



T. 2988

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO TARDIO (Z 3.0  
Y Z 4.7) EN RENDIMIENTO Y CALIDAD EN TRIGO  
(*Triticum aestivum*)**

por

Gastón Fermín CHA BADANO  
José María DURAN MANZONI

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2001

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS.....	IV
I. <u>INTRODUCCION</u> .....	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> .....	3
A. INTRODUCCION.....	3
B. RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO.....	4
1. <u>Respuesta al agregado de nitrógeno en siembra y Z 2.2</u> .....	4
2. <u>Respuesta al agregado de nitrógeno en Z 3.0</u> .....	6
3. <u>Respuesta al agregado de nitrógeno en Z 4.7</u> .....	8
C. INDICADORES DE RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO EN DIFERENTES ESTADIOS DEL CULTIVO.....	10
1. <u>Indicadores a siembra y Z 2.2</u> .....	10
a. Indicadores en suelo.....	10
2. <u>Indicadores a Z 3.0</u> .....	12
a. Indicadores en suelo.....	12
b. Indicadores en planta.....	12
3. <u>Indicadores del agregado de Nitrógeno tardío (Z 4.0-4.7)</u> .....	14
a. Nitrógeno en planta.....	14
D. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ABSORCIÓN Y TRASLOCACION DE NITROGENO EN EL PERIODO DE ENCAÑAZON Y LLENADO DE GRANO.....	15
1. <u>Absorción de nitrógeno pre-antesis</u> .....	16
2. <u>Absorción de nitrógeno post-antesis</u> .....	17
3. <u>Eficiencia de uso del nitrógeno</u> .....	19
4. <u>Retraslocación</u> .....	22
a. Relación entre la acumulación de nitrógeno pre-antesis y la absorción post-antesis.....	24
b. Relación entre la absorción de nitrógeno post-espigazón y su relación con la retraslocación.....	25
c. Eficiencia de retraslocación.....	27
d. Pérdidas de nitrógeno desde antesis hasta madurez.....	27
e. Retraslocación, pérdidas de carbono, nitrógeno y su relación con el déficit hídrico post-antesis.....	29
5. <u>Factores que afectan la absorción, retraslocación de nitrógeno y el             contenido de proteína en grano</u> .....	31
a. Temperatura y agua.....	31
b. Genotipo.....	33
III. <u>MATERIALES Y METODOS</u> .....	35
A. INTRODUCCION.....	35

	B. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
	C. DETERMINACIONES.....	36
	D. ANALISIS ESTADISTICO.....	37
IV.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	39
	A. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL AÑO.....	39
	B. RENDIMIENTO Y PROTEÍNA EN GRANO EN RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO A Z 3.0 Y Z 4.7.....	42
	1. <u>Introducción</u> .....	42
	2. <u>Respuesta al agregado de N en Z 3.0</u> .....	49
	a. Análisis de la respuesta al agregado de N según el Modelo de Baethgen.....	51
	3. <u>Respuesta al agregado de N en Z 4.7</u> .....	56
	a. Indicadores del agregado de N en Z 4.7.....	60
	C. RELACION ENTRE EL CRECIMIENTO, ABSORCION DE N DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO Y LAS PERDIDAS DE N.....	63
	1. Crecimiento y absorción de N a Z 4.7.....	66
	a. Factores que afectan el crecimiento y la absorción de N.....	66
	b. Relación entre el crecimiento y la absorción de N a Z 4.7 con el rendimiento y porcentaje de proteína en grano.....	71
	2. Crecimiento y pérdidas de N post-Z 4.7 y su relación con el rendimiento y proteína en grano.....	72
V.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	81
VI.	<u>RESUMEN</u> .....	83
VII.	<u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	85
VIII.	<u>ANEXOS</u> .....	90

Tesis aprobada por:

Director:

---

Nombre completo y Firma

---

Nombre completo y Firma

---

Nombre completo y Firma

Fecha:

Autor:

---

Nombre completo y Firma

---

Nombre completo y Firma

**AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director de tesis Ing. Agr. Esteban Hoffman, por su confianza depositada en nosotros a la hora de realizar este trabajo.

Al Ing. Agr. Carlos Perdomo, por sus aportes realizados.

Al Ing. Agr. Miguel Pastorini por su valiosa colaboración en el relevamiento y compilación de la información.

A Leonardo Gonzalez (encargado del campo experimental de Mejoramiento Genético de Cebada Cervecera en la EEMAC), por su valiosa disposición y ayuda en todos los trabajos de laboratorio realizados.

A los Ing. Agr. Edwin Borghi y Andrea Benítez, por su buena onda, hospedaje y consejos aportados.

A nuestros padres (Pedro, Mirtha, Bernardo y Alma), hermanas (Bettina, Clara, Eleonora y Adriana), y novias (Ileana y Alejandra) por su apoyo incondicional y por ser como son.

Al Bocha y al petizo Panduli, por su buena onda y disposición.

A toda la cátedra de Cereales y Cultivos Industriales, por la buena onda y su colaboración en este trabajo.

Al grupo 5 (IV año 1999), y a todos nuestros amigos que siempre nos han apoyado, y nos han ayudado a crecer como personas.

A todos aquellos que de una u otra forma han ayudado en la realización de este Trabajo.

*A mi familia y a  
mi novia Ileana*

*En la memoria de mi  
amigo Hernán Moreira  
("El Peteque")*

## LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

- Figura 1: Promedio de precipitaciones y temperaturas del año 1999, y serie histórica(1961-1990) para las localidades de Paysandú, Young, Mercedes y Dolores.....39
- Figura 2: Diferencia de precipitaciones mensuales promedios entre el año 1999, y la serie histórica 1961-1990, para las localidades en estudio.....40
- Figura 3a: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Dolores.....43
- Figura 3b: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Dolores.....44
- Figura 4: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%) según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Mercedes.....45
- Figura 5a: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%) según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Young-Paysandú.....46
- Figura 5b: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Young-Paysandú. Los sitios 38 y 39 corresponden a la localidad de Paysandú.....47
- Figura 6: Incremento de rendimiento en grano (Kg/ha) a la dosis óptima de cada sitio, en función de la dosis óptima de N en Z 3.0 (0 N Z 4.7) para todas las localidades y sitios.....49
- Figura 7: Proteína en grano según la dosis óptima de N para rendimiento en grano en Z 3.0, sin agregado de N en Z 4.7.....50
- Figura 8: Proteína en grano (%) en función del rendimiento en grano (Kg/ha) y el agregado de N a Z 3.0 (0 N Z 4.7). .....51
- Figura 9: Modelo de respuesta al Nitrógeno en Z 3.0 (Baethgen 1992).....52
- Figura 10: Proporción de aciertos en la respuesta al Nitrógeno en Z 3.0 predicha por el modelo de Baetghen (1992).....53

- Figura 11: Proporción de sitios con porcentajes de proteína en grano inferior a 11.5 %, entre 11.5 y 12 %, y mayor a 12 % en función de las dosis recomendada por el modelo de Baethgen (1992) y la dosis óptima para rendimiento.....55
- Figura 12: Grafica 1, 2, 3: Relación entre el rendimiento en grano con 0 N a Z 4.7 y 30 N a Z 4.7; para todas las localidades y niveles de N a Z 3.0.....57
- Figura 13: Relación entre los componentes del rendimiento con agregado de 0 y 30 N a Z 4.7, para la localidad de Dolores.....59
- Figura 14: Grafica 1, 2, 3: Relación entre la proteína en grano con 0 N a Z 4.7 y 30 N a Z 4.7; para todas las localidades y niveles de N a Z 3.0. ....60
- Figura 15: Relación entre posibles indicadores a Z 4.7 con el rendimiento relativo (RR) y proteína relativa (PR), para todas las localidades y sitios.....61
- Figura 16: Relación entre el porcentaje de N en planta a Z 4.7 y N absorbido a Z 4.7...62
- Figura 17: Crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo para las tres localidades en estudio. En el cuadro se muestran en promedio el crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo para el promedio de todas las localidades y sitios.....63
- Figura 18: Tasas de absorción de N (Kg/ha/día) del cultivo en los diferentes subperíodos estudiados. Se presenta además la tasa de crecimiento del cultivo en Kg de Ms/ha/día.....64
- Figura 19: Tasa de crecimiento (Kg de Ms/ha/día) y absorción de N (Kg de N/ha/día) promedio para los sitios 31, 32, 33 y 34 de la localidad de Young-Paysandú.....65
- Figura 20: Relación entre el crecimiento y absorción de N en el periodo Z 3.0-Z 4.7, y en los sub-períodos Z 3.0-Z 3.3 y Z 3.3 -Z 4.7, para todas las localidades y sitios.....67
- Figura 21: Cantidad de N absorbido a Z 4.7, en función de la cantidad de N absorbido en el periodo Z 3.0-Z 4.7, y en los sub-períodos Z 3.0-Z 3.3 y Z 3.3-Z 4.7.....69
- Figura 22: Gráfica 1: Cantidad de N absorbido a Z 4.7, en función de la cantidad de N absorbido a Z 3.0, General; Gráfica 2: para todas las localidades y sitios; Gráfica 3: según la cantidad de N agregada en este estadio.....70
- Figura 23: Relación entre el porcentaje de proteína en grano con la cantidad de N absorbido a Z 4.7, para todas las localidades y sitios.....71

Figura 24: Rendimiento (Kg/ha) y proteína en grano (%), en función de la cantidad de N absorbida a cosecha según el agregado de 0 y 30 Kg de N/ha a Z 4.7, para todas las localidades y sitios.....	72
Figura 25: <u>Gráfica 1</u> : N total a cosecha en función de la cantidad de N absorbido a Z 4.7, para 0 y 30 N a Z 4.7. <u>Gráfica 2</u> : N total a cosecha y N en paja a cosecha en función de la cantidad de N absorbido a Z 4.7.....	73
Figura 26: Relación entre la cantidad de N absorbida a Z 4.7 y la variación de N posterior a este estadio, general, según la localidad, el agregado de N a Z 4.7 y a Z 3.0.....	74
Figura 27: <u>Gráfica 1</u> : Relación entre la variación de materia seca de paja (biomasa de paja a cosecha - biomasa total a Z 4.7) y variación de N post-Z4.7. <u>Gráficas 2, 3, 4</u> : Evolución de la biomasa (Kg MS/ha) en el ciclo del cultivo para las localidades en estudio.....	76
Figura 28: Relación entre el crecimiento post-Z 4.7 y la materia seca de paja a cosecha para las diferentes localidades estudiadas.....	77
Figura 29: <u>Grafica 1</u> : Relación entre la proporción del N en grano a cosecha del N vegetativo medido a Z 4.7 (Kg/ha de N en grano /Kg de N absorbidos a Z 4.7) con la variación en el N post-Z 4.7. <u>Grafica 2</u> : Relación entre el N en grano (Kg/ha) y el N total a Cosecha (Kg/ha).....	78
Figura 30: Absorción de N durante el ciclo del cultivo (Kg/ha), en función del N a Z 3.0, para el promedio de los sitios con y sin respuesta al agregado de N en este estadio.....	79
Cuadro 1: Variedades y sistema de laboreo según Localidad y sitio.....	35
Cuadro 2: Diferencia de temperatura promedio bimensual, entre el año 1999 y la serie histórica correspondiente para cada localidad.....	41
Cuadro 3: Resumen de los modelos ajustados para la respuesta en rendimiento según el agregado de N a Z 3.0 para todas las localidades y sitios.(0 N Z .47).....	48
Cuadro 4: Resumen de los modelos ajustados para la respuesta en proteína según el agregado de N a Z 3.0 para todas las localidades y sitios.....	48
Cuadro 5: Descripción de los sitios que fueron utilizados para la construcción del Modelo de Baetghen (1992), para el año en estudio(1999).....	52

Cuadro 6: Incrementos de rendimiento en grano por sobre los testigos (Kg/ha) y porcentaje de proteína, para los sitios con ajuste y respuesta al agregado de N a Z 3.0. Eficiencia de uso del N calculados para la dosis recomendada por el Modelo de Baetghen y la dosis óptima para rendimiento en grano para los sitios con ajuste que presentaron respuesta al agregado de N a Z 3.0.....54

## I. INTRODUCCION

En los últimos veinte años el rendimiento de trigo se ha incrementado a un ritmo de 3.2 %, alcanzando a 2.515 Kg/há en el último trienio, nivel destacado en la región.

La fertilización nitrogenada es uno de los factores determinantes del rendimiento y calidad en los cultivos de invierno. A pesar de esto, en la mayoría de los casos a nivel comercial, ésta se realiza utilizando criterios subjetivos basados en la interpretación de la influencia de las condiciones climáticas, historia de chacra, cultivo antecesor, etc sobre la disponibilidad de nitratos en el suelo.

Esto lleva a desconocer el balance entre lo que requiere el cultivo y el aporte por parte del suelo, determinando generalmente pérdidas de rendimiento y calidad y por consiguiente menor ingreso para el productor. Por otra parte, por tratarse de un nutriente con alta movilidad en el suelo, un manejo irracional del mismo incrementa la probabilidad de contaminación ambiental.

A lo anterior se suma, la demanda por parte de la industria de un producto de calidad. En cebada cervecera, el nivel de proteína en grano es determinante de la calidad maltera, por lo que la investigación se ha centrado en lograr identificar indicadores en momentos claves del cultivo que permitan predecir la respuesta al agregado de N (N). Esta información fue generada en nuestro país por Facultad de Agronomía, para dicho cultivo, logrando altos rendimientos y tenores de proteína en grano dentro del rango de 10.5 a 11.5%.

En trigo a partir de 1998, existe una nueva norma de comercialización que incluye en su base el nivel proteico del grano. Es reconocida la importancia del “efecto variedad” sobre los parámetros de calidad del trigo y de la harina, así como también de las dosis y momento de fertilización nitrogenada. Tomando el porcentaje de proteína en grano como estimador de la calidad, es de esperar que este sea modificado por todas aquellas variables que alteren el balance entre la oferta del nutriente y la demanda del cultivo. A su vez, el momento en que se produce el desajuste parece ser el determinante del resultado final.

Existe abundante información que muestra la importancia de tener un adecuado nivel nutricional del cultivo en Z 3.0, para asegurar rendimiento y proteína en grano. Por otro lado, agregados de N en estadios tardíos del cultivo como Z 4.7, es esperable que no afecten el rendimiento y sí el nivel de proteína en grano.

La hipótesis de trabajo es, que cuando el cultivo presenta un nivel nutricional en planta por debajo del crítico en Z 3.0 para un cierto potencial de rendimiento estimado, existe respuesta económica al agregado de fertilizante según el modelo propuesto por Baethgen, (1992) para el cultivo de cebada cervecera. Con esto se mejora el rendimiento

en grano y la cantidad y calidad de proteína obtenida. Las aplicaciones tardías en Z 4.7 determinan respuestas escasas y aleatorias en rendimiento y proteína en grano, especialmente cuando el cultivo tuvo un adecuado manejo nutricional hasta el momento de fines de macollaje (Z 3.0).

El objetivo general de este trabajo es validar en trigo el modelo de ajuste de N propuesto por Baethgen (1992) para el agregado de N a Z 3.0 en cebada cervecera, estudiando además la influencia del agregado de N en estadios avanzados del cultivo de trigo (Z 4.7) sobre rendimiento y proteína en grano.

Los objetivos específicos son: 1) conocer los factores que afectan la dinámica de N en estadios avanzados del cultivo de trigo y su relación con la respuesta al agregado de N en rendimiento y N en grano, 2) estudiar en forma preliminar la relación entre la respuesta al agregado de N tardío e indicadores que permitan predecirla.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### A. INTRODUCCIÓN

En los cultivos de invierno la falta de N determina pérdidas importantes de rendimiento y calidad. Disponibilidades mayores a las necesarias también pueden disminuirlo, ya que incrementan el riesgo de enfermedades, generan problemas de vuelco y excesivo crecimiento (Castro *et al* , 1972; Algorta y Viega, 1984, citados por Luizzi y Torres, 1982).

Hoffman y Ernst, (1992), determinaron que cuando la absorción de N hasta espigazón supera los 130 a 140 kg/ha, no se modifica el rendimiento de cebada cervecera pero se incrementa el contenido de proteína del grano. Cada aumento porcentual del contenido de proteína en grano se logró con 40 kg/ha más de N absorbidos a espigazón.

El fraccionamiento del fertilizante es un mecanismo bastante utilizado para mejorar la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado, buscando hacer coincidir los requerimientos de nutrientes con la disponibilidad de este. Si bien en momentos tempranos como siembra y Z2.2, la absorción de N por parte del cultivo es baja, se fabrica el potencial de rendimiento en el tallo principal. Existen indicadores que permiten predecir la respuesta al N en estos estadios.

Los problemas de excesivo crecimiento y el vuelco, son más frecuentes cuando se agrega a la siembra una proporción alta del total N utilizado (Perez y Díaz, 1981). En los sistemas actuales donde la siembra directa ha cobrado una mayor importancia, el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado sería aun más relevante, en la medida que existe una menor disponibilidad de N en los cultivos de invierno realizados sin laboreo, especialmente en los primeros estadios del cultivo (Ernst, 1996, Citado por Perdomo *et al* , 1999).

Tanto por su impacto a nivel de rendimiento como a nivel del contenido de N del grano, es necesario disponer de indicadores que permitan manejar este insumo en forma precisa para cada situación particular.

La necesidad de disponer de indicadores objetivos para el manejo del N, determinó que la Mesa Nacional de la Cebada aprobara un proyecto de investigación presentado por la Facultad de Agronomía en 1994, tendiente a establecer indicadores y niveles críticos para el manejo de este insumo en estadios anteriores a Z 3.0 (Perdomo *et al*, 1999).

Hoffman *et al* , (1999), realizaron un trabajo, que permitió confirmar en trigo, los niveles críticos a siembra y Z 2.2 ya establecidos para Cebada Cervecera. Similares resultados se alcanzaron en trigo por los mismos autores con el modelo propuesto por Baethgen, (1992) para Cebada Cervecera, el cual propone que la respuesta al agregado de N en este estadio es una función del contenido de N en planta y el potencial de

rendimiento a concretar. Este manejo permitió mejorar el rendimiento y calidad del grano con respecto al testigo tecnológico. Por otro lado los mismos autores observaron que aplicaciones tardías a Z 4.7, no modificaron el rendimiento en grano, ni el contenido de proteína en grano.

Los aumentos de proteína en grano se logran con una baja eficiencia, dado que la cantidad de N necesaria para aumentar 1% de proteína es elevada. Así, Hoffman y Ernst, (1992), determinaron que en cebada fue necesario 40 Kg de N/ha por encima de 130-140 Kg/ha de N absorbido a espigazón.

García (1998), trabajando en trigo observó que en estadios tardíos (Z 4.9, Z 6.5 y Z grano. Por su parte, Cooper, J.L. y Blakeney, A.B., (1990), trabajando con trigo irrigado en el sudeste de Australia observaron que cada 40 Kg. de N agregado al momento de anthesis se incrementa en 1.1% el porcentaje de proteína en grano sin afectarse el rendimiento en forma significativa.

Además la respuesta está afectada por las condiciones climáticas y se carece de indicadores objetivos que permitan predecirla, (Hoffman y Ernst, 1992).

Por las razones mencionadas se hace imprescindible el estudio de la dinámica de N en estadios posteriores a Z 3.0, su relación con estadios anteriores, así como también las causas que la afectan.

## **B. RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO**

### **1. Respuesta al agregado de N en Siembra y Z 2.2**

El primer intento por racionalizar el uso de N fue el de la Guía de Fertilización de Cultivos (Oudri *et al.*, 1976), en la cual la dosis de N a agregar se ajusta en función del tipo de suelo, historia de chacra, cultivo antecesor y contenido de materia orgánica del suelo (MOS).

Si bien no se realizó una validación de este modelo de recomendación de dosis, existe información que demuestra que la respuesta al N se asocia con las variables cualitativas que en él se manejan como edad de la chacra y tipo de rastrojo (Díaz, 1984, citado por Luizzi y Torres, 1982). Sin embargo, el único indicador cuantitativo de este modelo (MOS) no guarda por sí solo relación con la respuesta, ya que ésta, está condicionada por otras variables de manejo como historia de chacra y tipo de suelo (Capurro *et al.*, 1982). Por lo tanto es necesario interpretar el análisis en forma diferencial según la situación y el manejo anterior del suelo.

Guido y Ieudiukow, (1989) en un relevamiento de 25000 has de trigo, no encontraron relación entre la dosis de N efectivamente aplicada a la siembra y la cantidad que se debería haber usado, utilizando la Guía de Fertilización de Cultivos (Oudri, 1976). En este trabajo se observó que todas las chacras recibieron una dosis de N similar y cercana a las 30 unidades.

