo además de presentar un bajo rendimiento, terminó con un muy bajo porcentaje de proteína en grano, a consecuencia de la baja absorción de N por parte del cultivo durante el ciclo. Sin embargo, la tendencia es que a mayores cantidades de N agregada, se incrementa el rendimiento, seguido de un incremento en el contenido de proteína en grano, pero al igual que en ACaN, no se logran niveles altos de proteína. Con un bajo contenido de proteína en grano para ambos ambientes, solo fue posible superar el 10 % de porcentaje de proteína en grano solamente sobre el ambiente de ACaN en dos casos (Anexo 32).



*A Z 55 BCaN (a) y A CaN (c); y a cosecha para BCaN (b) y A CaN (d).

Figura 22. Proteína en grano (%) en función del N absorbido.

Existió una tendencia creciente para BCaN en cuanto al porcentaje de proteína en grano para mayores dosis de N absorbido a Z 55, tal cual sostiene Baethgen (1992) quien afirma que mayores absorciones de N tienden a incrementar el contenido de proteína en grano. Sin embargo, el ajuste es bajo, y los valores oscilan dentro de un rango muy pequeño, por ende no existen grandes diferencias en cuanto al contenido de proteína para los niveles de N absorbidos. A cosecha el ajuste mejora, aunque la proteína se encuentra topeada en 110 kg de N.ha⁻¹ absorbidos, aunque los rendimientos siguieron aumentando por encima de éste valor de absorción.

Para A CaN, no existe relación entre el N absorbido y el porcentaje de proteína en grano para ambos estadios, lo cual no era esperable, ya que si mayores cantidades de N absorbido no significaron mayores rendimientos, esperaríamos que parte de ese N terminara como proteína en grano (Hoffman y Castro 2007, Magliano et al. 2014). Sin embargo, según Cha y Durán (2001), en el caso de un mayor agregado de N en situaciones de no respuesta, aumenta el

contenido de nitrógeno absorbido concomitantemente con fuertes pérdidas de nitrógeno a cosecha. Por lo tanto, este exceso de N absorbido sobre el ambiente de ACaN, se estaría perdiendo durante el proceso de retraslocación.

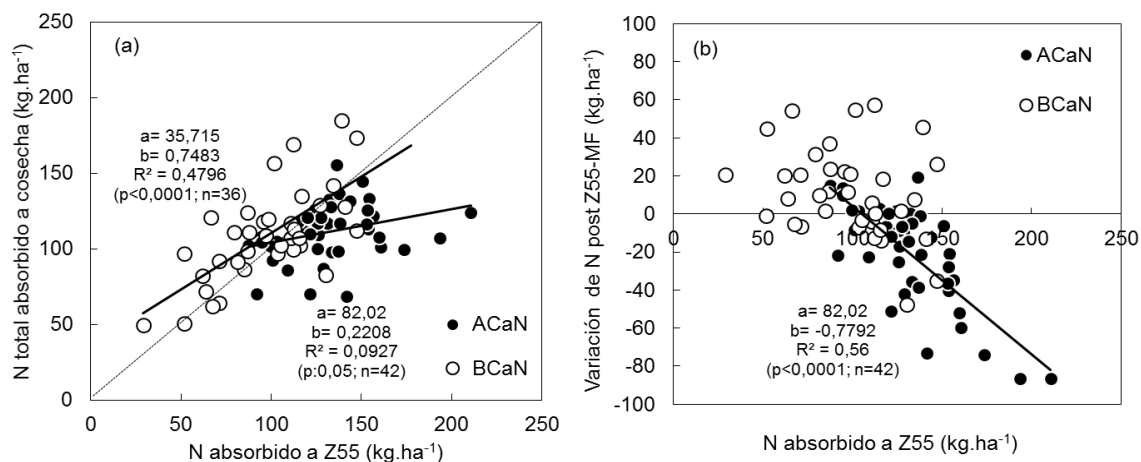


Figura 23. Nitrógeno absorbido a cosecha en función del nitrógeno absorbido a Z 55 según ambiente (a); y variación en cuanto a la absorción o pérdida de nitrógeno de Z 55 a MF en función del nitrógeno absorbido a Z 55 según ambiente (b).

La regresión para el ambiente de ACaN, presenta un bajo ajuste entre el N total absorbido a cosecha y el N absorbido a Z 55 (Figura 23a). No obstante, las pérdidas de N post Z 55 son mayores cuanto más N absorbió el cultivo hasta dicho estadio, existiendo pérdidas por encima de los 82 kg de N.ha⁻¹ absorbidos, de -0.78 kg de N.ha⁻¹ por cada kg adicional (Figura 23b). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Daigger et al. (1976), Van Stanford y MacKown (1987), Cha y Durán (2001) quienes encontraron que cuando la disponibilidad de N es excesiva o cuanto mayor es el contenido de N en los tejidos vegetales, más ineficiente se vuelve el proceso de translocación, y por ende aumentan las pérdidas de N.

La relación para BCaN es diferente, ya que la mayoría de los tratamientos presentaron mayores niveles de N a cosecha que a Z 55, afirmando nuevamente la capacidad que tuvo el cultivo de seguir absorbiendo N (Figura 23a). Pero no existió una relación clara entre la variación del N post Z 55 y el absorbido a Z 55, existiendo diferentes ganancias a una misma cantidad N en planta a mediados de espigazón (Figura 23b).

Por lo tanto sobre BCaN, mayores cantidades de N absorbidas a Z 55, permitieron lograr mayores niveles de biomasa al mismo estadio y un mayor rendimiento en grano, con leves aumentos en el contenido de proteína, aunque

no se lograron altos porcentajes de N en grano para ninguno de los casos. Estos resultados de baja concentración de N en grano por tanto podrían estar asociados a un efecto genotipo.

A diferencia de lo ocurrido sobre BCaN, tanto el rendimiento, así como la proteína en grano, no tuvieron ninguna relación con la cantidad N absorbido a Z 55 y cosecha, sobre el ambiente de ACaN. Estas diferencias entre ambientes, en parte se podrían deber a las pérdidas de N por retraslocación ocurridas sobre el ambiente de ACaN, consecuencia de un exceso de N agregado, en un cultivo que no lo necesitaba (Cha y Durán, 2001).

5. CONCLUSIONES

- El rendimiento en grano varió de acuerdo a la capacidad de aporte de nitrógeno del ambiente (chacra nueva vs. chacra vieja) y su interacción con las diferentes combinaciones de N a Z 22 y Z 30, y S a Z 22 y Z 30. Fue posible obtener el máximo rendimiento en grano en ambos ambientes, aunque se lograron con distintas estrategias de agregado de N y S.
- En el ambiente de muchos años de agricultura y de BCaN, fueron necesarias dosis elevadas de nitrógeno y azufre (100 kg de N.ha⁻¹ y 20 kg de S.ha⁻¹ tanto a Z 22 como a Z 30). Dosis muy superiores en relación a lo que es actualmente utilizado bajo condiciones de producción (50 kg de N.ha⁻¹ a Z 22 y Z 30).
- El cultivo creciendo en una chacra nueva, un ambiente de ACaN, logró el mayor rendimiento en grano sólo con 50 kg de N.ha⁻¹ a Z 22. Esta dosis de N, posiblemente podría coincidir con la que hubiese sido aplicado bajo condiciones comerciales siguiendo el criterio de fertilización nitrogenada propuesto para Uruguay. El uso de mayores dosis a las óptimas, tanto a Z 22 como a Z 30, condujeron a una fuerte caída en el rendimiento en grano.
- El cultivo de cebada bajo el ambiente de BCaN, evidenció un bajo crecimiento inicial y reducida absorción de N a Z 30 para todos los tratamientos. Como consecuencia fueron necesarias muy altas tasas de crecimiento y absorción de N posterior a Z 30 y hasta madurez fisiológica, para lograr la biomasa y N total a cosecha que permitieron la obtención de alto rendimiento.
- Agregados de N por encima de lo predicho por el modelo de fertilización nitrogenada para Uruguay, sobre un ambiente de ACaN, llevó a un crecimiento inicial excesivo y absorciones de N superiores al óptimo. Existiendo a posteriori cantidades de materia seca y N en planta a Z 55 muy elevados (hasta 10000 kg de MS.ha⁻¹ y 200 kg de N.ha⁻¹, respectivamente), que no se relacionaron con el rendimiento en grano obtenido.
- A Z 55, los tratamientos en el ambiente de ACaN que presentaron una mayor concentración de N en planta, fueron los que finalizaron con menos N a cosecha, consecuencia de las pérdidas por retraslocación, del orden de -0.78 kg de N.ha⁻¹ por cada kg adicional por encima de los 82 kg de N.ha⁻¹ absorbidos a Z 55. Mientras que sobre el ambiente de BCaN existió para la mayoría de los tratamientos absorción de N post Z 55, que en promedio resultó en mayor contenido a cosecha (aumentando hasta 60 kg de N.ha⁻¹ absorbidos) y mayor rendimiento en grano (en promedio 800 kg.ha⁻¹ a más de grano).

- Mayores cantidades de N agregadas, permitieron incrementar el contenido de proteína en grano para ambos ambientes. Sin embargo, el contenido final de proteína en grano termina siendo bajo en ambos casos. Alcanzando valores máximos de 9,8 % y 10,4 % para BCaN y ACaN, respectivamente.

6. RESUMEN

La agricultura de granos en el Uruguay de la última década del siglo XX, se realizó en rotación con pasturas, pero entrado el nuevo siglo se vuelve más intensiva, y desaparecen las pasturas de la rotación. Este sistema de agricultura continua trajo como consecuencias disminuciones paulatinas en la capacidad de aporte de N y S, reducción del incremento del rendimiento en grano del trigo y cebada a nivel nacional y aumento en el uso de insumos. En este sentido, el objetivo del trabajo fue estudiar la respuesta al N y S en cebada cervecera, en un mismo suelo con dos ambientes dados por diferencias en la edad de chacra (cabeza de rotación, posterior a dos años de semillero de *Lotus corniculatus* y chacra vieja con 9 años de agricultura continua). El experimento se instaló en un predio comercial ubicado en la zona de influencia de la ciudad de Dolores sobre un suelo brunosol subéutrico típico, perteneciente a la unidad de suelo Cañada Nieto. Se instalaron dos experimentos uno en cada ambiente, en el cual se ubicaron 12 tratamientos en combinaciones de N a Z 22 y Z 30 (0, 50, 100 kg.ha⁻¹) y S a Z 22 (0, 15 kg.ha⁻¹), más un testigo absoluto (sin agregado de nutrientes) y uno sin limitantes nutricionales. La principal hipótesis planteada fue: el rendimiento en grano diferencial atribuible a la edad de chacra se logra reducir mediante el agregado extra de fertilizantes, en chacras de menos de 10 años de agricultura, en suelos de alta aptitud agrícola. Durante el transcurso del experimento las condiciones climáticas fueron de precipitaciones y temperatura por encima de la media histórica. Dada las diferencias en la historia agrícola entre ambientes, y basado en que las propiedades físicas del suelo no estaban a un nivel limitante para el crecimiento del cultivo, por lo que rendimiento en grano, absorción de N y S, y crecimiento fueron mayormente atribuidas a las diferencias en la capacidad de aporte de nitrógeno. El ambiente de baja capacidad de aporte de N (BCaN), bajo agricultura continua, aportó (41 kg de N.ha⁻¹) un 43% del N suministrado por el suelo para la condición de alta capacidad de aporte de N (ACaN), del suelo cebada cabeza de rotación (92 kg de N.ha⁻¹). Independientemente del estadio, la respuesta en el rendimiento aumentó cuando el agregado de N se incrementó por encima de los 100 kg de N.ha⁻¹, hasta los 200 kg.ha⁻¹ con S, para el ambiente de BCaN. Para ACaN el mayor rendimiento en grano se alcanzó con baja dosis de N, obteniéndose un rendimiento igual al máximo logrado en BCaN con tan solo 50 kg de N.ha⁻¹. A partir de este punto, el rendimiento sobre el ambiente de ACaN decayó a medida que se incrementó la dosis de N, y más tempranamente en el ciclo. Además de las diferencias en el rendimiento en grano, las características de los ambientes provocaron diferencias en el nivel de crecimiento del cultivo a favor del ambiente de ACaN, durante todo el ciclo. Solamente se pudo apreciar la reducción de la brecha en crecimiento a partir de Z 55, por lo que resulta posible lograr adecuados niveles de crecimiento en ambientes de baja disponibilidad, pero a un nivel muy alto de fertilización. El mayor aporte de N por

parte del suelo en ACaN, junto a las re fertilizaciones de Z22 y Z30 determinó altas cantidades de N en planta a Z55, el cual se perdió en gran parte a cosecha ($-0.78 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ por cada kg adicional absorbido por encima de los $82 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ absorbidos a Z 55), no traduciéndose en un mayor porcentaje de proteína en el grano. Al contrario, en BCaN, el cultivo siguió absorbiendo N hasta MF, incrementando el contenido de proteína en grano, aunque el contenido final termina siendo bajo, al igual que para el ambiente de ACaN

Palabras clave: Cebada; Rotación; Nitrógeno; Pastura; Crecimiento; Absorción.