Esta información podría interpretarse como que el modelo de recomendación de dosis no fue adoptado en la práctica. Independientemente de lo acertado o no de esta afirmación, no parece lógico esperar que la uniformidad de dosis a la siembra sea el resultado de una igualdad en las condiciones de suministro de N del suelo (Perdomo *et al* , 1999).

Resultados similares fueron obtenidos por Perdomo y Hoffman, (1995), para las chacras en donde se instalaron los sitios experimentales del primer año de la red de fertilización nitrogenada en cebada cervecera.

Capurro *et al*, (1982), desarrollaron un modelo de ajuste de la fertilización nitrogenada a la siembra para el cultivo de cebada cervecera para la respuesta esperable al agregado de N. La misma está relacionada con el nivel de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en el suelo (0-20cm) y con el nivel de MOS.

En éste, se recomienda no aplicar N en situaciones con niveles de MOS superiores a 4.6 % y contenido de  $\text{NO}_3^-$  superior a 3 ppm de N- $\text{NO}_3^-$ . Estas situaciones son las más frecuentes en la actualidad en el área agrícola. Por otro lado existían aspectos de la problemática del N en el cultivo que no habían sido considerados, en particular el manejo fraccionado de la fertilización y el efecto de esta medida de manejo en el contenido de N en el grano (Castro, 1997).

Existen antecedentes en trigo que fijan el nivel crítico en 25 ppm de  $\text{NO}_3^-$  en suelo al estado de macollaje (García, 1994), aunque no está claro a qué etapa de macollaje se refiere.

García, (1998), trabajando con trigo en INIA La Estanzuela con distintos antecesores y sistemas de laboreo, estudió el efecto de dosis y momentos de aplicación de N en el cultivo. Se concluye en el trabajo, que no existieron diferencias significativas en la producción de grano entre momentos de aplicación a excepción de un solo sitio en el que fue más eficiente la aplicación a inicios de encañado (Z 3.1), a pesar de que los rendimientos no aparecen citados.

El mismo autor concluye que con respecto a la concentración de proteína en grano, el N aplicado a Z 2.2 no tuvo efecto sobre esta.

Por otro lado, Dalal *et al*, (1997), trabajando con trigo en una zona con una media de precipitaciones anual de 685mm (Queensland, Australia), reportaron incrementos desde un 9.9 % de proteína en grano con 50 Kg de N/ha a la siembra (Kg de N agregados más N- $\text{NO}_3^-$  disponible en suelo), hasta 13.0% con 125 Kg de N/ha a la siembra. En ambientes semiáridos subtropicales donde las lluvias desde la siembra hasta antesis son extremadamente variables (Angus *et al* , 1980), el agregado de fertilizante a la siembra frecuentemente incrementa la concentración de proteína en grano (Doile y Holford, 1993, citados por Dalal *et al* , 1997).

Anderson y Hoyle, (1999), trabajando con diferentes cultivares de trigo en el oeste de Australia, observaron una respuesta de 12 a 25 Kg de grano /Kg de N aplicado. Las dosis de N aplicadas a la siembra fueron 0 y 40 Kg de N. Se muestra además un importante efecto de los cultivares en los contenidos de proteína en grano. Aumentos de 0.3 a 1.3% de proteína neta, fueron obtenidos con 40 Kg de N agregado a la siembra.

En los últimos años en el Uruguay ha aumentado el uso de fertilizantes nitrogenados. Esto se suma a cambios del ambiente y de manejo del suelo que afectan la respuesta potencial al N como son, la adopción de la rotación con pasturas, mejor manejo de cultivos (época de siembra, control de malezas, ajuste de la fertilización fosfatada) y mayor potencial de producción de las nuevas variedades. Hoffman, *et al.*, (1999), observaron para el cultivo de cebada cervecera, que en el período 1995-1998 no solo existió respuesta a una mayor cantidad de N a la siembra, sino que ésta se mantuvo hasta niveles mayores de  $N-NO_3^-$  con relación a lo observado por Capurro *et al.*, (1982).

Hoffman *et al.*, (1998), trabajando en trigo encontraron que el manejo tanto a la siembra como Z 2.2 utilizando los niveles críticos para el cultivo de cebada cervecera, permitió predecir la respuesta logrando eficiencias en el uso de este insumo iguales o mayores a 20 Kg de grano /Kg de N agregado. En el ítem C.1.a, se explican los indicadores utilizados.

## **2. Respuesta al agregado de N en Z 3.0**

Baethgen, (1992), desarrolló un modelo para la refertilización con N a fin de macollaje (Z 3.0). El mismo supone que el N no es limitante a la siembra, lo que se logró en un 67% de los casos agregando 30 Kg/ha de N. Este modelo propone un ajuste de dosis en función del potencial de producción estimado a Z 3.0, y el estado nutricional del cultivo (% N en planta). El modelo fue validado por Hoffman y Ernst en 1996 en el cultivo de cebada cervecera ( $n=100$ ,  $r^2=0.99$  en términos de predicción de respuesta o no respuesta).

El agregado de N en Z 3.0, tan solo permite conservar el potencial de producción definido en los estadios de crecimiento previos, por lo que no se debe esperar que el N corrija las pérdidas de potencial generadas por deficiencias en etapas anteriores (Hoffman *et al.*, 1992).

Para el cultivo de trigo, a diferencia del cultivo de cebada cervecera, no se dispone de información que permita estimar el potencial de rendimiento a Z 3.0. Esto determinó que para el primer año de la red de experimentos en trigo, se manejara una dosis fija de N para todos los sitios, (Hoffman *et al.*, 1998). Utilizando el modelo propuesto por Baethgen, (1992) fue posible detectar cultivos con contenidos de N en planta por debajo del crítico para un potencial de rendimiento estimado y corregir las deficiencias.

El 68 % de las situaciones presentaron contenidos de N en planta por debajo del nivel crítico. Dentro de éstas, el 85 % mostró respuesta esperable al agregado de N en este

estadio según el modelo de ajuste. La elevada proporción de chacras con necesidades de N en este estadio, está acorde con lo esperado en función de las características climáticas del año 1998 durante el invierno (lluvias por encima de lo normal), y el potencial de rendimiento de los sitios.

La proporción de aciertos en términos de respuesta o no respuesta, fue del 100%. Esto indica que a pesar de que el modelo fue generado para el cultivo de cebada cervecera, podría ser utilizado en el cultivo de trigo para un ajuste más objetivo del N.

A pesar de que el agregado de una dosis fija (50 kg/ha) a Z 3.0 en los experimentos de este año no permitió validar las dosis agregadas en este estadio, existió un buen ajuste entre la magnitud de la respuesta y la dosis que recomienda este modelo con relación al testigo sin agregado en este estadio. En los sitios en los cuales no se espera respuesta, agregar N determinó una disminución importante del rendimiento o una respuesta muy baja. En chacras con respuesta al agregado, ésta varió de 8 a 20 Kg grano/Kg de N agregado.

La corrección en este estadio no solo aporta a la concreción del rendimiento final, sino que sería una posible vía de manejo del nivel proteico del grano. Hoffman *et al* , (1999), observaron que el N agregado en Z 3.0 no incrementó los niveles de proteína en grano, sino que evitó que ésta disminuyera. Estos autores concluyen que el agregado de N permitió concretar y no aumentar los niveles de proteína en grano.

García, (1998), trabajando con trigo en INIA La Estanzuela, concluye que con respecto a la concentración de proteína en grano el impacto sobre esta es mayor cuando se fertiliza a inicios de encañado, obteniéndose que por cada 40 Kg de N/ha agregado, se elevó 1% la proteína.

Con respecto a lo anterior el mismo autor en otro experimento realizado en 1999, vuelve a concluir que el N aplicado antes de encañado incrementó significativamente la producción de grano y la proteína.

Perdomo y Bordoli, (1999), trabajando en trigo en estadios anteriores determinaron que fue más importante la dosis total de N aplicada que el momento de aplicación sobre el rendimiento en grano. El efecto del agregado de N en Z 2.2, en Z 3.0 o en ambos, resultó prácticamente indistinguible. Las excepciones a este comportamiento son erráticas, y aplicaciones de 40 Kg de N/ha. fueron más eficientes en un momento o en otro para dos sitios en particular. En cuanto al contenido de proteína en grano se observó el mismo comportamiento que para el rendimiento.

### 3. Respuesta al agregado de N en Z 4.7

Existe abundante información que muestra que cuanto más tarde y mayor la cantidad de N absorbida por un cultivo de cebada o trigo, más alto es el contenido de N en el grano (Baethgen, 1992; Perdomo *et al* , 1999; García, 1999).

Hoffman *et al.*, (1999), trabajando en trigo, utilizando el modelo de Baethgen (1992), observaron que cuando el estado nutricional del cultivo estuvo por encima de un 4% de N en planta a Z 3.0, no existió respuesta al agregado de N en Z 4.7 ni en rendimiento ni en proteína. Cuando el estado nutricional en Z 3.0 no era el óptimo (por debajo de 4.1 % de N en planta), la corrección de este según el modelo llevó a que tampoco se evidencien respuestas importantes en los niveles de proteína en grano. Los autores concluyen que el incremento de proteína en grano por el uso del N en Z 4.7, solo se daría si existen deficiencias previas no corregidas anteriormente.

No obstante, condiciones climáticas adversas como lluvias excesivas en la primavera, podrían crear condiciones de respuesta a aplicaciones tardías (Z 4.7), para lo cual aún se carece de indicadores objetivos que permitan predecirla.

García, (1998), trabajando con trigo, observó que el N aplicado a antesis no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento en grano y solo una leve tendencia a incrementar el porcentaje de proteína en grano. Esta tendencia fue más marcada cuando la cantidad de N aplicada a inicio de encañado estuvo por debajo de los requerimientos del cultivo. Estos resultados concuerdan con lo ya presentado por Hoffman *et al* , (1999).

Alcoz *et al* , (1993), reportaron para trigo una interacción significativa entre la tasa de N aplicada y momento de aplicación para la concentración de proteína en grano. Los momentos de aplicación de N eran en GS 4 (Z 3.0), GS 6 (Z 3.1) y GS 10 (Z 4.3), de la escala Feekes con aplicaciones de 75 y 150 Kg./ha. Se encontraron mayores niveles de N en grano en aplicaciones en el estado GS 10 comparado con los otros dos momentos mencionados. Fowler y Brydon en 1989 citados por los autores mencionados obtuvieron similares resultados, resaltando además la escasa respuesta en rendimiento en grano obtenida.

De la misma forma Campbell *et al* , (1981), encontraron que las aplicaciones de N en etapas tardías de desarrollo (post-antesis) no provocan un incremento en la producción total de materia seca, pero sí un aumento en el porcentaje de proteína en grano. Esto demuestra que al aporte tardío de N sea por el suelo o externos por el agregado de fertilizante, llevan a un incremento del N en el grano.

En nuestro país García, (1999), estudió el efecto de diferentes aplicaciones de N (0, 10, 20 y 30 Kg de N/ha.), en diferentes momentos: Z 4.9 (primeras aristas visibles), Z 6.5 (antesis) y Z 7.5 (grano lechoso). Las aplicaciones de N independientemente del momento de aplicación no afectaron el rendimiento en grano en forma significativa,

lográndose una escasa magnitud en la respuesta (<10%) o una baja significancia ( $P < 0.18$ ) en la diferencia de rendimiento obtenida.

La concentración de proteína en grano no se modificó en forma significativa con el momento de aplicación y la dosis agregada. La ausencia de respuesta, probablemente sea consecuencia de un año de muy bajas precipitaciones en los momentos en que se aplicó el N, condición que limita la absorción de este nutriente por el cultivo. Las precipitaciones promedio para el año 1999 fueron la mitad comparado con el promedio 1994-1999 para los meses de Setiembre a Diciembre (42 y 84.3 mm/mes respectivamente para esta localidad).

En lo que respecta al momento de aplicación se realizó un tratamiento adicional a Z 7.5. Se aplicó N como nitrato de amonio bajo la hipótesis de que esta fuente de N es más eficiente que la urea en condiciones de baja disponibilidad de agua en el suelo. Tampoco esta fuente de N, pudo elevar la proteína en este año.

Cooper, y Blakeney, (1990), trabajando con trigo irrigado en el sudeste de Australia observaron incrementos significativos de la proteína en grano utilizando nitrato de amonio en relación aplicaciones de urea foliar. Las aplicaciones de N se realizaron al momento de antesis y tres días después. Sin embargo, Strong, (1982), también trabajando con trigo irrigado en Australia, observó que aplicaciones N al suelo llevaban a una mayor cantidad de N asimilado por las plantas en relación a aplicaciones foliares en el estado de embuche. Aplicaciones foliares o al suelo a floración, fueron igualmente efectivas incrementando la cantidad de N asimilado y la cantidad de proteína en grano. En post-floración la aplicación foliar resultó un método más efectivo.

Cassman *et al* , (1992), trabajando con trigo irrigado en USA, estudiaron el efecto del momento (siembra y antesis) y la dosis de fertilizante agregado (0-250 y 0-65 kg de N/ha respectivamente) sobre el rendimiento y N en grano. Adicionar 45 Kg de N/ha a antesis resultó en un incremento de rendimiento de 300 Kg/há. Esta respuesta fue atribuida al aumento en el peso de grano. En lo que respecta a la concentración de N en grano, se observó un incremento cuando se aplicaba N a antesis. Para uno de los cultivares evaluados (Yecora Rojo), el impacto fue mayor cuando no se agregaba N a la siembra pasando de 22.9 a 28.5 g/Kg, con 0 y 65 Kg de N aplicados a antesis respectivamente. En comparación, a la dosis máxima de N a la siembra el incremento fue menor (de 22.2 a 25.1 g/Kg). Esto muestra, que aún bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo, un cultivo que muestra mayor cantidad de N absorbido a antesis responde en menor medida al agregado de N en este estadio.

Por otro lado, Strong, (1982), trabajando también con trigo irrigado en Australia con aplicaciones de 100 Kg de N/ha a la siembra, observó que aplicaciones de N al estado de embuche desde 25 a 100 Kg de N/ha. incrementaron la absorción de N desde 68.1 hasta 89.1 Kg de N/ha. Los aumentos de rendimiento fueron desde 3091 hasta 3348 kg/ha y los valores de proteína aumentaron desde 10.4 hasta 12.4%. Con agregados de N al estado de floración para el mismo rango de aplicación, la absorción de N no fue

significativamente diferente del testigo (59.3 Kg de N/ha). Por último, para el mismo rango de aplicación de N al estado de 16 días post-floración, la absorción de N solo fue significativamente diferente del testigo para la dosis más alta que presentó un valor de 73.2 Kg de N/ha. En este mismo estadio los porcentajes de proteína solo aumentaron significativamente con la dosis de N de 50 y 100 Kg de N/ha. presentando valores de 11.05 y 11.32 %. En cuanto a los rendimientos estos no fueron significativamente diferentes al testigo. Cabe resaltar que si bien las condiciones del experimento son favorables para una absorción tardía de N, los incrementos en proteína se dan asociados a bajos rendimientos para las condiciones mencionadas.

El autor concluye que aplicaciones de N a embuche, producen respuestas en rendimiento reduciendo la efectividad del incremento de proteína en grano. En contraste, aplicaciones a floración o post-floración tienen un importante efecto en el incremento de proteína en grano y no en rendimiento en grano.

Según los trabajos de los diferentes autores, se puede concluir que para las condiciones climáticas del Uruguay no sería esperable tener respuesta al agregado de N en Z 4.7 en rendimiento en grano. No obstante lluvias excesivas en la primavera podrían crear condiciones de respuesta. Estas también podrían determinar que se observe respuesta en el porcentaje de proteína dependiendo del estado nutricional del cultivo a Z 3.0 y de la corrección de la fertilización N en este estadio.

### **C. INDICADORES DE RESPUESTA AL AGREGADO DE N EN DIFERENTES ESTADIOS DEL CULTIVO**

#### **1. Indicadores a siembra y Z 2.2**

##### **a. Indicadores en Suelo**

Perdomo *et al.*, (1999), trabajando en cebada cervecera, estudiaron la relación del rendimiento relativo en función de las siguientes variables: contenido de materia orgánica del suelo (MOS), amonio en suelo, N mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ), N mineralizado por incubación anaeróbica y concentración de nitratos en suelo ( $\text{NO}_3^-$ ).

Los autores encontraron que a la siembra el indicador que mejor se relacionó con el rendimiento relativo fue la concentración de nitratos en suelo. A su vez, también fue el que mayor relación tuvo con el rendimiento relativo en el estadio Z 2.2. En este estadio, el crecimiento del cultivo lleva a que la concentración de nitratos en el suelo sea el resultado del balance entre el aporte del suelo y el consumo por parte del cultivo. Por esto, el rango crítico en Z 2.2 es menor que a la siembra.

Tanto la MOS como el potencial de mineralización guardan una escasa relación con la respuesta al agregado de N en ambos momentos.

Se formuló un modelo primario de ajuste de la dosis de N en función del contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo a siembra y a Z 2.2. Para el ajuste de la dosis de N a la siembra, este modelo requiere además del contenido de  $\text{NO}_3^-$  del suelo, la especificación del grupo de respuesta. Esto depende de factores de producción y manejo (historia de chacra, tipo de suelo, sistema de laboreo, antecesores y largo de barbecho). A partir del antecedente anterior, se establecieron rangos críticos de  $\text{NO}_3^-$  en suelo a la siembra y a Z 2.2 por encima de los cuales es poco probable la respuesta al agregado de N.

Los principales resultados en cebada cervecera obtenidos por Perdomo *et al* , (1999), son los siguientes:

- ✓ Siembra = 16-18 ppm de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 0-20 cm del suelo
- ✓ Z 2.2 = 11-13 ppm de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 0-20 cm del suelo
- ✓ Z 3.0 = se trabaja con el modelo propuesto por Baethgen, (1992).

Las relaciones encontradas a través de los sitios entre las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo a la siembra y a Z 2.2, fueron altas y además similares entre años. Esto podría ser explicado considerando que si bien el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo depende del clima, está determinado en gran medida por la capacidad de aporte de N del suelo.

Por otro lado, dado que las relaciones entre las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 0-20 y 0-40 cm del suelo fueron altas, el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  de los primeros 20 cm del suelo es suficiente para caracterizar la disponibilidad de N de éste. Resultados similares fueron encontrados por Perdomo y Ciganda, (1998), citados Hoffman *et al* , (1995-1997), y por Borghi y Wornicov, (1998) para cultivos de verano.

Hoffman *et al* , (1998), estudiaron en trigo el modelo generado para cebada, confirmando que el rango de variación de los niveles críticos de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo encontrado a la siembra y a Z 2.2, son similares a la cebada cervecera en ambos momentos.

- ✓ Siembra = 16-18 ppm de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 0-20 cm del suelo
- ✓ Z2.2 = 14-15 ppm de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 0-20 cm del suelo
- ✓ Z3.0 = 4.1 % de N en planta y potencial de rendimiento estimado.

Al igual que para cebada, el ajuste de la dosis de N a la siembra no solamente requiere del contenido de  $\text{NO}_3^-$  del suelo. Es necesario además, la especificación del grupo de respuesta el cual depende de factores de producción y de manejo ya mencionados.

## 2. Indicadores a Z 3.0

### a. Indicadores en suelo

La información es consistente en señalar que en este estadio, la relación entre la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en suelo y el rendimiento relativo es muy baja o inexistente. Baethgen, (1992) no encontró relación entre la concentración de nitratos en suelo (0-20 y 20-40 cm) y el rendimiento relativo.

Esto se debe a que la gran demanda por parte del cultivo en este estadio, lleva a que la concentración de nitratos en suelo sea normalmente baja. Así, Hoffman y Ernst, (1994), trabajando con cebada no encontraron relación alguna entre el contenido de N en planta (%) y los niveles de nitratos en suelo (0-20 cm).

Esto demuestra que al estadio de Z 3.0, la cantidad de  $\text{N-NO}_3^-$  disponible en el suelo es baja y no es un buen indicador de la necesidad de este por parte de las plantas.

### b. Indicadores en planta

Baethgen, (1992) observó que en el estadio de Z 3.0, tres del total de los indicadores evaluados presentaron un comportamiento aceptable. Estos son: el contenido de N total en planta a Z 3.0 (%), la absorción de N por el cultivo a Z 3.0 (% de  $\text{N*Kg}$  de Ms total) y un índice denominado MACNT30, definido como el producto del número de macollos por metro cuadrado por el contenido N expresado como gramos de N/Kg de Ms dividido por cien. Los niveles críticos encontrados para cada uno de estos indicadores fueron 3.0 % de N, 90 Kg/há. de N absorbido y un valor de MACNT30 de 280 respectivamente. Resultados similares fueron encontrados por Baethgen y Alley, (1989), trabajando con trigo en Virginia (EEUU) utilizando una metodología similar.