7. SUMMARY

Historically grains agriculture in Uruguay was carried out in rotation with pastures, but the new century entered a rise in grain prices determined that this become more intensive, leaving aside the pastures in rotation. This continuous agriculture brought about gradual decreases in yields and an increase in the use of inputs. In order to find an outlet for this problem, a trial was carried out on a commercial farm in the barley crop, which part of the crop came from a rotation without pastures, and part of it rotation head post pasture. On this, two experiments were carried out in each site, in which 14 treatments with variable doses and times of application, of different N and S were installed and with three repetitions each. The main hypotheses are based on whether or not there is a yield gap attributable to the age of the farm and if this is reduced by the extra fertilizer aggregate. During the course of the experiment climatic conditions were not the most adequate to achieve high yields, characterized by precipitation and temperature above the historical average, but nevertheless the average yield of the zone represented barely 31% of the obtained in the Chakra, which proved that this was a very good production environment. Although the agricultural history for each site was different, the physical properties of the soil were not limiting for the growth of the crop, so the differences in growth and yield were determined by the capacity of nitrogen supply of each place, being for the Site of continuous agriculture (BCaN) 43% of the contributed for the barley head rotation condition (ACaN). These differences in nitrogen supply determined that for the same treatment the effect generated for each environment was very different, those treatments that involved higher doses of N with the accompaniment of S represented the highest yields for BCaN and represented the highest values Of yield in the experiment; However for ACaN the best treatments were those involving low doses of N, and yield declined as the input was added to a greater extent, and earlier in the cycle. The cause of this fall in yield under conditions of high N contribution by soil and by fertilization was justified by an excessive initial growth of the plots, where the high accumulation of biomass in early stages determined a high competition between Stems and a decrease in their fertility, which limited the yield., Instead for the other site the growth was limited by lack of N and an addition of this in high amounts with the accompaniment of sulfur stimulated the growth in later stages Which contributed to the performance. The higher contribution of N by the soil, added to the re-fertilization of Z22 and Z30 increased the absorbed amounts of N in ACaN and being the treatments of lower yield, those that took more nitrogen and did not present high protein contents given by A genetic trait of the cultivar, these had large losses of N pos Z55, unlike what happened in BCaN, where high fertilization and high yield treatments continued to absorb N even in stages after Z 55 without increase in protein content in grain.

Key words: Barley; Rotation; Nitrogen; Pasturage; Increase; Absorption.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ackermann, P.; Gasparri, N. 2011. Efecto de la intensidad de uso agrícola del suelo sobre el balance de nitrógeno, fósforo y potasio. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 86 p.
2. Alkier, A. C.; Racz, G. J.; Soper, R. J. 1972. Effects of foliar and soil-applied nitrogen and soil nitrate-nitrogen level on the protein content of neepawa wheat. Canadian Journal of Soil Science. 52: 301-309.
3. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
4. Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. Montevideo, INIA. 27 p. (Serie Técnica no. 24).
5. Bulman, P.; Smith, D. L. 1994. Post-heading nitrogen uptake, retranslocation, and partitioning in spring barley. Crop Science. 34: 977-984.
6. Castro, A.; Hoffman, E.; Ernst, O. 1994. Potencial de producción de cebada cervecera. Potencial nacional y limitantes para su superación. Cangüé. no. 1: 18-21.
7. Castro, G.; Macchi, H.; Ramírez, C. 1997. Contenido de nitrógeno durante el crecimiento de trigo y cebada. Herramientas para determinar las necesidades nutritivas del cultivo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 99 p.
8. Centurión, H.; Chinazzo, M. 2012. Rendimiento alcanzable en trigo en función de los años de agricultura; relevamiento de chacras. Tesis Ing. Agr. Uruguay. Facultad de Agronomía. 64 p.
9. Cha, G.; Durán, J. 2001. Respuesta al agregado de N tardío (Z 30 y Z 47) en rendimiento y calidad de trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 92 p.

10. Daigger, L.; Sander, D.; Peterson, G. 1976. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation. *Agronomy Journal*. 68: 815-818.
11. Díaz, R.; Rubio, V.; García-Lamothe, A.; Quincke, A. s.f. Efectos de la variabilidad climática en la producción de trigo y medidas de adaptación para reducir riesgos. (en línea). Colonia de Sacramento, SUCS. 6 p. Consultado 5 jun. 2015. Disponible en https://www.google.com.uy/search?q=Efectos+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+en+la+producci%C3%B3n+de+trigo+y+medidas+de+adaptaci%C3%B3n+para+reducir+riesgos&rlz=1C1GNAM_e_sUY685UY685&oq=Efectos+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+en+la+producci%C3%B3n+de+trigo+y+medidas+de+adaptaci%C3%B3n+para+reducir+riesgos&ags=chrome..69i57.4224j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8
12. Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. Fertilizer best management practices general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs. regulations. *In*: IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (1st., 2007, Brussels, Belgium). Proceedings. Paris, International Fertilizer Industry Association. pp. 1-28.
13. Ernst, O.; Siri Prieto, G. 2009. Manejo del suelo y rotación con pasturas; efecto sobre rendimiento de cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (1º., 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 125-140.
14. _____.; Siri, G.; Ackermann, P.; Gasparri, N. 2012. Balance aparente de N, P y K en función de la intensidad de uso del suelo por la agricultura. *Cangüé*. no. 32: 1-7.
15. _____. 2013. Denunciando el presente, imaginando el futuro. *Cangüé*. no. 34: 2-11.
16. _____.; Kemanian, A. R.; Mazzilli, S. R.; Cadenazzi, M.; Dogliotti, S. 2016. Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity. *Field Crops Research*. 186: 107-116.

17. Ferraris, G. N. 2007. Nitrógeno y azufre en trigo; un caso particular de interacción entre nutrientes. INTA Rafaela. Publicación miscelánea no. 107: 35-44.
18. García, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Montevideo, INIA. 58 p. (Serie Técnica no. 144).
19. _____; Quincke, A. 2013. Herramientas para un manejo inteligente en trigos y cebadas. *In*: Jornada Cultivos de Invierno (2013, Young, Uruguay). Manejando eficientemente la fertilización en trigo. Montevideo, INIA. pp. 43-48 (Actividades de Difusión no.720).
20. Gooding, M. J.; Davies, W. P. 199. Foliar application of cereals; a review. *Fertilizer Research*. 32: 209-222.
21. Golik, S. I.; Chidichimo, H. O.; Pére, D.; Pane, L. 2003. Acumulación, removilización, absorción postantesis y eficiencia de utilización de nitrógeno en trigo bajo diferentes labranzas y fertilizaciones. (en línea). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 38(5): 619-626. Consultado 5 jun. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n5/18175>.
22. Guohuna, M.; LI, T.; Fusuo, Z.; Jianhua, Z. 2000. Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size?. *Field Crops Research*. 68: 183-190.
23. Harper, L.; Sharpe, R. R.; Langdale, G. W.; Giddens, J. E. 1987. Nitrogen cyclin in a wheat crop; soil, plant, and aerial nitrogen transport. *Agronomy Journal*. 79: 965-973.
24. Hoffman, E.; Ernst, O.; Brassetti; Siri, G.; Espasandin, A. 1992. Modificación por manejo de la curva de crecimiento, su influencia sobre el rendimiento, componentes y calidad industrial de cebada cervecera. . *In*: Reunión Nacional de Investigadores de Cebada Cervecera (3^a, 1992, Minas, UY). Efecto de las prácticas de manejo sobre rendimiento y calidad. Montevideo, INIA. pp. 124-133.
25. _____; _____. 1996. Refertilización en cebada cervecera. *Cangüé*. no. 6: 7-11.

26. _____.; _____.; Perdomo, C. 1999. Ajuste de la fertilización nitrogenada en trigo en función de indicadores objetivos y su efecto en rendimiento y calidad de grano. *In*: Jornada sobre Rendimiento y Calidad de Trigo (1^a., 1999, Mercedes). Resúmenes. Mercedes, Mesa Nacional de Trigo. pp. 19-27.
27. _____.; Castro, A. 2007. Alta proteína en cebada cervecera; ¿siempre la podemos evitar?. *Cangüé*. no. 29: 25-31.
28. _____.; Ernst, O.; Perdomo, C.; Bordoli, M.; Pons, C.; Pastorini, M.; Borghi, E. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 46: 13-18.
29. _____.; Perdomo, C. 2011. Manejo del nitrógeno en cereales de invierno, en un escenario de cambios del sistema agrícola uruguayo. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (2^o., 2011, Paysandú). No se llega si no se sabe a dónde ir. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 45-60.
30. _____.; Fassana, N.; Perdomo, C. 2013. Manejo de nitrógeno en cereales de invierno ¿agregando más nos estamos quedando cortos?. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (3^o., 2013, Paysandú). No se llega si no se sabe a dónde ir. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 51-60.
31. _____.; _____.; Ernst, O.; Mazzilli, S.; Berger, A. 2015. La productividad parcial de los nutrientes. La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (4^o., 2015, Paysandú). Buscando el camino para la intensificación sostenible para la agricultura. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 131-137.
32. Kanwarpal, S. D.; Wainas, J. G. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science*. 29: 1232-1239.
33. Kemanian, A.; Leites, L. 1996. Crecimiento inicial y absorción de nutrientes de cebada cervecera bajo distintos niveles de compactación, temperatura y disponibilidad de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 84 p.

34. Mazzilli, S. 2004. Efecto de la dosis de nitrógeno y fuentes alternativas a la urea sobre la absorción, crecimiento y rendimiento en grano de trigo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 68 p.
35. _____; Hoffman, E. 2008. Fuentes de N alternativas a la urea. ¿En qué situaciones pueden marcar la diferencia en los cultivos de invierno en Uruguay? Cangüé. no. 30: 45-48.
36. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Cebada cervecera; área sembrada, producción y rendimiento, por año agrícola, según tamaño de chacra. Montevideo. 198 p.
37. Magliano, P.; Prystupa, P.; Gutiérrez, F. H. 2014. Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. no. 14: 14-17.
38. Navas, L. M.; González, F.; Gómez, J.; Ruiz, G.; Barreiro, P.; Sánchez, A.; Diezma, B.; Báguena, E.; Garrido, M. 2010. Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada. (en línea). Madrid, IDEA. 44 p. (Serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura no. 6) Consultado 5 jun. 2016. Disponible en http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10418_Fertilizacion_nitrogenada_07_e65c2f47.
39. Oscarson, P.; Lundborg, T.; Larsson, M.; Larsson, C. M. 1995. Genotypic differences in nitrate uptake and nitrogen utilization for spring wheat grown hydroponically. Crop Science. 32: 1056-1062.
40. Palta, J. A.; Fillery, I. R. 1993a. Nitrogen accumulation and remobilization in wheat of ¹⁵N – urea applied to a duplex soil at seeding. Australian Journal of Experimental Agriculture. 33(2): 233-238.
41. _____; _____. 1993b. Postanthesis remobilization and losses of nitrogen in wheat in relation to applied nitrogen. Plant and Soil. 155: 179-181.
42. Perdomo, C.; Bordoli, J. M. 1999. Ajuste de la fertilización nitrogenada en trigo y su relación con el contenido de proteína en grano. In: Jornada sobre Rendimiento y Calidad de Trigo (1ª., 1999, Mercedes). Resúmenes. Mercedes, Mesa Nacional de Trigo. pp. 41-48.