Sin embargo, ninguno de estos indicadores fue capaz por sí solo de presentar un comportamiento aceptable como predictor de la dosis económicamente óptima a agregar debido a la alta dispersión de los datos. Por tal motivo se introdujo una nueva variable que es el rendimiento potencial, lo que permitió identificar cuatro niveles de rendimiento experimental (< 2000 Kg/ha, 2000-3000 Kg/ha, 3000-4000 Kg/ha y > 4000 Kg/ha). Esto llevó a que dicha variable explicara más del 50% de la variabilidad obtenida en la dosis económicamente óptima. Posteriormente, a cada nivel de rendimiento experimental se lo redujo en un 25% con el objetivo de utilizar el modelo en chacras comerciales. Así, se generó un modelo que considera el contenido de N total en planta a Z 3.0 y el rendimiento potencial con un  $R^2$  de 0.74 (n=34).

Este, propone un ajuste de la dosis a agregar en función del potencial de rendimiento estimado a Z 3.0, y el estado nutricional del cultivo en este estadio (% N en planta). El nivel crítico definido es de 4.1% de N en planta para potenciales de rendimiento estimados iguales o mayores a 3500 Kg/há. Así, con rendimientos potenciales menores el nivel crítico es inferior.

Por otro lado, Vaughan *et al* , (1990), trabajando con trigos de invierno midieron N en hojas (g/Kg), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en planta entera (mg/Kg), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en tallo (mg/Kg), N total en tallos (g/Kg) y N total en planta entera (g/Kg), con el objetivo de encontrar posibles indicadores de suficiencia de N. Los estadios en los que se trabajó fueron Feekes 3 (Z 2.9), Feekes 5 (Z 3.0) y Feekes 7 (Z 3.2). Encontraron que al estado de Feekes 3 (Z 2.9) el total de N en planta N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> estuvo pobremente correlacionado con el rendimiento en grano. Las concentraciones tisulares de N al estado de Feekes 3 fueron muy similares en todas las tasas de aplicación de N. La carencia de respuesta en este estadio no es sorprendente a causa de que en este momento el trigo de invierno comienza a romper la dormancia.

El total de N en planta entera estuvo mejor correlacionado con el rendimiento en grano a Feekes 7 (Z 3.2). En cambio, al estadio de Feekes 5 (Z 3.0) el total de N en hojas (g/Kg) y el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en planta entera (mg/Kg) estuvieron mejor correlacionados con el rendimiento en grano ( $r=0.71$  y  $r=0.6$  respectivamente) que el N en planta entera. En este estadio el indicador que mayor correlación tuvo con el rendimiento en grano fue N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en tallo ( $r= 0.84$ ).

Comparando la correlación entre el N en hoja y el rendimiento en grano esta resultó similar para muestreos realizados a Feekes 5 y 7. Por otro lado la traslocación de N al grano es mayor desde hojas que desde tallos. Por tal motivo, se podría esperar que el contenido de N en hoja sea más sensible y explicativo del estatus nitrogenado con relación al N total en tallos y planta entera. En este estudio la relación entre N en grano y N en hoja no fue consistentemente mejor que el N en planta entera.

En lo que respecta al N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en planta entera, la variabilidad que este presenta lleva a que no pueda ser utilizado como un indicador confiable. Por último estos autores concluyen que el estadio más apropiado para realizar los muestreos es Feekes 5, y el indicador a utilizar es el N en planta entera (g/Kg). A pesar de la menor relación encontrada entre este indicador y el rendimiento en grano en F 5 que en F 7, estos concluyen que el estadio Feekes 7 incrementa la probabilidad de que las aplicaciones se realicen en estadios más tardíos cuando ya se haya sacrificado rendimiento en grano.

Los autores observaron que el nivel crítico para el total de N en planta entera es de 3.2 % existiendo un rango de transición entre 2.5 y 3.3 %. Resultados similares fueron encontrados por Baethgen y Alley, (1989), y por Baethgen (1992) siendo los valores de 3.95 y 4.1% de N respectivamente.

Para el caso del N total en hoja el nivel crítico resultó ser 3.8 % con un rango de transición entre 3.4 y 3.8 %.

Con relación al contenido de clorofila como un posible indicador, recientes investigaciones indican conexión estrecha entre este y el contenido de N de la hoja. Esto tiene sentido debido a que la mayoría del N de la hoja esta contenido en las moléculas de clorofila (Peterson *et al* , 1993, citados por Borghi y Wornicov, 1998).

Hoffman *et al* , (1995-1997), evaluaron la relación entre clorofila en planta y el rendimiento relativo del cultivo en Z 3.0, encontrando que este indicador es un pobre predictor del nivel de respuesta en este estadio. Además estos comentan que las diferencias entre variedades en cuanto a color son marcadas, y concomitantemente con esto las condiciones ambientales de estrés hídrico y térmico pueden enmascarar la relación entre el índice de clorofila y el contenido de N en planta.

Piekielek y Fox, (1992), citados por Borghi y Wornicov, (1998), trabajando en el cultivo de maíz, afirman que el estrés de la planta causado por deficiencias de otros nutrientes, enfermedades, daños por insectos o bajas temperaturas pueden reducir los niveles de clorofila en hoja. Esto afecta la exactitud del test de lectura de clorofila en hoja como predictor del aporte de N en un sitio particular, siendo esto similar a lo que ocurre en el cultivo de cebada.

Sumado a lo anterior Peterson *et al* , (1993) citados por Borghi y Wornicov, (1998), observan que la lectura de clorofila también puede cambiar en las diferentes horas del día, luego de una lluvia o riego por aspersion. Estos autores se inclinan por la idea de que este test, debería ser calibrado para situaciones particulares, como ser cada cultivo, suelo, híbrido y condiciones ambientales en orden para poder hacer uso de las lecturas. Esto concuerda con Piekielek y Fox, (1992), los cuales concluyen que se necesita de una gran base de datos para determinar los factores de suelo, planta y ambiente que afectan la predicción y exactitud de los valores de lectura del medidor de clorofila.

### **3. Indicadores del agregado de N tardío (Z 4.0 - Z 4.7)**

#### **a. N en Planta**

García, (1999), trabajando con trigo realizó análisis foliar (Z 3.8-Z 4.0) en la última hoja desarrollada, con el objetivo de predecir la necesidad de N tardío. Se observó alta correlación ( $r= 0.81$ ), entre el porcentaje de N en la hoja superior a Z 4.0 (hoja bandera o anterior) y el porcentaje de proteína en el grano cosechado. Esto permitió concluir que con una concentración de N en los tejidos de 2.7 % o mayor, la probabilidad de obtener grano con un tenor de proteína menor a 11.5 % es baja.

A pesar de lo mencionado, los datos no son concluyentes acerca de un nivel crítico existente en 2.7 %. Esto es debido a que los valores de proteína relativa para el rango de N en hoja, siempre fueron superiores a 0.9, indicando esto una baja respuesta al agregado de fertilizante y una variación de proteína entorno al 1%. Esto determina que si bien existe correlación, no es posible predecir cual es la respuesta al agregado de N por debajo de este nivel crítico.

Cerrato y Blackmer, (1991) citados por Borghi, y Wornicov, (1998), trabajando en el cultivo de maíz, evaluaron la concentración de N en la hoja opuesta y por debajo de la espiga primaria en el momento en el que los estigmas son visibles. Estos observaron que la concentración de N en la hoja tendió a incrementarse linealmente con aumentos en el

rendimiento en grano, obteniendo una concentración crítica en hoja de 2.1 y 2.7 % mediante el ajuste de un modelo "lineal+plateau" o cuadrático respectivamente. Concluyen que este test es posible de ser utilizado para detectar deficiencias de N en este cultivo. Sin embargo es de pobre predicción para determinar el estatus de N en aquellas situaciones en donde la fertilización haya sido óptima o por encima de la óptima.

Por otro lado Piekielek *et al* , (1995), trabajando en el cultivo de maíz concluyen que el test de clorofila en hoja debe ser realizado en un estadio específico de la maduración (grano al estado ¼ lechoso), debido a lo cambiante en los niveles de clorofila en este estado. A lo anterior, se suma el hecho de que factores específicos y de cada sitio pueden afectar los niveles de clorofila del cultivo, (Piekielek y Fox, 1992, Fox *et al* , 1992, Schepers *et al* , 1992; citados por Piekielek *et al* , 1995; citados por Borghi y Wornicov, (1998). Esto llevó a que Piekielek *et al* , (1995), definieran la necesidad de normalizar las lecturas para cada tratamiento en cada sitio a través de un índice denominado clorofila relativa. Utilizando el método gráfico de Cate y Nelson, las lecturas del medidor de clorofila relativa tomadas de la hoja de la espiga en el estadio ¼ lechoso fueron un indicador preciso para separar deficiencias de suficiencias de N.

Mediante un ajuste de regresión lineal se mostró la alta correlación ( $r^2= 0.84$ ) existente entre dicho índice y el rendimiento relativo en grano.

Sims *et al* , (1995), citados por Borghi, y Wornicov, (1998), confirman que el factor de lectura de clorofila se correlacionó bien con el N en planta particularmente en la hoja de la espiga del maíz.

#### **D. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ABSORCION Y TRASLOCACION DE N EN EL PERÍODO DE ENCAÑAZON Y LLENADO DE GRANO**

Para comprender la dinámica de N en la planta, debemos entender en primer lugar como varía la acumulación de materia seca, la absorción y acumulación de N durante el crecimiento del cultivo.

La curva de acumulación de N en la planta de trigo, se da en forma sigmoide al igual que la curva de acumulación de materia seca, (Pyare Lal y Sharma, 1973, citados por Gonzalez y Trujillo, 1995). Hasta el estado de iniciación de la corona de la planta absorbió solo el 5.06 % (0.54 % en el tallo y 4.52 % en la hoja) del total del N absorbido. Esto fue seguido por una constante tasa de absorción de N hasta espigazón, durante la cual la planta acumuló la mayor parte de lo absorbido (86.4 %, de lo cual 39.0 % fue en el tallo, 29.8 % en la hoja y 17.6 % en la espiga). Luego de la espigazón la tasa de absorción de N fue disminuyendo gradualmente. Desde este estado hasta grano duro se absorbió un 8.54 % y luego vino una fase estacionaria hasta la madurez, (Carpenter *et al* , 1952, Primost, 1961, y McNeal *et al* , 1966-1968, citados por Pyare Lal y Sharma, 1973).

## 1. Absorción de N Pre-antesis

Kanwarpal y Waines, (1989), observaron que, la acumulación de N pre-antesis y el rendimiento de N en grano explican en un 90% la acumulación de N post-antesis. Cuando se aumenta el N agregado, la variación en la acumulación de N post-antesis esta explicada por la variación en la acumulación pre-antesis más que por la variación en rendimiento de N en grano (Kg de N/ha). Los coeficientes de regresión observados mostraron que la acumulación de N post-antesis, estuvo asociada negativamente con el N pre-antesis, y positivamente con el rendimiento de N en grano.

Austin, et al , (1977), en un estudio conducido bajo buenas condiciones de fertilización encontró que el tamaño de planta puede ser un determinante de la acumulación de N total en comparación con la concentración de N tisular. Resultados similares fueron encontrados Kanwarpal y Waines, (1989). Los mismos, observaron que las diferencias entre genotipos en la producción de biomasa se vuelven mayores con el aumento de N del suelo, mientras que la concentración de N en los tejidos no muestra el mismo comportamiento. Aún más, la producción de biomasa y su variación tuvo un mayor efecto en el rendimiento de N en grano que la concentración de N y su variación.

La biomasa producida hasta antesis es una fuente de producción de fotosintatos para el estado reproductivo de la planta. Dado que más del 80 % del peso seco post-antesis es depositado en el grano, el rendimiento en grano podría ser tomado como una capacidad de fosa para la materia seca. Del mismo modo, el rendimiento en grano podría ser tomado como la medida de capacidad de fosa para el N, debido a que más del 75% del N total es particionado al grano.

Los mismos autores observaron, que todos los genotipos que acumulan poca o nula cantidad de materia seca después de antesis tuvieron bajos rendimientos en grano y de N en grano. Esto es debido a que la absorción de N pre-antesis de estos cultivares actúa como una retroalimentación negativa sobre la absorción de N post-antesis ya que carecen de una efectiva fosa reproductiva. Altas concentraciones intracelulares del ion ( $\text{NO}_3^-$ ) tienen un fuerte efecto de retardar la absorción (Glass, 1983 citado por Kanwarpal, y Waines, 1989).

Palta, y Fillery, (1993), trabajando con trigo en el este de Beverley (oeste de Australia) realizaron un experimento con N marcado ( $^{15}\text{N}$ -urea) aplicando 5.2 g de  $\text{N/m}^2$  (52 Kg/há.). Estos observaron que la acumulación de N cesó en el momento de antesis alcanzando un máximo de 106 Kg de N/ha. Desde este estado hasta madurez no se acumuló más N mineral probablemente debido a las bajas precipitaciones que ocurrieron en ese período (23mm). A su vez los autores comentan que la mayor cantidad de N absorbido ocurre entre macollaje y elongación de tallos con relación al período de elongación de tallos a antesis. Así los valores de absorción de N encontrados fueron: 14 Kg/há a los 47 días post-siembra, 70 Kg/ha entre el día 47 y 82 (elongación de tallos) llegando a un total de 104 Kg/há al momento de antesis(107 días).

Desde antesis hasta madurez (117 a 150 días), se observó una pérdida de N de 12 Kg/há. A pesar de que en el trabajo no se mencionan los valores de rendimiento de N en grano o proteína, los datos permiten observar la magnitud de la absorción de N al momento de antesis cuando se limita la absorción en etapas posteriores. Por lo tanto la cantidad final de N en grano dependerá del balance entre el N removilizado y las pérdidas asociadas a dicha removilización.

Kanwarpal y Waines, (1989), observaron que cambios en la acumulación de N pre-antesis explicaron un tercio de la variación total de la acumulación de N post-antesis. Los dos tercios restantes fueron explicados por la variación de rendimiento de N en grano, para bajos niveles de N en el suelo. La tendencia opuesta fue observada para altos niveles de N en el suelo.

Así, bajo condiciones de estrés por N el potencial de acumulación pre-antesis no fue obtenido en su totalidad, y la fosa reproductiva tuvo un gran efecto en la acumulación de N post-antesis con respecto a la acumulación pre-antesis.

## **2. Absorción de N Post-antesis**

Austin *et al* , (1977), citados por Bulman, y Smith, (1994), observaron que cultivares de trigo que tuvieron la mayor ganancia de materia seca de paja durante el llenado del grano, tuvieron una alta absorción de N post-antesis. La capacidad de los cultivares de acumular N después de la emergencia de aristas, determina el total de N en grano por planta. Esto parecería tener un impacto menor en la determinación final de la partición de N dentro de la planta o en la proporción de N en el grano. Los mismos autores observaron que una alta absorción de N post-espigazón tuvo una correlación positiva y alta con el total de materia seca acumulado post-antesis, la que a su vez estuvo altamente relacionada con la disponibilidad de humedad en el suelo (Clarke *et al* , 1990, citados por Bulman, y Smith, 1994). La absorción de N post-antesis por planta, presentó correlaciones moderadas a altas con el total de materia seca y el rendimiento en grano por planta, solo para aquellos ambientes en los cuales el macollaje fue alto, y en los que no se redujo el número de granos por espiga de forma importante.

La absorción post-espigazón de N generalmente no se relacionó con la concentración de N en planta al estado de emergencia de aristas, pero existió una correlación moderada a alta con el total de N en planta y grano a cosecha, (Bulman, y Smith, 1994).

Altas cantidades de N disponibles en el suelo estimulan su absorción (Campbell *et al* , 1977; Heitholt *et al* , 1990) y deprimen su traslocación hacia los granos (Halloran, 1981, citado por Bulman, y Smith, 1994). Por otra parte incrementando el aporte de N, la contribución de la absorción post-antesis en el trigo aumenta (Perez *et al* , 1983). En cebada, Lewicki y Cheri, (1992), citados por Bulman, y Smith, 1994) reportaron un comportamiento opuesto.

Heitholt *et al* , (1990), citados por Bulman, y Smith, (1994), observaron en el cultivo de trigo que cantidades de fertilizante agregadas a antesis incrementan la absorción post-antesis pero no afecta la concentración de proteína en grano.

Con relación a lo anterior Cooper, y Blakeney, (1990), trabajando con trigo observaron que cuando se aplicaban 40 Kg de N/ha al momento de antesis, el N absorbido por las plantas tres semanas después fue un 78.5 % del N aplicado. Cuando se aplicaron 80 Kg de N/ha el valor fue de 48.9 %. Similares valores fueron encontrados por otros autores (Smith *et al* ,1989, Whitfield *et al* , 1989, citados por Cooper y Blakeney, 1990). Sin embargo Strong, (1982) obtuvo valores mayores trabajando en otra localidad.

En lo que respecta al N recuperado en el grano, los porcentajes presentaron una tendencia inversa siendo 30 y 36.4% cuando se aplicaron 40 y 80 kg de N respectivamente. Estos valores son intermedios a los encontrados por Smith *et al* , 1989 y por Strong (1982) quienes reportaron valores de 56 y 13% respectivamente.

En nuestro país Kemanian, y Viega, (1999), trabajando sobre este tema con cebada en dos ambientes (Sayago y EEMAC 1994-1996) utilizando seis genotipos, ajustaron modelos lineales donde se expresa la importancia del N incorporado post-antesis al tallo en la determinación del N al grano. El N total en planta al final del ciclo fue similar en ambos ambientes, pero en Sayago el 84.7% del total fue incorporado en pre-antesis, en tanto que en la EEMAC solo fue el 57.6%. Si bien este comportamiento podría estar explicado por un mayor crecimiento post-antesis en la EEMAC, este fue similar en ambos ambientes. A su vez, el contenido de N en grano promedio de cada ambiente fue de 17.4 y 21.0 mg/g para Sayago y EEMAC respectivamente.

Similares resultados fueron reportados por Bulman, y Smith, (1994). Así, cultivares que absorben la misma cantidad de N total a madurez (38.3 para Massey y 41.6 para O.A.C-21 mg/planta), la diferencia se da en el momento en el que absorben la mayor proporción del N. En el caso de Massey un 31 % del N total se absorbe en post-antesis mientras que en O.A.C.-21 se absorbe un 46%, siendo los valores de proteína 11.78 y 13.57 respectivamente.

Los resultados permiten afirmar que independientemente de la variedad considerada, situaciones que conlleven a una entrega tardía del N por parte del suelo exponen al cultivo a incrementos del N en grano. Así en el caso de la EEMAC, las condiciones hídricas pre-antesis limitaron el crecimiento y la utilización del N; las precipitaciones caídas al inicio del llenado del grano permitieron una rápida mineralización y absorción del nutriente, (Kemanian, y Viega, 1999).

Barber, (1984), citado por Kanwarpal, y Waines, (1989), propone que la mineralización tardía en la estación de crecimiento cuando las temperaturas del suelo son altas, tendría más impacto bajo condiciones de bajo N en el suelo. Esto podría llevar

a una acumulación relativamente más alta de la proporción de N total después de antesis, (Kanwarpal y Waines, 1989).

Cassman *et al* , (1992), trabajando con trigo irrigado en USA, observaron que con 180 Kg de N agregados a la siembra los rendimientos de los cultivares utilizados fueron 8160 Kg/ha (Anza) y 7410 Kg/ha (Yecora). El rendimiento de N total a madurez fue mayor en el cultivar de menor rendimiento. Esta diferencia fue atribuida a una mayor absorción de N post-antesis de Yecora (26 Kg de N/ha) versus Anza (17 Kg de N/ha.), dado que la acumulación de N pre-antesis fue similar en ambos materiales (143.6 Kg de N/ha.). En ambos cultivares la absorción de N post-antesis no fue afectada por la cantidad de N aplicado a la siembra, siendo en todas las tasas de aplicación de fertilizante mayor el rendimiento de N en grano en Yecora que en Anza. Esto muestra que una misma cantidad de N absorbida pre-antesis puede resultar en acumulaciones de N post-antesis diferentes como consecuencia del efecto variedad.

Así la información presentada por los diferentes autores permite concluir que cuando una mayor proporción de N total absorbido a madurez se absorbe en post-antesis, lleva incrementos en el contenido de N en grano. Esto puede resultar de una mineralización tardía en la estación de crecimiento cuando las temperaturas del suelo son altas o del agregado de N cuando se dan las condiciones para la absorción. Diferencias genéticas entre cultivares han sido observadas y así dos cultivares que al momento de antesis presentan la misma absorción pueden diferir en la acumulación post-antesis pero como resultado de un crecimiento diferencial.

Como se mencionará en el próximo ítem si bien la absorción post-antesis incrementa el N en grano, esto se da sobre una eficiencia de partición que se determina antes del momento de antesis.