43. Sainz Rozas, H. R.; Echeverria, H. E.; Angelini, H. P. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. no. 2: 6-12.
44. Salvagiotti, F.; Miralles, D. J. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*. 28(3): 282-290.
45. _____; Castellarin, J. M.; Miralles, D. J.; Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113(2): 170-177.
46. Sarandon, S. J.; Gianibelli, M. C. 1990. Effect of foliar urea spraying and nitrogen application at sowing upon dry matter and nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum* L). *Agronomie* 10: 183-189.
47. Sawchik, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. *In*: Díaz Rosselló, R. ed. *Siembra directa en el cono Sur*. Montevideo, PROCISUR. pp. 323-345.
48. Snyder, C. S.; Bruulsema, T. W.; Jensen, T. L.; Fixer, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133(3-4): 247-266.
49. Van Sanford, D. A; Mackown, C. T. 1987. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Field Crop Science Research*. 27(2): 295-300.
50. Vera, J. A.; Grageda, O. A.; Vuelvas, M. A.; Peña, J. J. 2002. Absorción de nitrógeno (^{15}N) por el cultivo de cebada en relación con la disponibilidad de agua en "El Bajío" Guanajuato México. *Terra Latinoamericana*. 20: 57-64.
51. Verges, R. P. 2007. Cultivares de trigo del INIA; comportamiento y recomendaciones. *In*: *Jornada de Cultivos de Invierno (2008, Colonia, Uruguay)*. Resúmenes. Montevideo, INIA. pp. 1-9 (Actividades de Difusión no. 531).

9. ANEXOS

Anexo 1. ANAVA para rendimiento en grano, para todos los tratamientos, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Nueva	Modelo	18987083.40	15	1265805.56	3.02	0.0065
	Bloque	332422.06	2	166211.03	0.40	0.6767
	Tratamiento	18654661.34	13	1434973.95	3.42	0.0037
	Error	10898500.44	26	419173.09		
	Total	29885583.85	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Vieja	Modelo	19119412.94	15	1274627.53	2.18	0.0391
	Bloque	879334.05	2	439667.02	0.75	0.4810
	Tratamiento	18240078.89	13	1403082.99	2.40	0.0277
	Error	15185604.82	26	584061.72		
	Total	34305017.75	41			

Anexo 2. ANAVA para rendimiento en grano, para todos los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	45676397.53	31	1473432.18	2.94	0.0003	
Edad de chacra	7569901.19	1	7569901.19	24.99	0.0075	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	1211756.11	4	302939.03	0.60	0.6615	
Edad de chacra*Tratamiento	29595349.21	13	2276565.32	4.54	<0.0001	
Tratamiento	7299391.02	13	561491.62	1.12	0.3648	
Error	26084105.26	52	501617.41			
Total	71760502.79	83				

Anexo 3. ANAVA de regresión rendimiento en grano con biomasa total a cosecha, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Nueva	Modelo.	16176016,67	2	8088008,33	23.01	<0.0001
	Biomasa Total	8207107,57	1	8207107,57	23.35	<0.0001
	Biomasa Total ^2	7968909,10	1	7968909,10	22.67	<0.0001
	Error	13709567,18	39	351527,36		
	Total	29885583,85	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Vieja	Modelo.	27354389,78	1	27354389,78	157.42	<0.0001
	Biomasa Total	27354389,78	1	27354389,78	157.42	<0.0001
	Error	6950627,98	40	173765,70		
	Total	34305017,75	41			

Anexo 4. ANAVA de regresión rendimiento en grano con número de granos por m², según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Nueva	Modelo	28012679,03	1	28012679,03	598.27	<0.0001
	No.granos.m ²	28012679,03	1	28012679,03	598.27	<0.0001
	Error	1872904,82	40	46822,62		
	Total	29885583,85	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Vieja	Modelo	33777279,39	1	33777279,39	2560.15	<0.0001
	No.granos.m ²	33777279,39	1	33777279,39	2560.15	<0.0001
	Error	527738,36	40	13193,46		
	Total	34305017,75	41			

Anexo 5. ANAVA de regresión índice de cosecha con biomasa total a cosecha, según antecesor

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Nueva	Modelo	565.95	2	282.97	10.68	0.0002
	Biomasa Total	3.36	1	3.36	0.13	0.7236
	Biomasa Total ^2	562.59	1	562.59	21.24	<0.0001
	Error	1033.10	39	26.49		
	Total	1599.05	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Vieja	Modelo	118.85	2	59.42	4.80	0.0137
	Biomasa Total	114.47	1	114.47	9.24	0.0042
	Biomasa Total ^2	4.38	1	4.38	0.35	0.5553
	Error	482.99	39	12.38		
	Total	601.84	41			

Anexo 6. ANAVA de regresión peso de granos con número de granos por m², según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Nueva	Modelo.	27.44	1	27.44	6.79	0.0128
	No.granos.m ²	27.44	1	27.44	6.79	0.0128
	Error	161.65	40	4.04		
	Total	189.09	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Ch. Vieja	Modelo.	4.06	1	4.06	3.85	0.0567
	No.granos.m ²	4.06	1	4.06	3.85	0.0567
	Error	42.23	40	1.06		
	Total	46.30	41			

Anexo 7. Contrastes ortogonales para rendimiento en grano, para iguales dosis de N agregado según ambiente

N total*Edad de chacra	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
0	1473.09	578.28	3254995.12	1	3254995.12	6.64	0.0139
50	1764.46	578.28	4669976.66	1	4669976.66	9.31	0.0036
100	-1238.26	817.82	1149961.43	1	1149961.43	2.29	0.1361
150	-2377.00	817.82	4237588.43	1	4237588.43	8.45	0.0054
200	-626.46	578.28	588678.53	1	588678.53	1.17	0.2837
Total			13901200.17	5	2780240.03	5.54	0.0004

Anexo 8. Contraste ortogonal para rendimiento en grano, 50 kg de N ACaN contra 100 kg de N y 150 kg de N BCaN.

N total*Edad de chacra	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
50 vs. 100:150	2243.93	734.18	3021137.68	1	3021137.68	9.34	0.0049
Total	2243.93	734.18	3021137.68	1	3021137.68	9.34	0.0049

Anexo 9. Contrastes ortogonales para rendimiento en grano, para iguales dosis de N agregado, con y sin S, para cada ambiente

Ambiente	N + S	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	50	767.58	523.35	883765.51	1	883765.51	2.15	0.1529
	100	96.18	370.06	27752.06	1	27752.06	0.07	0.7967
	150	-321.59	370.06	310262.82	1	310262.82	0.76	0.3917
	200	438.80	523.35	288819.97	1	288819.97	0.70	0.4084
	Total			1510600.37	4	377650.09	0.92	0.4657
Ambiente	N + S	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	50	56.08	599.19	4716.97	1	4716.97	0.01	0.9261
	100	-83.45	423.69	20891.25	1	20891.25	0.04	0.8452
	150	-324.24	423.69	315398.03	1	315398.03	0.59	0.4501
	200	-1099.73	599.19	1814111.70	1	1814111.7	3.37	0.0764
	Total			2155117.95	4	538779.49	1.00	0.4227

Anexo 10. ANAVA para biomasa a Z 30 para cada ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	6532069,46	15	348377.04	1.56	0.1596
	Bloque	337941,66	2	135176.66	0.61	0.5534
	Tratamiento	6194127,80	13	381177.05	1.71	0.1233
	Error	6685376,34	24	222845.88		
	Total	13217445,80	39			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	1789612,54	15	119307,50	1.01	0.4736
	Bloque	77826,65	2	38913,32	0.33	0.7219
	Tratamiento	1711785,90	13	131675,84	1.12	0.3892
	Error	3066406,89	26	117938,73		
	Total	4856019,44	41			

Anexo 11. ANAVA para biomasa a Z 30 para todos los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	60192982,28	31	1941709,11	9.96	<0.0001	
Edad de chacra	51871300,28	1	51871300,28	499	<0.0001	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	415768,30	4	103942,08	0.52	0.7171	
Edad de chacra*Tratamiento	3712004,71	12	285538,82	1.83	0.0982	
Tratamiento	4193908,99	12	322608,38	1.65	0.1016	
Error	9751783,23	50	195035,66			
Total	69944765,52	81				

Anexo 12. Contrastes ortogonales para biomasa a Z 30, por grupos de tratamientos.

Ambiente	Trat. Z22	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	0 vs. fertilizado	-3005.34	1638.66	988229.01	1	988229.01	3.36	0.0760
	0 vs. 50	-358.50	367.28	279927.06	1	279927.06	0.95	0.3363
	50 vs. 100 + 100(S)	-59.16	466.83	4717.90	1	4717.90	0.02	0.9000
	50 vs. SLN	-827.61	367.28	1491812.62	1	1491812.62	5.08	0.0312
	Total			2824240.07	4	706060.02	2.40	0.0702
Ambiente	Trat. Z22	Contraste	E.E.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	0 vs. fertilizado	-2730.56	1022.59	818334.18	1	818334.18	7.13	0.0115
	0 vs. 50	-539.81	225.85	655650.08	1	655650.08	5.71	0.0225
	50 vs. 100 + 100(S)	41.67	276.61	2604.17	1	2604.17	0.02	0.8812
	50 vs. SLN	-80.56	225.85	14600.69	1	14600.69	0.13	0.7235
	Total			823155.50	4	205788.87	1.79	0.1530

Anexo 13. ANAVA para biomasa a Z 55 para cada ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	16898853,29	15	1126590,22	0.70	0.7576
	Bloque	314079,65	2	157039,82	0.10	0.9068
	Tratamiento	16584773,64	13	1275751,82	0.80	0.6566
	Error	41556652,76	26	1598332,80		
	Total	58455506,05	41			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	61110280,53	15	4074018,70	2.26	0.0329
	Bloque	269076,03	2	134538,01	0.07	0.9282
	Tratamiento	60841204,50	13	4680092,65	2.60	0.0185
	Error	46844848,44	26	1801724,94		
	Total	107955128,97	41			

Anexo 14. ANAVA para biomasa a Z 55 para todos los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	128311577,91	31	4139083,16	2.42	0.0022	
Edad de chacra	50302444,10	1	50302444,10	345	<0.0001	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	583155,67	4	145788,92	0.09	0.9865	
Edad de chacra*Tratamiento	17716428,63	13	1362802,20	0.80	0.6555	
Tratamiento	59709549,51	13	4593042,27	2.70	0.0056	
Error	88401501,20	52	1700028,87			
Total	216713079,12	83				

Anexo 15. Contrastes ortogonales para biomasa a Z 55 para los tratamientos testigos, testigos tecnológicos y SLN, según ambientes.

Ambiente	Trat. Z22	Contraste	E.E.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
ACaN	0 vs. fertilizado	-6131.37	3997.92	3759372.93	1	3759372.93	2.35	0.1372
	0 vs. 50	-1320.10	1032.26	2613988.25	1	2613988.25	1.64	0.2122
	50 vs. SLN	19.61	1032.26	576.70	1	576.70	3.6E-0.4	0.9850
	Total			3830542.58	3	1276847.53	0.80	0.5057
Ambiente	Trat. Z22	Contraste	E.E.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
BCaN	0 vs. fertilizado	-14781.67	4244.67	21849766.94	1	21849766.94	12.13	0.0018
	0 vs. 50-50	-2531.92	1095.97	9615940.24	1	9615940.24	5.34	0.0291
	50-50 vs. SLN	-1911.27	1095.97	5479455.38	1	5479455.38	3.04	0.0930
	Total			30151227.53	3	10050409.18	5.58	0.0043

Anexo 16. ANAVA para biomasa a Z 55 para los tratamientos testigos, testigo tecnológico y SLN, entre ambientes.

N total*Ambiente	Contraste	E.E.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
0 (ACaN) vs. 0 (BCaN)	2844.18	1064.59	12134009.69	1	12134009.69	7.14	0.0101
0 (ACaN) vs. TT (BCaN)	312.25	1064.59	146254.69	1	146254.69	0.09	0.7705
TT (ACaN) vs. TT (BCaN)	1483.82	1064.59	3302598.40	1	3302598.40	1.94	0.1693
TT (ACaN) vs. SLN (BCaN)	-427.45	1064.59	274071.51	1	274071.51	0.16	0.6897
0 (ACaN) vs. SLN (BCaN)	-1599.02	1064.59	3835295.56	1	3835295.56	2.26	0.1391
SLN (ACaN) vs. SLN	-298.53	1064.53	133679.71	1	133679.71	0.08	0.7803

(BCaN)							
Total			41004373.66	5	8200874.73	4.82	0.0011

Anexo 17. ANAVA para paja a cosecha para cada ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	18847706,14	15	1256513,74	0.97	0.5097
	Bloque	1017951,81	2	508975,90	0.39	0.6790
	Tratamiento	17829754,34	13	1371519,56	1.06	0.4320
	Error	33682129,08	26	1295466,50		
	Total	52529835,22	41			
Ambiente	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
BCaN	Modelo	65899323,14	15	4393288,21	2.78	0.0107
	Bloque	909808,98	2	454904,49	0.29	0.7221
	Tratamiento	64989514,17	13	4999193,40	3.17	0.0060
	Error	41063370,15	26	1579360,39		
	Total	106962693,29	41			