### 3. Eficiencia de uso del N

Fischer, (1993), estudió la respuesta en rendimiento en grano de trigo irrigado, a la cantidad y momento de aplicación del fertilizante nitrogenado. Encontró en dicho estudio que la absorción de N continuó a lo largo del llenado del grano en casi todos los tratamientos, pero especialmente en aquellos con aplicaciones tardías de fertilizante. Sin embargo la eficiencia de la utilización del N (rendimiento en grano/absorción de N), declinó con grandes dosis y con aplicaciones posteriores al comienzo de la elongación de los tallos. La disminución en la eficiencia de uso del N estuvo muy asociada con aumentos en la concentración de N en grano y en menor grado con descensos en el índice de cosecha.

Por otro lado Hucklesby *et al* , (1971), Ellen y Spiertz (1980), citados por Cassman *et al* , (1992), observaron que la eficiencia de absorción y la localización del N en el grano fue mayor cuando el N se aplicaba a antesis con relación a cuando se aplicaba a la

siembra. Este efecto es consistente con otros trabajos de campo que muestran lo mismo cuando la humedad del suelo no limita la absorción post-antesis.

En algunos casos agregados de grandes cantidades de N al momento de embuche, pueden incrementar el índice de cosecha y disminuir el índice de cosecha del N (Spiertz y van de Haar 1978; Ellen y Spiertz 1980, citados por Cassman *et al* , 1992).

Cox *et al* , (1985-1986), citados por Cassman *et al* , (1992), trabajando con 96 líneas F5 de trigo encontraron una correlación positiva entre la relación índice de cosecha del N/índice de cosecha y la concentración de N en el grano, concluyendo además que las diferencias genotípicas en la absorción post-antesis no fueron relacionadas al contenido de N en el grano. En contraste Cassman *et al* , (1992), no encontraron relación entre la concentración de N en grano y la relación índice de cosecha del N/índice de cosecha. De esta manera la absorción de N post-antesis parecería estar más influenciado por el nivel de adición de N a antesis, más que por el cultivar, aplicación a la siembra sitio o año.

Ha sido reportado que la aplicación de N a embuche incrementa tanto el índice de cosecha del N como el índice de cosecha (Spiertz y Ellen, 1978), mientras que mayores agregados de N en un corto período post-siembra resultan en un paralelo decrecimiento de ambos (Pearman *et al* , 1978). Sin embargo, el estrés temprano por déficit hídrico en estadios sensibles del cultivo podría influenciar la eficiencia del agregado de N sobre los índices de partición (Donald y Hamblin, 1976, citados por Cassman *et al* , 1992).

Por otro lado según Cassman *et al* , (1992), parecería que el modo de partición del N se establece antes de antesis. Así el N adquirido pre-antesis es particionado en una relación grano/tejido vegetativo predeterminada, y el modo de partición permanece en su efecto en un amplio rango de aplicaciones de N post-antesis. Esto se explica porque al aplicar N al momento de antesis se tiene poca influencia en el índice de cosecha del N. Bajas tasas de aplicación de N a la siembra llevan a un incremento en el índice de cosecha del N cuando se aplica N tarde, existiendo una tendencia opuesta cuando altas tasas de N son aplicadas a la siembra. Sumado a lo anterior cuando se aplicaron 85 Kg de N/ha a la siembra, cada unida adicional de N absorbido aplicado en antesis, se particionó en una relación 8 a 1 grano/tejido vegetativo. En comparación esta relación fue de 0.7 a 1 cuando se aplicaban altas tasas a la siembra (250 Kg de N/ha), siendo ambas relaciones independientes de la cantidad de N aplicada a antesis.

Los autores terminan concluyendo que excesivas cantidades de N adicionadas para un determinado rendimiento, no son eficientes en aumentar la concentración de proteína en grano y promueven una ineficiencia en la partición del N aplicado tardíamente.

Esto daría la pauta de que teniendo un cultivo con una suficiente cantidad de N a antesis no sería necesario depender de la absorción post-antesis para lograr altos rendimientos de N en grano.

Van Sanford, y Mackown, (1987), trabajando con trigo en Kentucky (USA), estudiaron las diferencias entre cultivares en la removilización de N durante el llenado de grano. Observaron que las variaciones en la partición del N vegetativo medido a antesis, no explicaba en forma significativa las diferencias entre cultivares en cuanto a la acumulación de N final en la espiga. Por el contrario estas diferencias fueron explicadas por la absorción de N post-antesis, la que a su vez se asoció con una baja eficiencia de utilización (peso de espiga/total de N en planta a madurez).

Similares resultados fueron obtenidos por Anderson y Hoyle, (1999), trabajando con diferentes cultivares de trigo, los que observaron que existen cultivares eficientes y no eficientes en rendimiento (Kg de grano/Kg de N) y proteína (proteína en grano /Kg de N aplicado). Las mayores diferencias entre estos en rendimiento en grano, fueron explicadas por la eficiencia de absorción (total de N absorbido/ Kg de N aplicado) y la eficiencia de utilización siendo estas un 20-25 % mayores en los cultivares eficientes. Las líneas eficientes en proteína fueron un 20 a un 25 % superiores con relación a las ineficientes en recobrar el N aplicado, aunque presentaron un 34 % menos de eficiencia de utilización de N para producir grano. Esto sugiere que las líneas eficientes en proteína podrían ser deficientes en carbohidratos. Es interesante resaltar que a pesar de la gran variación existente entre cultivares, no existen cultivares que presenten alta eficiencia de proteína, y alta eficiencia de uso (Kg de grano /Kg de N aplicado). Sí existen cultivares con baja eficiencia de proteína y alta eficiencia de uso y viceversa, sugiriendo que la fertilización nitrogenada estimula más la síntesis de carbohidratos en algunos materiales o la acumulación de proteína en grano en otros, (Anderson, y Hoyle, 1999).

Es conocido que la concentración de proteína en grano y el rendimiento en grano están negativamente correlacionados (Cox et al , 1985; Loffler et al , 1985). Esta correlación negativa probablemente aumenta por los altos costos energéticos asociados a la síntesis de proteína en comparación con la síntesis de carbohidratos (Sinclair y de Wit, 1975; Bhatiy Rabson, 1976, citados por Kanwarpal y Waines, 1989). Sin embargo, Kemanian, y Viega, (1999), concluyen que la concentración de N en el grano depende principalmente de la cantidad de dicho elemento más que de la deposición de carbohidratos en el mismo. Tanto el N como la materia seca presentan un patrón de acumulación similar pero resultado de procesos independientes.

Por otro lado, la eficiencia de uso total del N (Kg de grano/Kg de N que suple el suelo+aplicación) depende de la eficiencia de utilización y de la eficiencia de absorción. La eficiencia de utilización depende del índice de cosecha del N y de la relación Kg de grano / Kg de N en grano, (Kanwarpal y Waines, J.G, 1989).

Los mismos autores demostraron que incrementos de N en el suelo llevan a una disminución del índice de cosecha del N y por lo tanto a un decrecimiento en la contribución de la eficiencia de utilización a la eficiencia de uso total de N. La eficiencia de absorción de N, contribuye más que la eficiencia de utilización a la variación en la eficiencia de uso, para todos los niveles de N en el suelo. Por tal motivo, los autores

concluyen que la selección de cultivares por eficiencia de absorción, sería más efectiva en mejorar la eficiencia de uso del N que la selección por eficiencia de utilización del N o por el índice de cosecha del N.

A pesar de lo anterior, debido a que existe variación genética en el índice de cosecha de N en trigo (Austin *et al* , 1977; Desai y Bhatia, 1978) y cebada (Grant *et al* , 1991; Tillman *et al* , 1991) este ha sido propuesto como un criterio de selección para la concentración de la proteína en grano, (Loffler y Busch, 1982). Sin embargo la relación entre el índice de cosecha de N y la concentración de proteína en grano es inconsistente. Se han encontrado correlaciones positivas (Day *et al* , 1985; Loffler *et al* , 1985; Paccaud *et al* , 1985), o no existentes (Desai y Bhatia, 1978; Cox *et al* , 1986; Heitholt *et al* , 1990) citados por Bulman, y Smith, 1994.

Baetghen, (1992), concluye que el elemento clave en la determinación del efecto del fertilizante nitrogenado en la proteína en grano en cebada es la eficiencia de uso de dicho fertilizante. Así eficiencias inferiores a 16 Kg grano/kg de fertilizante aplicado provocan aumentos de la proteína independientemente del nivel promedio de ésta. Hoffman y Ernst, (1996) en cebada, evaluaron el método propuesto por Baetghen, (1992), y observaron que en los casos en lo que se recomendó la aplicación de fertilizante nitrogenado, ésta no aumentó el contenido de proteína en grano cuando la eficiencia del fertilizante fue superior a 15 Kg de grano/Kg de N aplicado.

#### 4. Retraslocación

La retraslocación del N previamente asimilado en la etapa de pre-antesis, parecería ser la fuente predominante de N para el grano (Austin *et al* , 1977; Van Sanford y Mac Kown, 1987, citados por Bulman y Smith, 1994).

En trigo la cantidad de N presente a antesis, puede ser tan alta como un 90 a un 100% del N presente en planta a madurez (Loffler *et al* , 1985; Clarke *et al* , 1990; Heitholt *et al* , 1990, citados por Bulman y Smith, 1994).

Con respecto a los carbohidratos, ha sido sugerido que la contribución de los asimilados pre-antesis al llenado de grano puede ser tan alta como un 76 a un 100%, (Gallagher *et al* , 1975, citados por Bahman y Shakiba, 1996).

Con relación a lo anterior, ha sido reportado que el canopy de trigo respira rápidamente durante el llenado de grano. A causa de una simultánea demanda del crecimiento del grano y de la respiración, una sustancial cantidad de carbohidratos utilizados durante el llenado de grano debe provenir de las reservas acumuladas previo al momento de antesis, (Gent, 1994, citado por Bahman, y Shakiba, 1996).

Austin *et al* , (1980), citados por Bahman y Shakiba, (1996), establecen que la fuente de carbohidratos no estructurales para el llenado de grano se puede particionar en tres

componentes: el primero que se refiere a los carbohidratos que son producidos después de antesis y son traslocados directamente al grano. En segundo lugar, aquellos que son producidos y almacenados temporariamente antes de ser traslocados al grano y por último los que son producidos antes de antesis, almacenados en órganos vegetativos y removidos al grano durante el llenado de este.

Van Sanford y Mackown, (1987), trabajando con trigo en Kentucky (USA), estudiaron las diferencias entre cultivares en la removilización de N durante el llenado de grano. Comentan que aproximadamente el 83% del total de N a madurez se encontraba presente a antesis, existiendo una diferencia entre cultivares de entre 65 y 92%. Por otro lado, la proporción del N acumulado por espiga que derivó de la acumulación de N en las partes vegetativas, presentó un rango desde 51 a 91 %. Así, la removilización de N desde hoja bandera fue desde un 10 a un 19%. Para el caso del pedúnculo dicha removilización fue de un 10 a un 26% y por debajo de este representó un 46%.

La contribución proveniente de reservas acumuladas pre-antesis se vuelve particularmente importante cuando la fotosíntesis no puede satisfacer la demanda de los granos en desarrollo como resultado tal vez de condiciones climáticas adversas o enfermedades (Hay y Walker, 1989). Así la proporción de materia seca del grano proveniente de la traslocación de asimilados acumulados en la pre-antesis, depende fundamentalmente de si se presentan condiciones de estrés o no durante el período de llenado de grano (González y Trujillo, 1995).

Waldren y Flowerdai, (1979) citados por Gonzalez y Trujillo, (1995), trabajando tres años con trigo en Nebraska (USA), observaron que la acumulación de materia seca aumentó rápidamente desde la elongación de los tallos hasta el estadio de grano duro. La traslocación de materia seca desde las hojas al grano comenzó en antesis y desde los tallos y espigas al grano en llenado de grano. Del total de N presente en la planta a la madurez (94 mg/planta en promedio), el 80% ya había sido absorbido a antesis y un 70% del total se encontraba en los granos.

Los componentes nitrogenados, presentaron una tendencia similar a la materia seca. La absorción anterior a floración es la que mayor aporte de N al grano realiza y el grado en que este nutriente es movilizado depende del estrés. De este modo aproximadamente un 75% del N de los granos a madurez, deriva de aquel absorbido por la planta antes de antesis (Hay y Walker 1989).

Con relación a lo anterior Spiertz y De voz, (1983), citados por Brassetti y Siri, (1993), observaron que los componentes que colaboran en el crecimiento del grano, son aportados por las partes vegetativas y solo en pequeña proporción por la absorción realizada durante el período post-antesis. Así, concluyen que la cantidad de N traslocada al grano excede a la que ha sido absorbida y asimilada por el cultivo en este período, por

lo que se estima que entre un 65 y 80% del N del grano proviene de las partes aéreas y fue asimilado previo a la etapa de antesis.

#### **a. Relación entre la acumulación de N pre-antesis y la absorción post-antesis**

La retraslocación del N asimilado es la fuente principal de N del grano. Esto no significa que el N del grano provenga enteramente de la traslocación desde otras partes de la planta durante el período post-antesis, sino que la planta mantiene la capacidad de absorber N durante el llenado de grano.

Daigger *et al* , (1976), observaron que durante el período diez-quince días luego de antesis el N del grano de trigo no proviene enteramente de la traslocación desde otras partes de la planta. Durante este período de formación de grano entero la espiga duplica el contenido de materia seca y de N. Esta gran demanda de N resulta en un incremento de su contenido en 106 Kg./ha. independientemente de las pérdidas que ocurren desde hojas, tallos o raíces indicando una considerable absorción desde el suelo en relativamente poco tiempo. De este modo, aunque el N absorbido por los granos frecuentemente declina luego de antesis, la planta todavía mantiene la habilidad de absorber este nutriente, y apreciables cantidades de N pueden ser asimiladas durante el llenado de grano (Austin *et al* , 1977, citados por Bulman y Smith, 1994).

En trigo la cantidad de N acumulado a antesis está positivamente relacionado con la cantidad de N retraslocada al grano (Mac Mullan *et al.*, 1998) y negativamente relacionado con la absorción post-antesis (Dhugga y Waines, 1989). Así, la absorción de N post-antesis y la retraslocación de N absorbido pre-antesis, están negativamente relacionados uno con otro, ( Cox *et al* , 1986, citados por Bulman y Smith, 1994). Van Sanford, y Mackown, (1987), trabajando con trigo en Kentucky (USA), encontraron que la relación entre la pérdida de N vegetativo y el incremento del N en la espiga fue de un 52 a un 92 % para aquellos cultivares en los que la absorción de N post-antesis fue alta y baja respectivamente

No obstante, Kanwarpal, y Waines, (1989), trabajando con 14 materiales de trigo observaron un efecto varietal importante, en la relación entre la cantidad de N absorbido pre-antesis y post-antesis. A un mismo nivel de N en el suelo, existen materiales que absorben la misma cantidad de N pre-antesis pero difieren en la acumulación post-antesis.

Los valores de absorción pre-antesis fueron desde 56.7 hasta 177.8 Kg de N/ha con incrementos en los niveles de N en el suelo. En las mismas condiciones los valores de absorción post-antesis generalmente disminuyeron, existiendo materiales con leves incrementos o escasa magnitud en la disminución de la absorción.

La variación en la performance de los genotipos en la acumulación de N post-antesis, puede ser explicada por la relación fuente-fosa y la capacidad de acumular N pre-antesis. Comparando dos cultivares a bajos niveles de N en suelo (75 Kg de N/ha), el cultivar G4840 absorbió 74.5 Kg de N/ha. en pre-antesis, y él "Chinesse spring" 79.6. La absorción post-antesis fue de 40 y 17 Kg de N/ha. respectivamente. Esta diferencia se

mantuvo a niveles medios de N en el suelo (175 Kg de N/ha) mientras que a altos niveles el segundo cultivar mencionado mostró pérdidas importantes. Los rendimientos en grano fueron 4078 Kg/ha para G4840 y 2545 Kg/ha para "Chinesse spring". La importancia del tamaño de fosa reproductiva en la absorción post-antesis y la diferencia en el uso del N de ambos cultivares, lleva a que los rendimientos de N en grano hallan sido de 95 y 68 Kg de N/ha. respectivamente. Esto demuestra que si bien existe la relación negativa entre absorción de N pre y post-antesis, sería posible combinar altas valores de absorción en estos momentos, logrando altos rendimientos en grano y de N en grano.

#### **b. Relación entre la absorción de N post-espigazón y su relación con la retraslocación**

La absorción de N en post-espigazón, está negativamente correlacionada con la retraslocación de N y la eficiencia de retraslocación. Esto podría ser explicado por la relación entre la actividad foliar, la absorción y asimilación de N. Así, la absorción de N es dependiente del área foliar y de la continuidad de la actividad foliar (Neales *et al* , 1963). Cultivares que retrasloquen al grano una mayor proporción del N proveniente del estado vegetativo, podrían tener una menor capacidad de absorción de N a causa de reducciones en el área foliar verde, Bulman y Smith, (1994). Clarke *et al* , (1990) citados por Bulman, y Smith, (1994), hipotetizaron que la proporción del N proveniente del estado vegetativo retraslocado al grano podría ser relativo a limitaciones de fosas o senescencia foliar.

Bulman y Smith, (1994), observaron que al estado de emergencia de aristas, la materia seca estuvo relacionado en forma variable con la absorción de N post-espigazón. Esta variabilidad depende del manejo, ya que agregados mayores de N a la siembra mostraron una relación negativa, mientras que a bajos niveles de N la tendencia fue opuesta ( $r = -0.49$  y  $0.59$  respectivamente). Al mismo estadio, una mayor cantidad de N en planta, se relacionó en forma negativa con la absorción post-espigazón ( $r = -0.5$  a  $-0.51$ ).

Con respecto a la retraslocación de N, está asociada en forma negativa con la acumulación de materia seca post-espigazón y con la absorción de N post-espigazón. Sin embargo la correlación es más alta con la absorción de N post-espigazón ( $r = -0.53$  a  $-0.9$ ) que con la acumulación de materia seca después de espigazón ( $r = -0.47$ ).

Por otro lado, la absorción del N post-espigazón y la cantidad de N retraslocado al grano, no se relacionan con la concentración de N en planta al momento de emergencia de aristas. A su vez, la retraslocación de N no se correlacionó con la concentración de proteína en grano, N en grano, materia seca de grano o total de materia seca, (Bulman y Smith, 1994).

Van Sanford y Mackown, (1987), trabajando con trigo en Kentucky (USA), estudiaron las diferencias entre cultivares en la removilización de N durante el llenado

de grano. Estos autores estimaron la diferencia entre absorción de N a madurez y la absorción de N a antesis ( $\Delta N$ ). Esto refleja la absorción de N post-antesis (Austin *et al* , 1977 y Cox *et al* , 1985) o la removilización de N desde las raíces (Lambers *et al* , 1982, Simpson 1982-1983 y Smith *et al* , 1983) citados por Van Sanford y Mackown, (1987). Se encontró una correlación negativa y alta entre  $\Delta N$  y el incremento del N en la espiga ( $r=-0.95$ ). Así la mayor proporción de la variación de N aportado a la espiga estaría explicado por la variación en la absorción pre-antesis.

Aún así, la variación en la removilización del N vegetativo post-antesis o la absorción post-antesis, también fueron importantes en determinar la variación en la cantidad de N acumulado por la espiga en desarrollo. A pesar de lo anterior se observó que la relación entre la concentración de N en grano y la absorción post-antesis, presentó una alta variabilidad entre años existiendo cultivares con alta absorción de N post-antesis y alta concentración de N en grano y viceversa, (Van Sanford y Mackown, 1987).

Los autores concluyen que para los cultivares analizados los genotipos más eficientes (eficiencia de utilización = (N en la espiga / total de N) / concentración de N en la espiga), podrían acumular suficiente cantidad de N previo a antesis. Esto podría suministrar la cantidad de N necesario para el desarrollo del grano a través de la removilización durante el llenado de grano.

Van Sanford y Mackown, (1987), trabajando con trigo en Kentucky (USA), estudiaron las diferencias entre cultivares en la removilización de N durante el llenado de grano. Estudiando el efecto del estrés por N en la eficiencia de traslocación, observaron que esta última fue significativamente menor (0.69) en un ambiente rico en N con relación a un ambiente pobre en N (0.82). Esto indica que todos los genotipos evaluados respondieron al estrés por N removilizando N vegetativo al grano en desarrollo. Aún así en 4 de los 6 cultivares evaluados la concentración de N en la espiga fue mayor en un ambiente pobre en N mientras que en los otros dos lo fueron en un ambiente rico en N. Los autores concluyen que el impacto de la aplicación de N post-antesis, depende del genotipo y del momento del estrés por N lo que marca una dificultad para realizar generalizaciones a cerca de la utilización tardía del N.

Los trabajos comentados muestran en primer lugar la importancia del área foliar ya que la absorción de N post- antesis es dependiente de la continuidad en la actividad de esta. Así, reducciones en el área foliar verde llevan a tener una menor capacidad de absorción de N post-epigazón.