Anexo 18. ANAVA para paja a cosecha para todos los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	93663592,68	31	3021406,22	2.1	0.0088	
Edad de chacra	8916563,39	1	8916563,39	18.5	0.0126	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	1927760,78	4	481940,20	0.34	0.8530	
Edad de chacra*Tratamiento	29091937,99	13	2237841,38	1.56	0.1290	
Tratamiento	53727330,52	13	4132871,58	2.88	0.0024	
Error	74745499,22	52	1437413,45			
Total	168409091,90	83				

Anexo 19. ANAVA nitrógeno absorbido a Z 30 para cada ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	7465.45	15	497.70	1.37	0.2400
	Bloque	458.49	2	229.25	0.63	0.5412
	Tratamiento	7006.95	13	538.99	1.48	0.1957
	Error	8734.78	24	363.95		
	Total	16200.22	39			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	5627.415	15	375.17	1.97	0.0653
	Bloque	51.3	2	25.65	0.13	0.8748
	Tratamiento	5576.12	13	428.93	2.25	0.0397
	Error	4769.58	25	190.79		
	Total	10396.99	40			

Anexo 20. ANAVA para nitrógeno absorbido a Z 30 para todos los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	101136,09	31	3262,45	7.74	<0.0001	
Edad de chacra	82453,59	1	82453,59	346.7	<0.0001	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	951,18	4	237,80	0.56	0.6897	
Edad de chacra*Tratamiento	5468,36	13	420,64	1.00	0.4674	
Tratamiento	12262,96	13	943,30	2.24	0.0214	
Error	20649,27	49	421,41			
Total	121785,36	80				

Anexo 21. ANAVA nitrógeno absorbido a Z 55 para cada ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	13178.62	15	878.571	2.01	0.0571
	Bloque	1016.83	2	508.41	1.16	0.3279
	Tratamiento	12161.79	13	935.52	2.14	0.0476
	Error	11354.37	26	436.71		
	Total	24532.99	41			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	33921,12	15	2261,41	9.14	<0.0001
	Bloque	1697,84	2	848,92	3.43	0.0496
	Tratamiento	32223,28	13	2478,71	10.02	<0.0001
	Error	5688,34	23	247,32		
	Total	39609,46	38			

Anexo 22. ANAVA para nitrógeno absorbido a Z 55 para todos los tratamientos, según antecesor

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	67764,71	31	2185,96	5.85	<0.0001	
Edad de chacra	19200,68	1	19200,68	27.16	0.0065	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	2827,65	4	706,91	1.89	0.1267	
Edad de chacra*Tratamiento	3246,75	13	249,75	0.67	0.7830	
Tratamiento	42489,63	13	3268,43	8.75	<0.0001	
Error	18304,31	49	373,56			
Total	86069,02	80				

Anexo 23. ANAVA nitrógeno absorbido a madurez fisiológica (paja+grano) para cada ambiente

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	7605,23	15	507,02	1.96	0.0642
	Bloque	373,11	2	186,55	0.35	0.4958
	Tratamiento	7232,12	13	556,32	2.15	0.0469
	Error	6729,30	26	258,82		
	Total	14334,53	41			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	29176,78	15	1945,12	6.85	<0.0001
	Bloque	197,36	2	98,68	0.35	0.7100
	Tratamiento	28979,42	13	2229,19	7.85	<0.0001
	Error	6529,55	23	283,89		
	Total	35706,33	38			

Anexo 24. ANAVA para nitrógeno absorbido a madurez fisiológica (paja+grano) para todo los tratamientos, según antecesor.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor	(Error)
Modelo	37063,23	31	1195,59	4.42	<0.0001	
Edad de chacra	281,21	1	281,21	1.97	0.2329	(Edad de chacra>Bloque)
Edad de chacra >Bloque	570,47	4	142,62	0.53	0.7163	
Edad de chacra*Tratamiento	13370,28	13	1028,48	3.80	0.0003	
Tratamiento	22841,27	13	1757,02	6.49	<0.0001	
Error	13258,85	49	270,59			
Total	50322,08	80				

Anexo 25. ANAVA de regresión rendimiento en grano con nitrógeno absorbido a Z 55, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo.	2709475,55	1	2709475,55	3.99	0.0527
	N absorbido a Z 55	2709475,55	1	2709475,55	3.99	0.0527
	Error	27176108,30	40	679402,71		
	Total	29885583,85	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo.	12393012,51	1	12393012,51	22.06	<0.0001
	N absorbido a Z 55	12393012,51	1	12393012,51	22.06	<0.0001
	Error	20784846,01	37	561752,59		
	Total	33177858,52	38			

Anexo 26. ANAVA de regresión rendimiento en grano con nitrógeno total absorbido a MF, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo.	2484016,95	1	2484016,95	3.63	0.0641
	N total a MF	2484016,95	1	2484016,95	3.63	0.0641
	Error	27401566,90	40	685039,17		
	Total	29885583,85	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo.	23347430,64	1	23347430,64	97.70	<0.0001
	N total a MF	23347430,64	1	23347430,64	97.70	<0.0001
	Error	8842186,72	37	238978,02		
	Total	32189617,35	38			

Anexo 27. ANAVA de regresión nitrógeno total absorbido a MF con nitrógeno absorbido a Z 55, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo.	1328,52	1	1328,52	4.09	0.0500
	N absorbido a Z 55	1328,52	1	1328,52	4.09	0.0500
	Error	13006,01	40	325,15		
	Total	14334,53	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo.	16576,86	1	16576,86	31.33	<0.0001
	N absorbido a Z 55	16576,86	1	16576,86	31.33	<0.0001
	Error	17988,62	34	529,08		
	Total	34565,48	35			