Con respecto a la retraslocación de N esta no dependería tanto de la cantidad de materia seca acumulada por el cultivo en post-espigazón, sino más bien de la absorción de N post-espigazón.

### c. Eficiencia de retraslocación

Bulman, y Smith, (1994), trabajando en el cultivo de cebada definen la eficiencia de retraslocación de N como la proporción del N vegetativo en planta al momento de emergencia de aristas que fue retraslocada al grano. Estos observaron una relación no consistente entre la eficiencia de retraslocación del N y el total de N en planta a madurez, o la acumulación de N en grano. Esto se debe a que ocurren pérdidas de N desde emergencia de espigas hasta maduración, las cuales no se tomaron en cuenta para los cálculos de eficiencia de retraslocación.

Los autores además observaron una correlación negativa y alta entre absorción de N post-espigazón y eficiencia de retraslocación de N. Esto es importante ya que como se comentó, altas cantidades de N en planta a emergencia de aristas disminuyen la absorción de N post-espigazón. Esto llevaría a pensar que disponiendo de altas cantidades de N en planta se aumentaría la traslocación de N al grano con el consecuente aumento de proteína en grano. Sin embargo, Bulman y Smith, (1994), observaron que la eficiencia de retraslocación no estuvo correlacionado en forma significativa con la concentración de proteína en grano a pesar de que los datos no se muestran.

McNeal et al , (1972), trabajando en cruzamientos en trigo, no encontraron diferencias para la eficiencia de retraslocación entre cultivares de alta y baja concentración de proteína en grano lo que concuerda con los resultados de Bulman y Smith, (1994).

### d. Pérdidas de N y materia seca desde antesis hasta madurez

Kanwarpal y Waines, (1989), trabajando con trigo en USA, observaron que las pérdidas de materia seca no parecen ser la causa de la pérdida de N debido a que muchos de los genotipos evaluados mostraron una ganancia neta del rendimiento en paja desde antesis hasta madurez. Aún más, el N podría haber sido perdido desde tallos por otros mecanismos. Hooker et al , (1980), Da silva y Stutte, (1981); y Stutte et al , (1979), citados por Kanwarpal y Waines, (1989), han documentado pérdidas significativas de N por volatilización desde brotes de varias especies de plantas.

Harper et al., (1987), observaron en plantas de trigo que el N se perdió a través de la parte aérea durante la senescencia. Las pérdidas de N después de antesis fueron controladas por la senescencia y la distribución del N al grano. McKee (1962) citado por los autores mencionados comenta que cuando la senescencia se acelera, la hidrólisis de las proteínas puede ocasionar una acumulación de aminoácidos y aminos. Esto determina que cuando el fenómeno de desaminación ocurre, el  $\text{NH}_3$  resultante se pierda por volatilización (Harper et al., 1987).

En trigo la cantidad de N que se pierde desde tallos es una función del N aplicado significando mayores pérdidas con el aumento de la tasa de aplicación, (Kanwarpal y Waines, 1989). Harper *et al.*, (1987), observaron que con aplicaciones fraccionadas de 112 Kg de N/ha como nitrato de amonio las mayores pérdidas desde la parte aérea y desde el suelo ocurrieron veinte días posteriores a la aplicación (11.4 % del fertilizante aplicado). Pérdidas adicionales desde la planta fueron observadas entre antesis y cosecha (9.8% del fertilizante aplicado).

Por otro lado, ha sido reportado que aún a niveles muy altos de N la raíz no cumple un papel importante como fosa (Smith *et al* , 1983, citados por Kanwarpal, Dhugga y Waines, 1989). Esto muestra la importancia de las pérdidas que se dan desde la parte aérea de la planta. Sin embargo, Palta y Fillery, (1993), observaron que el máximo de acumulación de N en la raíz ocurre en el momento de elongación de tallos (27 Kg de N/ha), momento en el cual la acumulación es mayor que en el tallo principal y macollos. Este máximo decrece hasta un valor de 11 Kg de N /ha a madurez, explicando esto pérdidas o removilización al resto de la planta.

Daigger *et al* , (1976), afirman que las plantas de trigo acumulan rápidamente materia seca y N 30 días antes de antesis y llegando al máximo cerca o en este momento. Nueve días después se notó un marcado descenso en la cantidad de materia seca. Este descenso fue aproximadamente de 1000 Kg/há. o el 10% del peso medio 3 días antes de antesis. El contenido de N disminuyó 35 Kg/há. o aproximadamente 26% durante el mismo período. Bauer *et al* , (1987), observaron que la concentración de N disminuyó a partir del día diez luego de antesis, correspondiendo ese período a la fase lag del llenado de grano. Luego dicha concentración se mantuvo constante lo que correspondió a la fase de tasa constante de llenado de grano ( Bauer *et al* , 1985). La materia seca aumentó nuevamente 16 días después de antesis pero finalmente disminuyó hasta maduración. Las pérdidas de materia seca totales desde antesis hasta madurez fueron de un 9% siendo la pérdida de N en el mismo período más de un 30% o 45 Kg. de N por hectárea (Daigger *et al* , 1976).

Los mismos autores, realizaron otro experimento en 1970, dividiendo la planta en tallos, hojas y espigas, permitiendo esto estudiar la traslocación de N y de materia seca. Observaron que desde masa blanda a madurez las pérdidas totalizaron 2447 Kg/ha. de Materia seca desde hojas y tallos y existió una ganancia de 558 Kg. de Ms/ha. en la espiga. Esto representa una pérdida neta de 1889 Kg. de Ms/ha o de un 19%. Del total de la pérdida, el 87% estuvo asociado con el tallo y solo un 13% con las hojas. En lo que respecta a la hoja bandera, tuvo solo la mitad de peso que el resto de las hojas y representó el 37% del total de perdidas por parte de estas. El cambio en el contenido de N en el mismo período, mostró una pérdida de 42 Kg de N /ha. desde hojas y tallos, mientras que en la espiga quedaron 18 Kg representando una pérdida neta de 24 Kg/ha o de un 18%. De la pérdida total el 73 % fue asociado a los tallos y el 27 % restante con las hojas. Lo anterior muestra que las pérdidas de materia seca y N están asociadas

primariamente con los tallos. Los autores concluyen que desde un punto de vista nutricional la proteína en grano podría ser duplicada si esas pérdidas pudieran ser transferidas al grano.

Por otro lado Palta y Fillery, (1993), trabajando con trigo en el este de Beverley (oeste de Australia), observaron que la removilización de N acumulado a antesis en las partes vegetativas de la planta representó un 69% afectando el crecimiento y llenado de grano. Las pérdidas desde antesis a madurez parecerían estar más asociadas con la removilización de N que con la cantidad de N que se acumula a antesis. La magnitud de estas en este período fue de 12 Kg/há. valores sensiblemente menores a los reportados por Daigger *et al* , (1976). Las altas temperaturas y baja humedad relativa del aire pueden aumentar la volatilización y lavado de diferentes compuestos móviles nitrogenados entre antesis y madurez (Denmead *et al* , 1976; Spiertz 1977). Este es además un importante mecanismo de pérdida durante la maduración (Wetselaar y Farquhar 1980; citados por Harper *et al* , 1987).

#### **e. Retraslocación, pérdidas de carbono, N y su relación con el déficit hídrico post-antesis**

Palta *et al* , (1994), trabajando con trigo en Australia, estudiaron el efecto del déficit hídrico post-antesis. Las plantas crecieron con humedad adecuada hasta antesis, pasando luego a invernáculo con diferentes tratamientos de humedad relativa, lo que llevó a diferencias en la absorción de agua en el suelo. Como consecuencia de una rápida tasa de desarrollo en condiciones de déficit hídrico, se incrementaron las pérdidas de carbono marcado por respiración en dos tercios durante el período post-antesis comparado con una tasa lenta de desarrollo. Así, el C<sup>13</sup> marcado removilizado al grano se incrementa en un 35% a madurez con el desarrollo rápido, lo que se podría asociar a una reducción en la disponibilidad del carbono asimilado post-antesis, (Palta *et al* , 1994). Esta última, es consecuencia de una disminución en la tasa de asimilación neta que reduce el carbono en el grano en un 57%.

Finalmente, en la tasa rápida de desarrollo la reducción del carbono en el grano, fue un cuarto comparado con la tasa lenta de desarrollo. Esto sugiere una mayor participación del carbono acumulado pre-antesis en el proceso de removilización, (Austin *et al* , 1977-1980; Morgan y Austin, 1983; citados por Palta *et al* , 1994).

Por otro lado, la ganancia neta de carbono marcado en el tallo principal y en macollo 1, puede ser explicada por la removilización desde los macollos 2 y 3, en los cuales se observó una disminución de 2.8 y 2.5 mg/planta respectivamente (cantidades que representaban un 53 y un 75% de la cantidad de carbono en esos macollos al momento de antesis). El incremento neto observado en el tallo principal y en el macollo 1, es menor a las pérdidas observadas en el 2 y 3, debido a algunas pérdidas por respiración que se dan asociadas a la removilización, (Austin *et al* , 1977, citados por Palta *et al* ,

1994). Los mismos autores, observaron que la removilización de carbono desde las raíces al tallo principal fue de escasa magnitud.

Con respecto al N marcado, encontraron un incremento de este en el macollo 1 con un decrecimiento en los macollos 2, 3 y en las raíces, sugiriendo que el N fue removilizado para soportar al macollo 1, en post-antesis.

Palta et al , (1994), encontraron que la tasa de desarrollo post-antesis bajo condiciones de estrés hídrico afecta la volatilización aparente y pérdidas por lavado de N en trigo. Estas pérdidas, parecerían estar relacionados a la duración del área foliar. Lo anterior se relaciona con el hecho de que lentas tasas de crecimiento en condiciones de déficit hídrico llevan a que un 25% de N marcado en planta a antesis, se pierda a madurez. En contraste, altas tasas de desarrollo, llevaron a que solo un 6% del N marcado en planta a antesis, se pierda a madurez. Los autores concluyen, que bajo condiciones de déficit hídrico la senescencia foliar se acelera, lo que lleva a un cierre estomático más rápido disminuyendo las pérdidas de N post-antesis.

Sin embargo, mientras que la rápida tasa de desarrollo en condiciones de déficit de hídrico reduce las pérdidas de N, esto también reduce el N en el grano proveniente de la absorción post-antesis sobre un 50%. Esto no es sorprendente dado los conocidos efectos limitantes del agua para la absorción de N post-antesis (Gregory et al , 1979, citados por Palta et al , 1994).

Condiciones de deficiencia hídrica, llevan a que en la tasa de crecimiento rápida en comparación con la lenta, se reduzcan la absorción y las pérdidas, incrementándose la demanda post-antesis por el N acumulado pre-antesis. Similares resultados obtuvieron McNeal et al , (1968) citados por Bauer et al , (1987), reportando que el N traslocado desde las hojas, tallos y partes vegetativas de las espigas a los granos de siete cultivares de trigo, fue 64.2% bajo riego y 74.8% en condiciones de secano. Esto indica la mayor participación de la retraslocación del N en el llenado de grano bajo condiciones limitantes de agua en el suelo.

Con relación a lo anterior Palta et al , (1994), observaron que en altas tasas de desarrollo en condiciones de déficit hídrico, el N acumulado en pre-antesis contribuye en 35 mg/planta, lo cual fue un 81% del N total del grano. A pesar de esto concluyen que el total de N en grano no fue afectado.

Finalmente los autores plantean que a causa de una marcada reducción en el tamaño de fosa en los macollos 2 y 3 causado por el déficit hídrico, éstos se transforman en una fuente de carbono y N para el tallo principal y el macollo 1. La magnitud de este aporte fue mayor en altas tasas de desarrollo bajo déficit hídrico (42% de carbono y 12% de N), comparado con el desarrollo lento (10% y 8% carbono y N o respectivamente). La importancia del macollo 1 de este estudio contrasta con datos provenientes de ensayos de campo en cebada (Lauer y Simmons, 1985-1988), y trigo (Thorne y Wood, 1987), los cuales reportaron que el carbono marcado exportado desde macollos sobrevivientes y no

sobrevivientes bajo condiciones favorables de agua en el suelo, fue traslocado siempre preferentemente al tallo principal, citados por Palta *et al* , (1994).

## **5. Factores que afectan la absorción, retraslocación de N y el contenido de proteína en grano**

### **a. Temperatura y agua**

La tasa y la duración del crecimiento del grano sintetizan los procesos que determinan el tamaño final y la acumulación de N en el mismo. Ambos parámetros son afectados por el genotipo y el ambiente (Darroch y Baker, 1995; Duguid y Brule-Babel, 1994; Kemanian *et al* , 1996; Mou y Kronstad, 1994; Wiegand y Cuellar, 1981 citados por Kemanian y Viega, 1999).

En los primeros días de llenado, el peso relativo del embrión es mayor, lo que lleva a que el porcentaje de N en grano sea alto. En las etapas posteriores un aumento en la tasa de traslocación de los hidratos de carbono, diluye el N traslocado. Próximo a madurez fisiológica existe un aumento leve del porcentaje de N, independientemente de las condiciones de llenado. Este aumento responde a la traslocación del N desde las hojas senescentes con la consecuente reducción del área fotosintética (Corke, 1987, citado por Ernst *et al* , 1993, citados por González y Trujillo, 1995).

Altas temperaturas aceleran el proceso del llenado de grano, aumentando la tasa llenado, y al mismo tiempo reducen su duración. La deposición de N en el grano, precede a la deposición de carbohidratos solubles. Esto lleva que al acortarse el período de llenado, se afecte en mayor medida la acumulación de éstos últimos, por lo que el N no es diluido. Sumado a lo anterior, Jenner *et al* , (1990), citados por Brassetti y Siri, (1993), citados por González y Trujillo, (1995), afirman que la tasa y duración de deposición de almidón en el grano de cebada, y la tasa y duración de la deposición de proteína son esencialmente eventos independientes, controlados e influenciados por diferentes factores. Similares resultados fueron encontrados por Kemanian. A. y Viega, (1999).

Asociado a lo anterior, Campbell y Read, (1968), citados por Ernst *et al* , (1993), citados por González y Trujillo, (1995), afirman que altas temperaturas pueden reducir más la cantidad de almidón almacenado en el grano que la de N, por lo que tenderá a aumentar el rendimiento de proteína de estos.

El efecto de altas temperaturas sobre el porcentaje de proteína en grano, se ve incrementado por un déficit hídrico en el mismo momento. Esto se explica porque el déficit hídrico afecta más la traslocación de carbohidratos que la del N al grano, por lo cual el contenido de N no es diluido, aumentando el porcentaje de proteína en grano.

Altas cantidades de agregado de fertilizante nitrogenado pueden aumentar la severidad del estrés por sequía debido a incrementos de los índices de área foliar y por una disminución de la cantidad de agua en el suelo. La mayor severidad del estrés por sequía con incrementos en la cantidad de N, resulta en una disminución en las tasas de fotosíntesis durante el llenado de grano y una disminución del peso de grano a maduración (Frederick y Camberato, 1994, citados por los mismos en 1995). Esto podría por lo tanto llevar a incrementos de proteína en grano.

Kobata *et al* , (1992), trabajando con trigo en Beverley (oeste de Australia), estudiaron la tasa de desarrollo en condiciones de déficit hídrico y su efecto en el período de llenado de grano. Encontraron que bajo una rápida tasa de desarrollo el rendimiento en grano por planta se redujo un 20% a mitad de llenado de grano y un 33 % a madurez. La reducción del rendimiento fue consecuencia de una disminución en el tamaño de grano pero no en el número de granos. Esto fue consecuencia de un cese temprano en el crecimiento del grano en la tasa rápida de desarrollo en comparación con la lenta. Los autores concluyen que la reducción en el rendimiento en grano fue consecuencia de una reducción en la fotosíntesis post-antesis con al consecuente disminución de asimilados removilizables.

Dalal *et al* , (1997), trabajando con trigo en Queensland (Australia), estudiaron el efecto del agua en el suelo sobre rendimiento y proteína en grano. Encontraron que el rendimiento en grano estuvo positivamente correlacionado con la lluvia al momento de anthesis ( $r=0.49$ ), lluvia en el barbecho ( $r=0.72$ ) y con el agua disponible a la siembra ( $r=0.43$ ). La concentración de proteína en grano estuvo negativamente correlacionada con el agua disponible a la siembra y con la lluvia durante el barbecho. Es importante aclarar que las relaciones mencionadas han sido estudiadas en una región donde la precipitación promedio anual es de 685 mm y además presenta una alta variabilidad desde la siembra en adelante. Por lo tanto, el agua disponible a la siembra explicó el 40% de la variación en la concentración de la proteína en grano. El incremento de 100 a 200 mm de agua disponible en el suelo a la siembra provocó una disminución de la proteína en grano desde 13.7 a 9.9%.

La tasa de disminución de la concentración de proteína en grano fue de 3.8 % por cada 100 mm de incremento del agua disponible a la siembra. A pesar de que el rendimiento de N en grano, estuvo positivamente relacionado con el agua disponible a la siembra, el efecto de esta sobre la concentración de proteína en grano se debe a la dilución del N en grano a través de incrementos de rendimiento desde 0.5 a 3 ton/ha.

### c. Genotipo

La influencia que tiene el genotipo en los cultivos invierno en determinar diferencias en los contenidos de proteína en grano, se manifiesta a través de la eficiencia de uso del N. Miezán, *et al*, (1977), trabajando con trigo en Kansas (EEUU), observaron que a pesar que existe un efecto ambiental muy importante en la determinación final de proteína en grano, existen materiales que pueden combinar altos niveles de rendimiento y proteína en grano. Además observaron que aplicaciones tardías cercanas a floración lograron incrementos del porcentaje de proteína en grano, en los sitios que presentaron precipitaciones justo antes de la aplicación. A causa de que no todas las variedades respondieron igual bajo estas condiciones, concluyen que existe un efecto genético importante en la determinación de la concentración de proteína en grano, que se expresa bajo determinadas condiciones ambientales.

Johnson *et al*, (1973), trabajando con dos cultivares de trigo en Nebraska (EEUU), estudiaron el efecto del genotipo en la acumulación de proteína en grano. Los autores comentan que para todas las aplicaciones de N evaluadas (0-135 Kg. N/ha., con incrementos de 22.5 Kg de N/ha), existe un cultivar que presenta más proteína y menor rendimiento excepto al más alto nivel de N aplicado que se da también el mayor rendimiento. Esto indica que existen cultivares eficientes en proteína o eficientes en rendimiento. Como fue mencionado en el ítem D.3, las líneas eficientes en proteína son un 20 a un 25 % superiores con relación a las ineficientes en recobrar el N aplicado, aunque presentan un 34 % menos de eficiencia de utilización de N para producir grano. Además se resaltó el hecho de que si bien existe una gran variación entre cultivares, no existen cultivares que presenten alta eficiencia de proteína, y alta eficiencia de uso. Cuando diferentes cultivares crecen en las mismas condiciones y bajo las mismas tasas de aplicación de N existe una eficiencia de partición que se establece en el momento de antesis y que depende de la tasa de N aplicada. Así, las diferencias genéticas entre cultivares se manifiestan además como consecuencia de un crecimiento diferencial. Tillman *et al*, (1991), citados por Bulman y Smith, (1994), observaron diferencias entre cultivares en la producción de materia seca y acumulación de N en cebada y demostraron una relación positiva entre la producción de materia seca y acumulación de N a antesis.

Los trabajos mencionados en los ítem D.2 y D.4.a respectivamente, son concluyentes en afirmar que la variación en la performance de los genotipos en la acumulación de N post-antesis, puede ser explicada por la relación fuente-fosa, la capacidad de acumular N pre-antesis y la tasa de crecimiento en post-antesis. Cassman *et al*, (1992), observaron que a una misma cantidad de N absorbido en pre-antesis el cultivar que presentó mayor rendimiento fue el que tuvo menor absorción post-antesis y menor contenido de N en grano. En cambio, Kanwarpal y Waines, (1989), observaron que a igualdad de absorción en pre-antesis, el cultivar que más rindió fue el que mayor absorción post-antesis de N presentó. En los dos trabajos mencionados el porcentaje de proteína disminuyó con el

aumentó de rendimiento, como consecuencia del efecto dilución. Así, la absorción de N post-antesis no estaría explicado solamente por el tamaño de fosa sino por un efecto genético importante, que se manifiesta a través de la tasa de crecimiento post-antesis.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### A. INTRODUCCION

El presente trabajo corresponde a una red de ensayos a nivel Nacional realizado en el año 1999, en las zonas de Dolores, Mercedes, Young y Paysandú. Se instalaron un total de 22 sitios experimentales a partir de Zadoks 3.0 (fines de macollaje) en chacras de productores.

Los criterios que se tuvieron en cuenta al momento de la elección de los sitios fueron los siguientes:

- Selección de chacras sin defectos de manejo para la producción de trigo
- Identificación de las variables que determinan cambios en la dinámica del nitrógeno en el suelo (tipo de suelo, cultivo antecesor, y manejo del laboreo).

**Cuadro N° 1: Variedades y sistema de laboreo según Localidad y sitio. (Anexos 1, 2, 3).**

Localidad	Sitio	Variedad	Sist.. Laboreo	Antecesor	Fecha de siembra	Textura del suelo
Dolores	2	Mirlo	SD	Maíz	11-junio	Medio
Dolores	3	Mirlo	LC	Girasol 2da.	23-junio	Medio
Dolores	4	Mirlo	LC	Girasol 2da.	14-junio	Medio
Dolores	5	Cardenal	LC	Girasol 2da.	23-junio	Medio
Dolores	6	Cardenal	LC	Girasol 2da.	24-junio	Medio
Dolores	7	T605	SD	Girasol	*	Medio
Dolores	8	Cardenal	LC	Girasol 2da.	20-julio	Medio
Mercedes	11	P.Calidad	SD	Maíz	17-junio	Pesado
Mercedes	12	Tijereta	SD	Girasol 1ra.	24-mayo	Pesado
Mercedes	13	P.Puntal	SD	Girasol	18-mayo	Pesado
Mercedes	14	Caburé	LM	Girasol	18-junio	Pesado
Mercedes	15	Mirlo	SD	Soja	13-junio	Pesado
Young	31	T605	SD	Girasol 1ra.	11-junio	Pesado
Young	32	Caburé	SD	Girasol 1ra.	11-junio	Pesado
Young	33	Pelón	SD	Girasol 2da.	14-junio	Pesado
Young	34	T605	SD	Girasol 2da.	13-junio	Pesado
Young	36	Mirlo	SD	Girasol	20-junio	Medio
Young	37	Greyna	LC	Pradera vieja	15-junio	Pesado
Paysandú	38	Boyero	SD	Soja	*	Pesado
Paysandú	39	P. Quintal	SD	Moha	*	Pesado
Young	40	Mirlo	LC	Girasol	18-junio	Medio
Young	41	Caburé	LC	Maíz	14-junio	Pesado

\*: sin dato

## B. DISEÑO EXPERIMENTAL

En los 22 sitios de muestreo estudiados como parte de la red experimental, fueron controladas las condiciones experimentales y aplicados los mismos tratamientos de Nitrógeno. Los tratamientos en cada unidad experimental corresponden a las dosis de N aplicadas en los momentos de Z 3.0 (0 - 30 - 60 - 90 unidades de N) y Z 4.7 (0 - 30 unidades de N) arreglados en un diseño factorial completo.

En 6 sitios que corresponden a los 5 sitios de Mercedes y al sitio 8 de Dolores, los tratamientos fueron aplicados en un diseño en bloques completos aleatorizados (DCBA), con tres repeticiones, estando cada bloque formado por 24 parcelas de 3 mts de ancho y 6 mts de largo. En los 16 sitios restantes, los mismos tratamientos de Nitrógeno fueron aplicados aleatoriamente a parcelones homogéneos y continuos de 75 mts de largo y 9 mts de ancho, sin repeticiones.

La fuente de nitrógeno utilizada en los diferentes tratamientos fue urea y las aplicaciones de nitrógeno se realizaron con la maquinaria del productor o avión según el momento. La cosecha se realizó con cosechadora comercial.

Para más detalles de los sitios experimentales, ver ANEXOS 1, 2 y 3.

## C. DETERMINACIONES

Los ensayos se instalaron a partir del estadio Z 3.0, estando a cargo hasta este momento el manejo de las chacras por los productores.

### 1. A la instalación (Z 3.0)

- a. Tallos por metro cuadrado en 3 submuestras de 3 mts lineales en cada unidad experimental.
- b. Biomasa a Z 3.0 (kg Ms/ha) en 3 submuestras de 3 mts lineales en cada unidad experimental.
- c. % de N en planta por el Método de Kjendhal.

### 2. A los 15 días post-instalación (Z 3.3)

- a. Biomasa (Kg Ms/ha) en 3 submuestras de 3 mts lineales en cada unidad experimental.
- b. % N planta por el Método de Kjendhal.

### 3. A Z 4.7-4.9

- a. Biomasa (Kg MS /ha) en 3 submuestras de 3 mts lineales en cada unidad experimental.
- b. % N planta entera y hoja bandera por el Método de Kjendhal. Se muestrearon 50 hojas en cada unidad experimental.

- c. Clorofila en hoja bandera con un SPA 2000.

#### 4. Pre-cosecha

- a. Biomasa total (Kg MS/ha) en 3 submuestras de 3 mts lineales en cada unidad experimental.
- b. Espigas por metro cuadrado en un área de dos metros por dos surcos repetidos cuatro veces en cada unidad experimental.

#### 5. A la Cosecha

- a. En los parcelones: cosecha con máquina comercial (4.87 mts\*75 mts).
- b. En las parcelas con nitrógeno tardío: cortes de 20 surcos por 2 mts.
- c. En las parcelas del DBCA: cortes de 4.8 mt<sup>2</sup>.
- d. Corte de 50 espigas para cálculo de peso de 1000 granos.

#### 6. Post-cosecha

- a. Para un área de cosecha de 75 mts de largo\*4.87 mts de ancho, se estimó el rendimiento de cada tratamiento corrigiéndose por humedad a un 12 %.
- b. Peso hectolítrico, calculado por medio de un instrumento, el cual mide el peso de un volumen conocido. Esto se lleva a valores de tabla previamente estandarizados.
- c. Peso de 1000 granos. Conteo y peso de 100 granos repetido tres veces utilizándose una balanza de precisión.
- d. Granos por espiga. Sobre la base del peso de 1000 granos y el trille de las 50 espigas muestreadas.
- e. % de N en grano y paja por el método de Kjendhal. Si bien el método esta pensado para trabajar con grano entero las muestras se muelen con el objetivo de homogeneizar las mismas. A partir del % de N en grano, se calculó el % de proteína, multiplicando el primero por 5,7.

### D. ANALISIS ESTADISTICO

Sobre la base de que en el 73 % de los sitios estudiados no existieron repeticiones, la respuesta al agregado de N en Z 3.0 y Z 4.7, se analizó por el ajuste de modelos lineales y no lineales. Dentro de los modelos lineales se utilizó el lineal y cuadrático, mientras que los modelos no lineales fueron Lineal-Lineal, Lineal-Plateau. Los modelos lineales se analizaron mediante un análisis de regresión, tomando como criterio de significancia  $P > F: 0.10$ . Para los modelos no lineales se utilizó un programa desarrollado por el Ing. Agr. Perdomo, C. (Ph.D, Profesor Agregado de la Cátedra de Fertilidad de Suelos), utilizando el procedimiento Solver del Programa EXCEL.

En el estudio de la respuesta al agregado de N, los modelos se ajustaron de forma que la respuesta fuera explicable en términos biológicos. Si bien en algunos casos, la respuesta fue significativa para el modelo, como será explicado en los casos pertinentes careció de importancia en términos agronómicos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### A. Características climáticas del año 1999.

Este fue un año particular en cuanto a régimen de precipitaciones y temperaturas. En la siguiente figura se presentan las diferencias con las serie histórica para cada localidad en estudio.

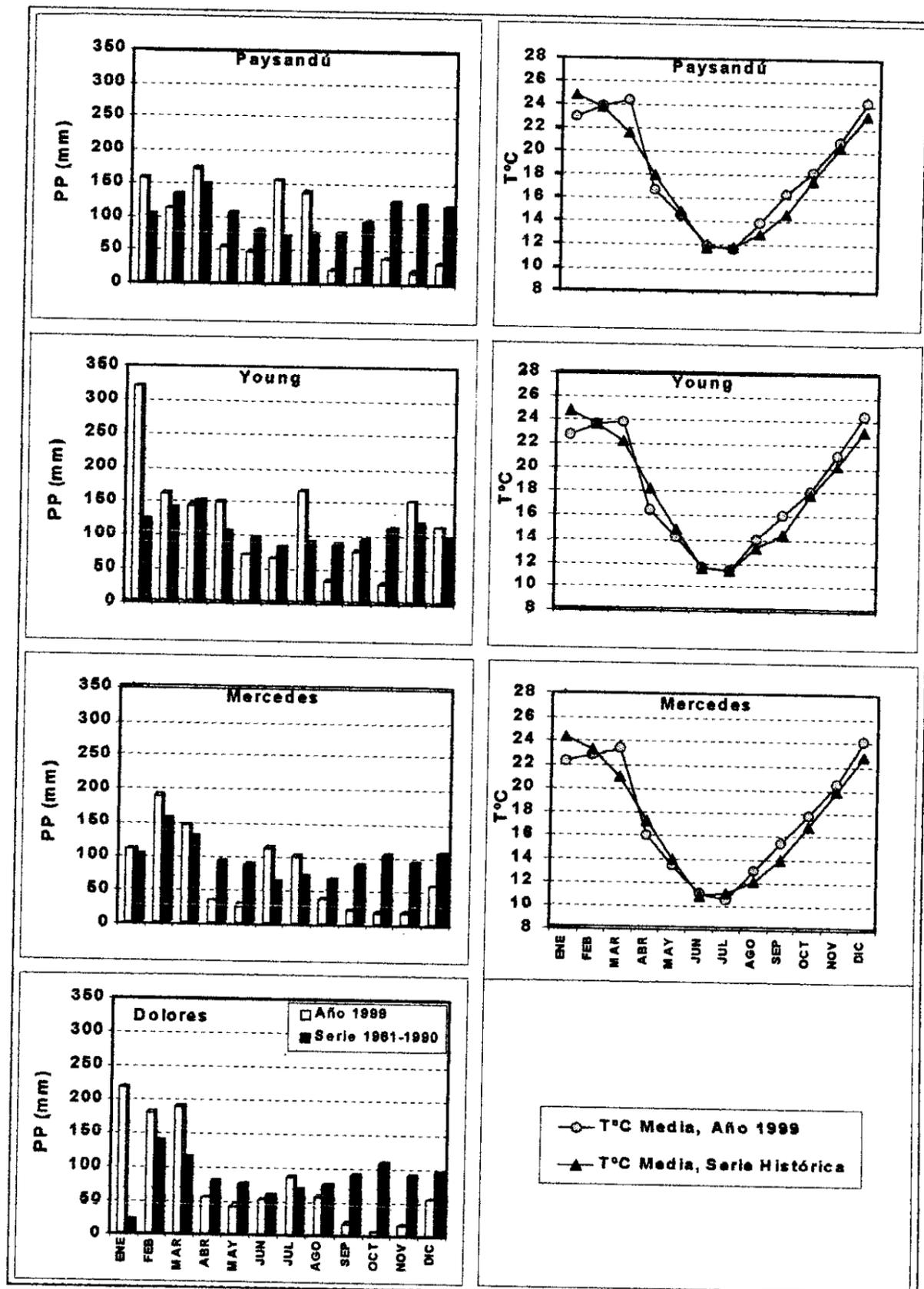


Figura 1: Promedio de Precipitaciones y Temperaturas del Año 1999, y serie histórica (SH) (1961-1990). (Localidad de Young: SH de temperaturas medias 1979-1999. Localidad de Dolores: SH de Palmitas). (Fuente: D. N. M.).

Se observaron en todas las localidades dos períodos diferenciados. Desde mayo hasta julio inclusive, las precipitaciones mensuales fueron en general similares a la serie histórica o por encima de esta. Posteriormente, se dio un déficit en los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre (calculado como la diferencia entre las precipitaciones promedios mensuales del año 1999 y la serie histórica 1961-1990). Dentro de este período las localidades de Dolores, Mercedes y Paysandú presentaron una diferencia promedio con la media histórica de -69 mm por mes, lo que muestra la severidad de las condiciones hídricas del año. Sin embargo en la localidad de Young, la diferencia fue un 44 % menor en dicho período con respecto a las otras localidades (-30 mm por mes). En los meses de setiembre y noviembre esta diferencia fue escasa o nula. En la Figura 2 se muestra lo descrito anteriormente.

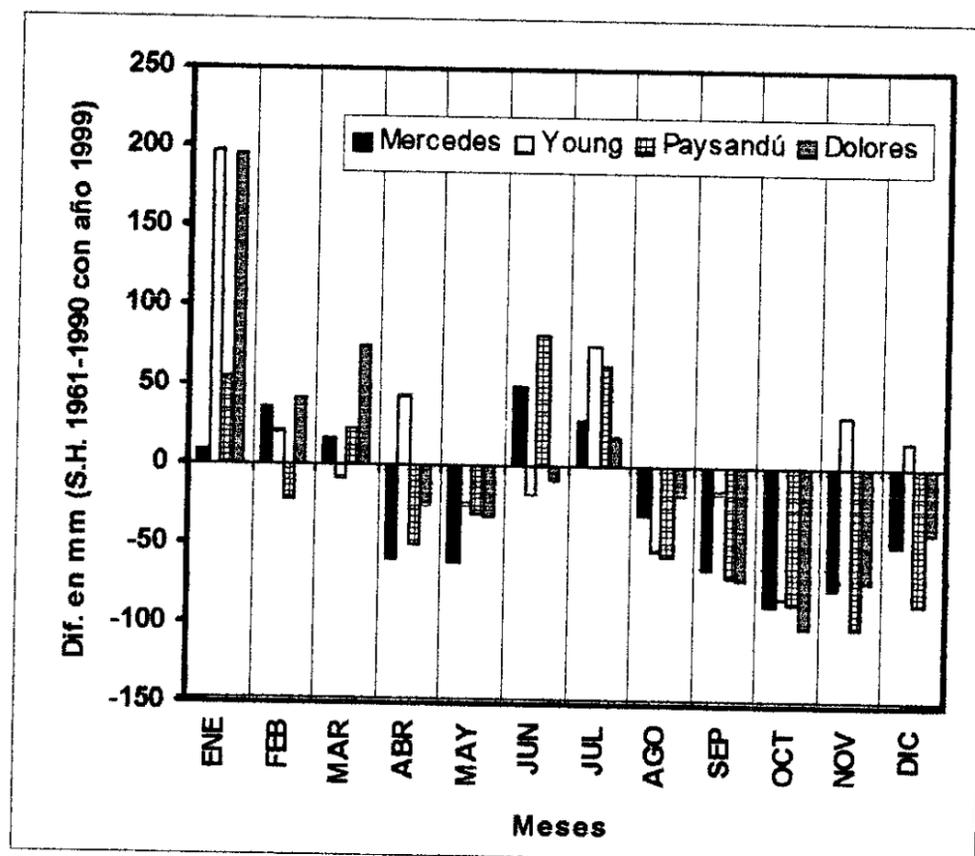


Figura 2: Diferencia de precipitaciones mensuales promedios entre el año 1999, y la serie histórica 1961-1990, para las localidades en estudio.

En lo que respecta al régimen térmico, en los meses de junio y julio, se considera como un año promedio. Posterior a este período la tendencia observada fue similar a la de las precipitaciones. Los meses más calurosos fueron agosto y setiembre con respecto a la serie histórica de cada localidad, como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2: Diferencia de temperatura promedio bimensual, entre el año 1999 y la serie histórica correspondiente para cada localidad.

Localidad	Diferencia de T(°C)		
	Jun-Jul	Ago-Set	Oct-Nov
Mercedes	-0.15	1.2	0.75
Young	0	1.15	0.65
Paysandú	0	1.4	0.65
<b>Total Promedio</b>	<b>0</b>	<b>1.3</b>	<b>0.7</b>

Es necesario aclarar que en la localidad de Dolores fue donde existieron las pérdidas más importantes de rendimiento por daños de heladas, de las cuales no se dispone de registros.

La información presentada, permite concluir que durante el período de macollaje y principios de encañado el año 1999 fue un año promedio en lo que a régimen térmico se refiere, mientras que las precipitaciones fueron similares o por encima de la serie histórica. Desde agosto en adelante, se observó un período de escasas precipitaciones y elevadas temperaturas. Esto se tratará con detalle en el siguiente capítulo, dado el efecto que esto trae en el rendimiento final de los cultivos.

## **B. Rendimiento y proteína en grano en respuesta al agregado de nitrógeno a Z 3.0 y Z 4.7.**

### **1. Introducción**

A pesar de las características climáticas del año el rendimiento en grano promedio para todas las localidades y sitios, fue de 3370 Kg/ha, mientras que el porcentaje de proteína fue 12.4 %. Las localidades de Paysandú y Dolores presentaron los rendimientos promedio más bajos del experimento (2683 y 3004 Kg/ha respectivamente), seguido de Mercedes y Young (3391 y 3782 Kg/ha respectivamente). Con respecto al porcentaje de proteína, Dolores es la localidad que presenta los porcentajes más bajos (11.9 %), siendo en Mercedes y Young 12.5 y 12.4 % respectivamente. En la localidad de Paysandú se observa el nivel más alto de proteína (13.3 %), lo que podría explicarse por los bajos rendimientos en grano.

En lo que respecta al agregado de N en Z 3.0, el 90 % de los sitios estudiados presentó respuesta significativa en rendimiento en grano. Dolores, presenta 5 sitios con respuesta positiva al agregado de N (2, 4, 5, 6 y 8), mientras que en los sitios 3 y 7 no se observó respuesta.

En el caso de la localidad de Mercedes, el sitio 14 mostró respuesta negativa en rendimiento, mientras que el resto de los sitios presentó respuesta positiva al agregado de N en este estadio.

En Young-Paysandú, a excepción del sitio 40 que no presentó respuesta el resto mostró respuesta positiva al agregado de N.

Como fue explicado en materiales y métodos, los modelos utilizados para explicar la respuesta en rendimiento y proteína ajustan significativamente independiente de la magnitud de la respuesta.

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan los modelos ajustados para el rendimiento (Kg/ha) y el porcentaje de proteína en función del agregado de N en Z 3.0 con y sin N a Z 4.7, para cada localidad y sitio. En los cuadros 3 y 4 se presenta el resumen de los modelos utilizados para explicar la respuesta en rendimiento en grano y proteína.

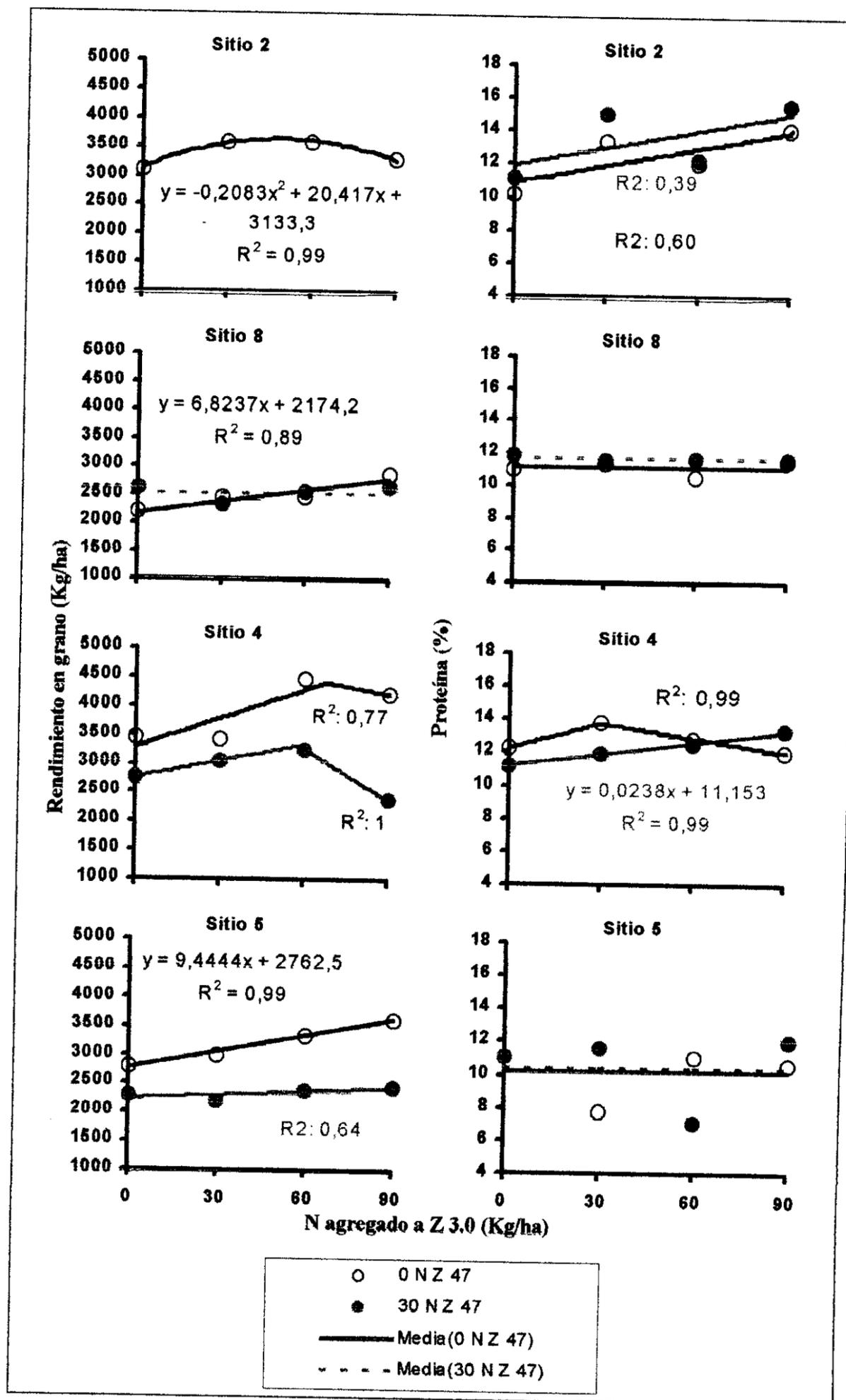


Figura 3a : Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Dolores. Ver Anexos 5, 6 y 7.