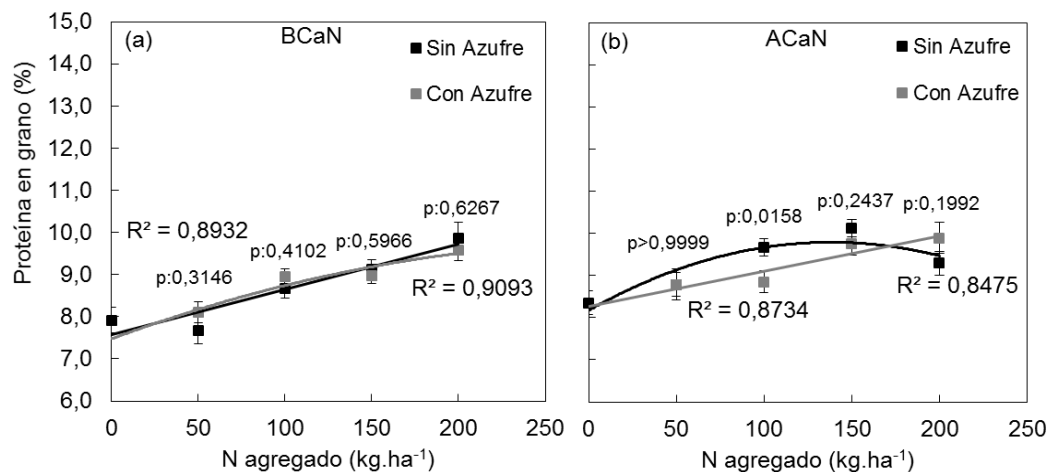
Anexo 28. ANAVA de regresión variación de nitrógeno absorbido post Z 55-MF con nitrógeno absorbido a Z 55, según antecesor.

Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo.	16551,80	1	16551,80	50.91	<0.0001
	N absorbido a Z 55	16551,80	1	16551,80	50.91	<0.0001
	Error	13006,01	40	325,15		
	Total	29557,81	41			
Antecesor	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo.	1876,05	1	1876,05	3.55	0.0683
	N absorbido a Z 55	1876,05	1	1876,05	3.55	0.0683
	Error	17988,62	34	529,08		
	Total	19864,68	35			

Anexo 29. ANAVA proteína en grano para todos los tratamientos según ambiente.

Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
ACaN	Modelo	16,36	15	1.09	3.47	0.0027
	Bloque	0.39	2	0.19	0.62	0.5465
	Tratamiento	15.97	13	1.23	3.91	0.0015
	Error	8.17	26	0.31		
	Total	24.54	41			
Ambiente	F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
BCaN	Modelo	14.81	15	0.99	3.50	0.0035
	Bloque	0.53	2	0.27	0.94	0.4049
	Tratamiento	14.28	13	1.10	3.89	0.0022
	Error	6.50	23	0.28		
	Total	21.31	38			

Anexo 30. Contrastes ortogonales para proteína en grano (%), según el total de N agregado con y sin S, para ACaN (a) y para BCaN (b).



Anexo 31. Contenido de proteína en grano para la totalidad de los tratamientos en los dos ambientes.

Z22		Z30	PC en grano (%)	
N	S	N	BcAN	AcAN
0	0	0	7.9 cd	8.4 c
50	0	0	7.7 d	8.8 bc
		50	8.8 abcd	9.8 abc
		100	9.2 abc	9.8 abc
		0	8.1 bcd	8.8 bc
100	15	50	9.4 abc	9 abc
		100	8.8 abcd	9.8 abc
		0	8.6 abcd	9.6 abc
		50	9 abcd	10.4 a
100	15	100	9.8 a	9.3 abc
		0	8.7 abcd	8.7 bc
		50	9.1 abcd	9.7 abc
		100	9.6 ab	9.9 ab
Sin limitantes nutricionales			9.4 abc	10.4 a
Promedio			8.8	9.4
CV (%)			6.02	5.94
p-valor			0.0022	0.0015
MDS (10%)			1.55	1.5

*N y S medidos como $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nutriente aplicado en dos diferentes estadios, N y S a Z22 y N a Z30. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según Tukey para un $\alpha=0,10$

Anexo 32. Variables que explican las diferencias en rendimiento en grano para ACaN.

		ACaN				
		a	b	c	R ²	prob
Biomasa (KgMS.ha ⁻¹)	Z30	2798	1.09	-2.1E ⁻⁰⁴	0.02	0.4486
	Z55	6269	-0.6	-3.9E ⁻⁰⁵	0.01	0.6028
	Cosecha	-20566	4.07	-1.6E ⁻⁰⁴	0.54	<0.0001
N Abs. (Kg.ha ⁻¹)	Z30	4153.8	2.82	-0.03	0.03	0.7213
	Z55	5453	-9.97		0.09	0.0527
	Cosecha	-55.77	64.9	-0.24	0.10	0.3430
TCC (kgMs.ha.dia ⁻¹)	Siembra-Z30	3688	26.36	-0.36	0.02	0.4189
	Z30-Z55	5779	-34.7	0.17	0.03	0.3117
	Z55-MF	3468.6	9.92		0.14	0.0157
TaN (kg.ha.dia ⁻¹)	Siembra-Z30	4516.1	-237		0.03	0.2947
	Z30-Z55	4257.4	65.4	-267	0.03	0.4093
	Z55-MF	4535.3	1868	789.2	0.32	0.0811

(*)Biomasa acumulada por el cultivo en kgMS.ha⁻¹; N Abs. nitrógeno absorbido por el cultivo en kg.ha⁻¹; TCC tasa de crecimiento del cultivo en kgMS.ha.dia⁻¹; TaN tasa de acumulación de nitrógeno en kg.ha.dia⁻¹.

Anexo 33. Variables que explican las diferencias en rendimiento en grano para BCaN.

		BCaN				
		a	b	c	R ²	prob
Biomasa (KgMS.ha ⁻¹)	Z30	3641	1.09		0.17	0.0071
	Z55	3200	0.26		0.22	0.0018
	Cosecha	940	0.34		0.80	<0.0001
N Abs. (Kg.ha ⁻¹)	Z30	3226	39.6		0.32	0.0001
	Z55	1919	949	-0.11	0.40	0.2422
	Cosecha	1922	25.6		0.73	<0.0001
TCC (kgMs.ha.dia ⁻¹)	Siembra-Z30	2987	147	-2.28	0.18	0.4168
	Z30-Z55	3679	9.53	0.02	0.17	0.8717
	Z55-MF	3912	1.11	0.05	0.40	0.2241
TaN (kg.ha.dia ⁻¹)	Siembra-Z30	3362	2183		0.32	0.0001
	Z30-Z55	3178	1819	-366	0.26	0.3548
	Z55-MF	4497	278	245	0.08	0.5024

(*)Biomasa acumulada por el cultivo en kgMS.ha⁻¹; N Abs. nitrógeno absorbido por el cultivo en kg.ha⁻¹; TCC tasa de crecimiento del cultivo en kgMS.ha.dia⁻¹; TaN tasa de acumulación de nitrógeno en kg.ha.dia⁻¹.