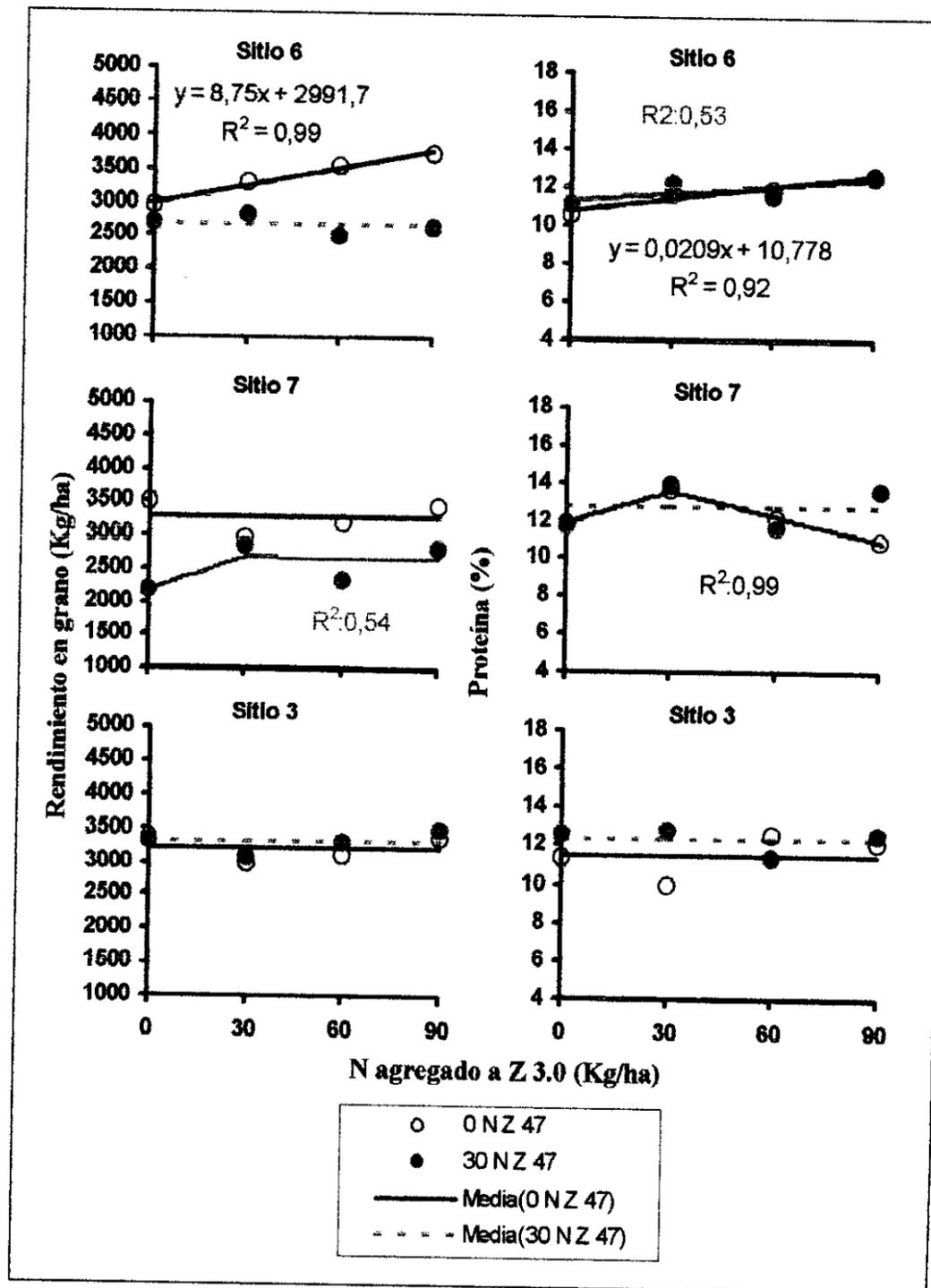


Figura 3b: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Dolores. Ver Anexos 5 y 7.

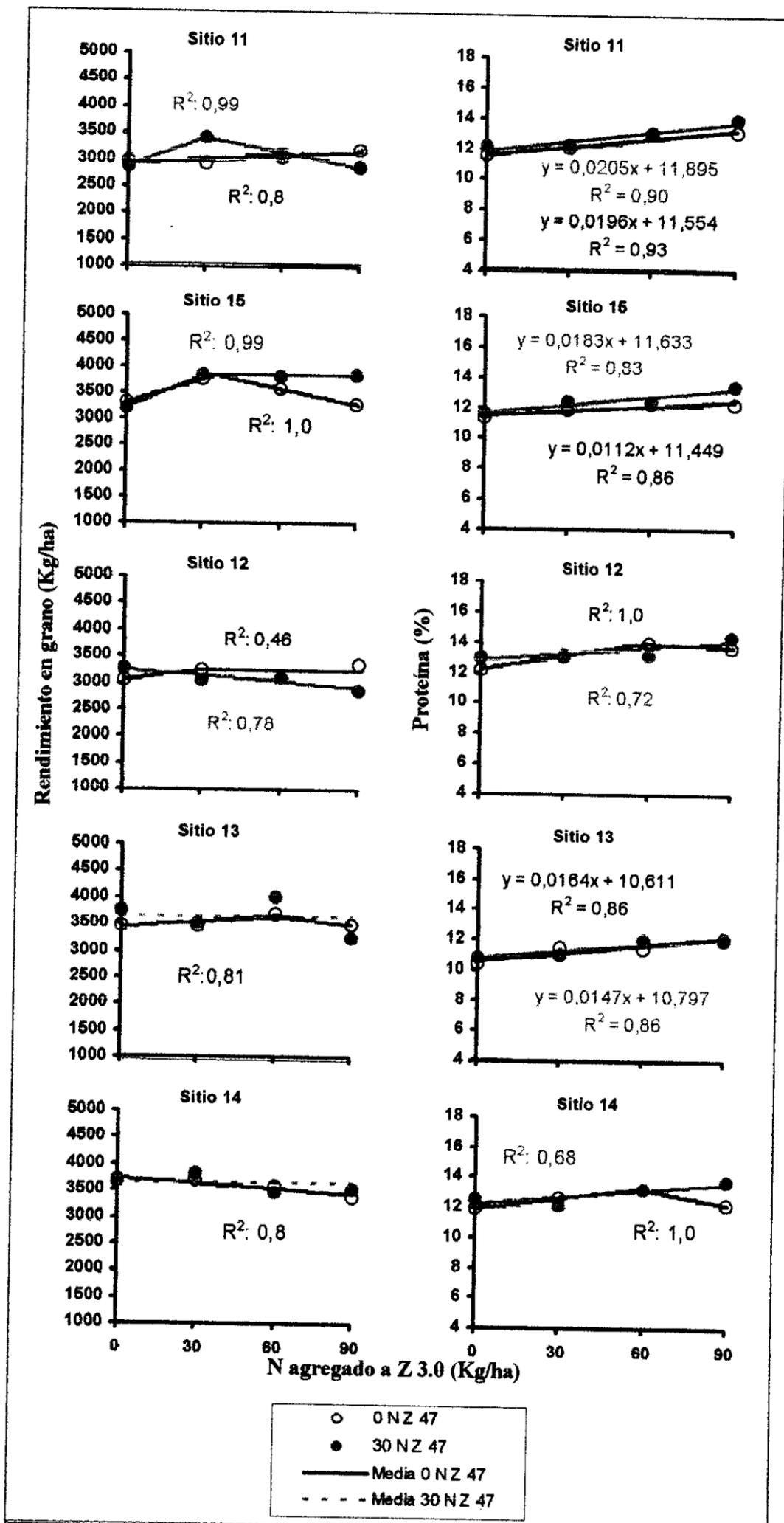


Figura 4: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%) según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Mercedes. Ver Anexos 7 y 8.

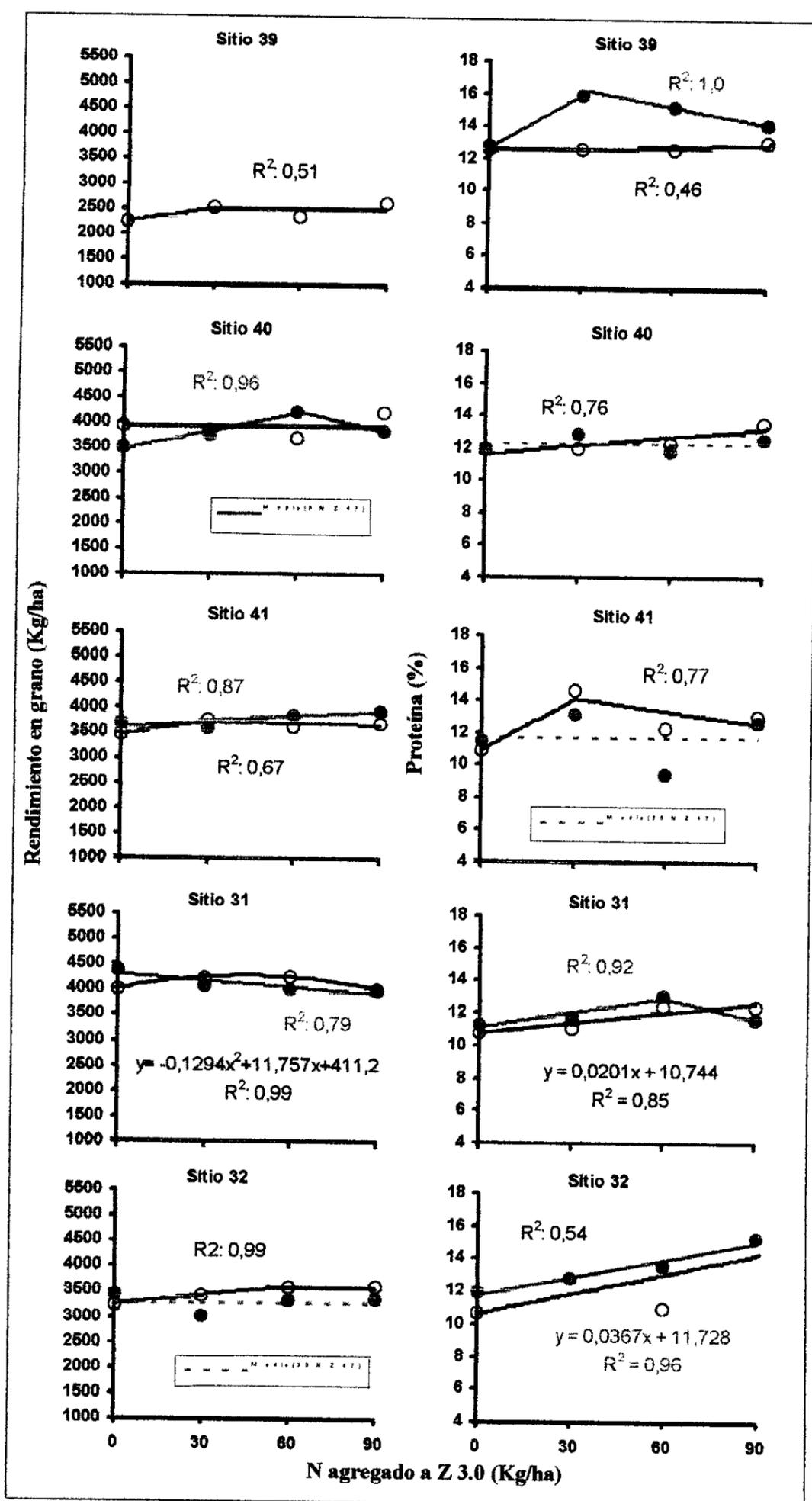


Figura 5a: Rendimiento en grano (Kg/ha) y proteína (%) según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Young-Paysandú. Ver Anexos 6 y 9.

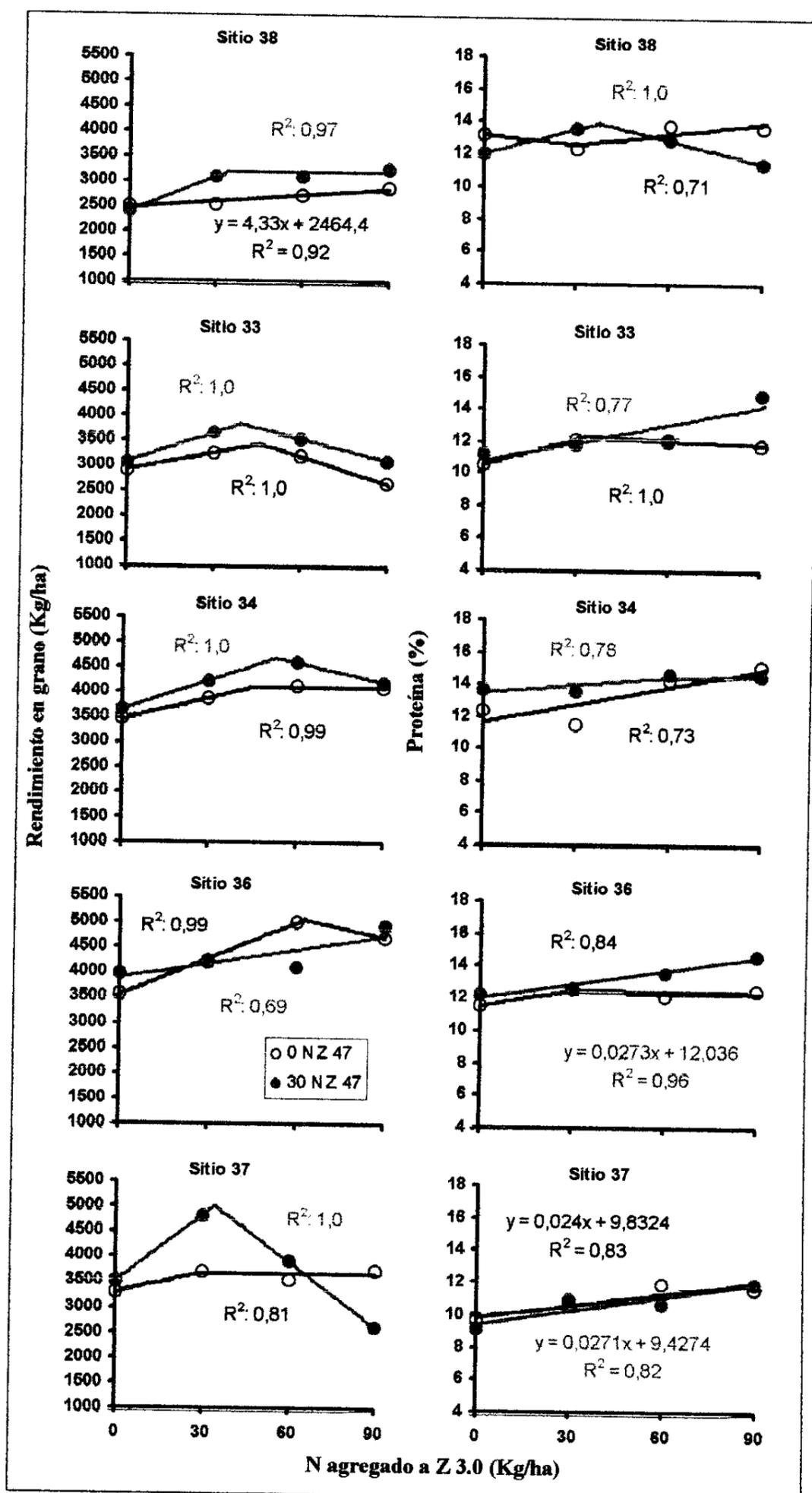


Figura 5b: Rendimiento en grano(Kg/ha) y proteína(%), según el agregado de N en Z 3.0, con 0 y 30 Kg de N/ha en Z 4.7, para la localidad de Young-Paysandú. Los sitios 38 y 39 corresponden a la localidad de Paysandú. Ver Anexos 6, 9 y 10.

Cuadro 3: Resumen de los modelos ajustados para la respuesta en rendimiento según el agregado de N a Z 3.0 para todas las localidades y sitios.(0 N Z .47).

Sitio	Modelo	P>F	R <sup>2</sup>	Niv.Crítico*	a	b	c	a2	b2	Máximo	RR	Inc.Y
2	C	0,063	0,99	49	3133	20,42	-0,21	-	-	3634	0,86	500
3	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0
4	L-L	0,05	0,77	68	3278	16,67	-	4997	-8,76	4278	0,77	1000
5	L	0,004	0,99	90	2763	9,44	-	-	-	3612	0,76	850
6	L	0,006	0,99	90	2992	8,75	-	-	-	3779	0,79	788
7	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,00
8	L	0,056	0,89	90	2174	6,82	-	-	-	2788	0,78	614
11	L-L	0,05	0,80	90	2911	2,62	-	-36,9	35,37	3147	0,93	236
12	L-P	0,05	0,46	28	3035	7,11	-	-	-	3231	0,94	196
13	L-L	0,05	0,81	61	3436	3,83	-	4029	-5,97	3666	0,94	230
14	L-L	0,05	0,80	90	3738	-3,39	-	3432	0,00	3432	1,09	-305
15	L-L	0,05	1,00	35	3313	14,88	-	4186	-10,07	3834	0,86	520
31	C	0,034	1,00	45	4011	11,76	-0,13	-	-	4278	0,94	267
32	L-P	0,05	0,99	57	3248	6,03	-	-	-	3591	0,90	343
33	L-L	0,05	1,00	46	2912	11,23	-	4249	-17,80	3429	0,85	517
34	L-P	0,05	1,00	46	3456	14,13	-	-	-	4101	0,84	645
36	L-L	0,05	1,00	63	3545	24,13	-	5872	-13,01	4993	0,71	1448
37	L-P	0,05	0,81	28	3300	12,65	-	-	-	3658	0,90	358
38	L	0,0424	0,92	90	2464	4,33	-	-	-	2854	0,86	390
39	L-P	0,05	0,51	28	2243	8,82	-	-	-	2490	0,90	247
40	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,00
41	L-L	0,05	0,87	30	3466	8,63	-	3753	-0,98	3724	0,93	258

Cuadro 4: Resumen de los modelos ajustados para la respuesta en proteína según el agregado de N a Z 3.0 para todas las localidades y sitios.

Sitio	Modelo	P>F	R <sup>2</sup>	Niv.Crítico*	A	c	a2	b2	Máximo	PR	Inc.Prot
2	L-L	0,05	0,60	90	10,9	0,03	-0,13	0,16	13,98	0,78	3,10
3	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	L-L	0,05	0,99	30	12,2	0,05	-	-0,03	13,74	0,89	1,50
5	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	L	0,038	0,92	90	10,8	0,02	-	-	12,66	0,85	1,88
7	L-L	0,05	1,00	30	11,9	0,06	14,89	-0,04	13,57	0,88	1,68
8	s/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	L	0,036	0,93	90	11,6	0,02	-	-	13,32	0,87	1,76
12	L-L	0,05	1,00	59	12,2	0,03	14,55	-0,01	13,95	0,87	1,76
13	L	0,072	0,86	90	10,6	0,02	-	-	12,09	0,88	1,48
14	L-L	0,05	1,00	58	11,9	0,02	15,10	-0,03	13,24	0,90	1,33
15	L	0,072	0,86	90	11,4	0,01	-	-	12,46	0,92	1,01
31	L	0,080	0,85	90	10,7	0,02	-	-	12,55	0,91	1,10
32	L-L	0,05	0,54	90	10,6	0,04	-1,04	0,17	14,23	0,75	3,63
33	L-L	0,05	1,00	33	10,5	0,05	12,54	-0,01	12,27	0,86	1,73
34	L-L	0,05	0,73	90	11,6	0,04	-0,16	0,17	14,90	0,78	3,26
36	L-L	0,05	0,84	30	11,5	0,03	12,56	0,00	12,49	0,92	0,98
37	L	0,089	0,83	90	9,8	0,02	-	-	11,99	0,82	2,16
38	L-L	0,05	0,71	30	13,2	-0,02	11,89	0,02	12,57	1,05	-0,60
39	L-L	0,05	0,46	90	12,5	0,00	-0,17	0,14	12,88	0,97	0,38
40	L-L	0,05	0,76	90	11,6	0,02	-0,36	0,15	13,20	0,88	1,58
41	L-L	0,05	0,77	30	10,9	0,11	14,86	-0,03	14,09	0,77	3,23

L-L: Modelo Lineal-Lineal  
s/a: sin ajuste

L-P: Lineal-Plateau  
s/d: sin dato

C: Cuadrático

L: Lineal

NC: Corresponde a la dosis óptima a Z 3.0

De acuerdo a las características del año, principalmente a las escasas precipitaciones ocurridas posterior al estadio Z 3.0, se podría esperar que la proporción de sitios con respuesta fuera menor. Sin embargo, como se verá en el capítulo siguiente, a pesar de la alta proporción de sitios con respuesta, la magnitud de esta es escasa.

## 2. Respuesta al agregado de N en Z 3.0

Cuando analizamos para todas las localidades y sitios el comportamiento al agregado de N en Z 3.0, la respuesta fue de 11 Kg de grano/kg de N agregado, inferior a la observada en el año 1998 (16 Kg de grano/Kg de N agregado). En la Figura 6 se presenta dicho análisis.

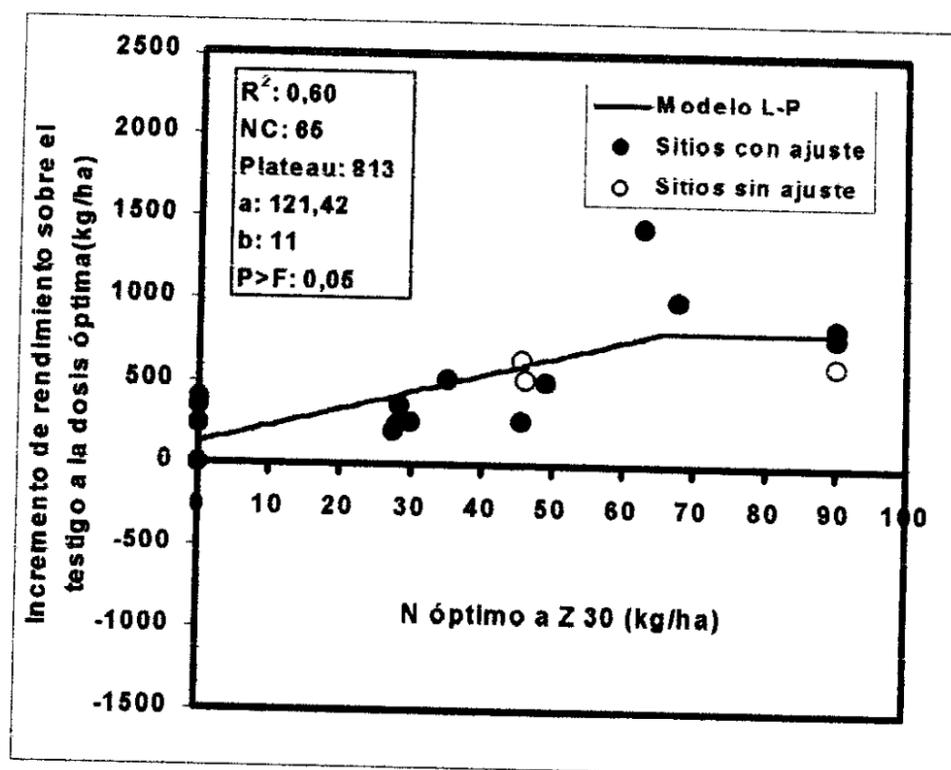


Figura 6: Incremento de rendimiento en grano (Kg/ha) para cada sitio, en función de la dosis óptima de N en Z 3.0 (0 N Z 4.7) para todas las localidades y sitios.

Estos resultados son esperables de acuerdo al régimen de precipitaciones del año 1999, y al igual que los resultados del año anterior la respuesta al agregado de N se mantiene constante a partir de las 65 unidades de N agregadas.

Por otro lado, en la figura anterior se observan los sitios en los cuales el modelo de Baethgen (1992) no ajustó (incluidos en el modelo Lineal-Plateau ajustado en la Figura 6). Como será explicado posteriormente, en estos sitios existió respuesta al agregado de N en Z 3.0, cuando por el modelo de Baethgen (1992) no se esperaba respuesta al agregado de N en este estadio.

En lo que respecta al porcentaje de proteína en grano, en la Figura 7 se muestra el nivel de proteína a la dosis óptima para rendimiento, con respecto a los testigos sin N. Esta dosis de N que se obtiene de los modelos mostrados en el cuadro 3, se sustituye en

los modelos del cuadro 4 lo que permite obtener el porcentaje de proteína a la dosis óptima para rendimiento en grano.

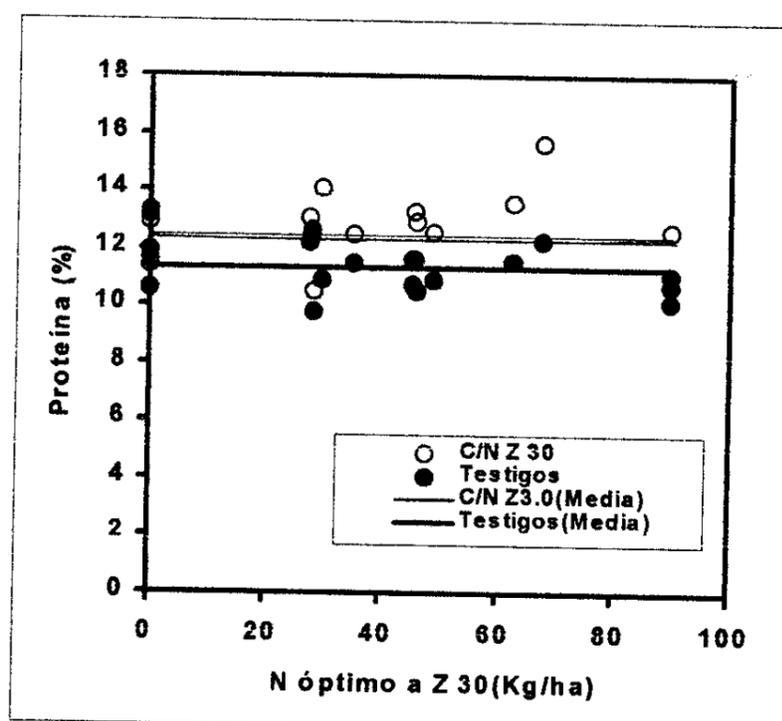


Figura 7: Proteína en grano según la dosis óptima de N para rendimiento en grano en Z 3.0, sin agregado de N en Z 4.7. (Ver Anexo 10).

El resultado de este análisis muestra que independientemente del N agregado a Z 3.0, los tratamientos con agregado de N se mantuvieron un 1.1 % en promedio por encima de los testigos (Figura 7). Las escasas precipitaciones ocurridas de Z 3.0 en adelante y los altos niveles probables de N presentes en el suelo, llevaron a que los niveles de proteína de los testigos fueran altos y se mantuvieran sin variación.

Por lo tanto existió una escasa relación entre el incremento de rendimiento y el comportamiento del porcentaje de proteína en grano. Con agregados de N en Z 3.0 por debajo de 65 Kg/ha, se logran incrementos de rendimiento manteniendo altos porcentajes de proteína en grano independientemente de la dosis de N agregada. Por encima de este valor el incremento de rendimiento permanece sin cambios al igual que el porcentaje de proteína.

Esta información contrasta con los resultados del año 1998 obtenidos por Hoffman *et al*, (1999), en el cual los altos rendimientos de los testigos sin N y las condiciones climáticas, llevaron a una disminución en los niveles de proteína en grano. Los autores encontraron que el agregado de N en Z 3.0 no incrementó el contenido de N en grano sino que evitó que este disminuyera.

En la siguiente figura se presenta la relación entre el rendimiento en grano y el porcentaje de proteína para los testigos y los tratamientos con N a Z 3.0 para el año 1999.

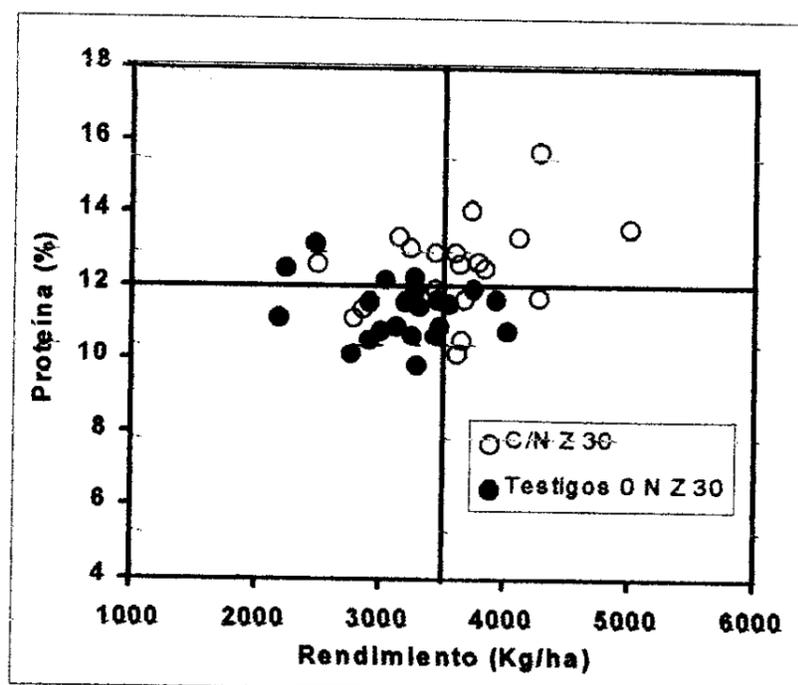


Figura 8: Proteína en grano (%) en función del rendimiento en grano (Kg/ha) y el agregado de N a Z 3.0 (0 N Z 4.7).

En la misma se puede observar la escasa relación mencionada anteriormente entre el incremento de rendimiento y el porcentaje de proteína en grano. No obstante esto confirma que solo los tratamientos con N agregado en Z 3.0 lograron mantener altos rendimientos y niveles elevados de proteína en grano.

Según lo discutido anteriormente, las características climáticas del año determinaron que los contenidos de N en grano de los testigos fuesen altos con relación al año anterior. Esto determinó que todos los tratamientos con agregados de N en Z 3.0 mantuvieron la proteína por sobre los testigos, contrario a lo observado en el año 1998 (Hoffman *et al.*, 1999), en donde el agregado de N evitó su disminución.

#### a. Análisis de la respuesta al agregado de N según el Modelo de Baethgen.

El análisis de la respuesta al agregado de N en Z 3.0 según el modelo de Baethgen (1992) se realizó tomando como potencial el rendimiento máximo, y el % de N en planta a Z 3.0 de cada sitio. En el cuadro 5 y en la Figura 9 se resume la información de los sitios a partir de la cual el modelo fue analizado.

Cuadro 5: Descripción de los sitios que fueron utilizados para el estudio del comportamiento del Modelo de Baethgen (1992), para el año en estudio (1999).

Sitio	Zona	Variedad	Banda	% N PI Z30	DO	DR	AJUSTE	R (Kg/há) DO Obs	Prot (%) DO Obs	Dif Rend DO Obs-DR	Dif Prot DO Obs-DR
2	Dolores	Mirlo	3	3,07	49	20	A	3634	12,57	84	1,0
3	Dolores	Mirlo	3	s/d	0	-	-	3208	11,53	-	-
4	Dolores	Mirlo	4	3,14	68	50	A	4278	15,64	167	0,9
5	Dolores	Cardenal	4	3,70	90	20	A	3612	10,14	661	0
6	Dolores	Cardenal	4	2,77	90	60	A	3779	12,66	263	0,6
7	Dolores	T605	3	3,93	0	0	A	3281	11,89	0	0
8	Dolores	Cardenal	3	3,35	90	0	NA	2788	11,12	614	0
11	Mercedes	P.Calidad	3	4,67	90*	0	A	3147	13,32	236	1,8
12	Mercedes	Tijereta	3	2,72	28	40	A	3231	13,03	0	-0,4
13	Mercedes	P.Puntal	3	3,23	61*	0	A	3666	11,61	231	1,0
14	Mercedes	Caburé	3	4,60	0	0	A	3738	11,91	0	0
15	Mercedes	Mirlo	3	2,97	35	20	A	3834	12,46	223	0,8
31	Young	T605	4	3,18	45	50	A	4278	11,65	3	-0,1
32	Young	Caburé	3	3,43	57*	0	A	3591	12,90	343	2,3
33	Young	Pelón	3	4,51	46	0	NA	3429	12,92	517	1,4
34	Young	T605	4	4,43	46	0	NA	4101	13,30	645	1,7
36	Young	Mirlo	4	3,16	63	50	A	4993	13,56	241	0,4
37	Young	Greina	3	2,42	28	50	A	3658	10,50	0	-0,5
38	Young	Boyero	3	3,30	90*	0	A	2854	11,37	390	-1,8
39	Young	P.Quintal	2	2,12	28	30	A	2490	12,62	0	0
40	Young	Greina	4	S/d	0	-	-	3927	11,62	-	-
41	Young	Caburé	3	2,98	30	20	A	3724	14,09	85	1,1

DO: Dosis óptima para maximizar rendimiento DR: Dosis recomendada por el modelo  
A: Ajuste NA: No ajuste. s/d: sin dato.

(\*): Sitos sin respuesta económica que presentaron ajuste del Modelo de Baethgen.

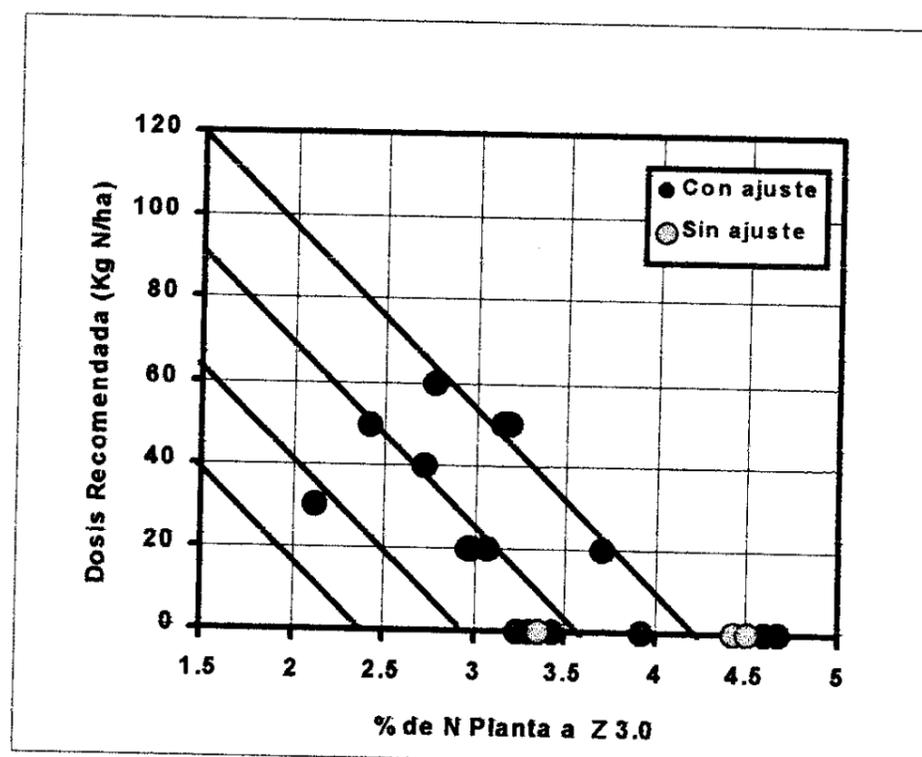


Figura 9: Modelo de respuesta al Nitrógeno en Z 3.0 (Baethgen 1992).

Del total de los sitios, 4 presentaron porcentajes de N en planta por encima del crítico (4.1 % N planta, según Baethgen 1992), mientras que el resto presentó diferencias no solo en el % de N en planta sino en el rendimiento en grano. A pesar de las características climáticas del año, es importante resaltar la alta variabilidad en ambos parámetros, ya que nos permite hacer un análisis más exhaustivo del comportamiento del modelo en diferentes situaciones.

En el total de los sitios estudiados, el modelo fue capaz de predecir la respuesta (en términos de respuesta o no respuesta) con una proporción de aciertos de un 85 %. Figura 10.

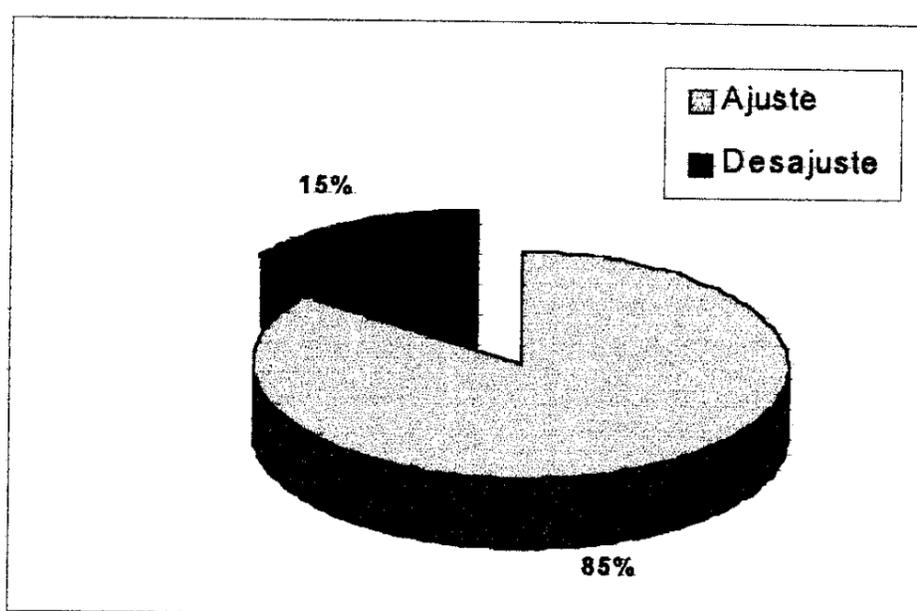


Figura 10: Proporción de aciertos en términos de respuesta o no respuesta al agregado de N en Z 3.0 predicha por el modelo de Baethgen (1992).

El 15 % de no aciertos correspondió a los sitios 8, 33 y 34. En estos tres sitios la dosis de N recomendada por el modelo fue 0 observándose respuesta al agregado de N. El sitio 8 presentó tanto un potencial de rendimiento como un % de N en planta bajos, mientras que en el sitio 33 el potencial de rendimiento fue bajo y el % de N en planta alto. El sitio 34 fue el único que presentó un alto potencial de rendimiento y un alto % de N en planta. Cuando se analizaron otras variables como la historia de chacra de los sitios 33 y 34, no fue posible explicar el comportamiento de estos (Ver ANEXOS 1, 2 y 3). Por tal motivo, pudo suceder que el muestreo de planta se halla realizado anterior a Z 3.0, y que a este estadio el porcentaje de N en planta fuera menor. Cabe resaltar que el sitio 8 presenta un comportamiento similar.

En los sitios 11, 13, 32 y 38 existió respuesta significativa al agregado de N, pero en términos de Kg de grano/Kg de N agregado ésta fue muy baja (4 Kg de grano/Kg de N agregado). El estudio económico de la misma determinó que fueran necesarios 6,4 Kg de trigo/kg de N agregado para pagar el costo de la aplicación. Por lo tanto, en estos sitios se considera que el Modelo ajusta ya que la respuesta al agregado de N es menor o igual al costo de la aplicación. En el ANEXO 4 se muestran los cálculos realizados.

Del total de los casos en los que el Modelo fue capaz de predecir la respuesta, en un 35 % de los sitios la dosis óptima observada fue cero. En el 65 % restante, el modelo recomendó 37 Kg de N/ha en promedio, mientras que la dosis óptima observada fue 50. Cuadro 6.

Cuadro 6: Incrementos de rendimiento en grano por sobre los testigos (Kg/ha), porcentaje de proteína y eficiencia de uso del N para la dosis recomendada por el Modelo de Baethgen y la dosis óptima para rendimiento en grano para los sitios con ajuste y respuesta al agregado de N a Z 3.0.

Sitio	Varietal	DR Kg N/ha	DO Kg N/ha	EF DR (Kg grano/Kg N aplicado)	EF DO (Kg grano/Kg N aplicado)	Prot DR (%)	Prot DO (%)	Inc. Rend DR Kg/ha	Inc. Rend DO Kg/ha
2	Mirlo	20	49	21	10	11,57	12,57	417	500
4	Mirlo	50	68	17	15	14,74	15,64	833	1000
5	Cardenal	20	90	9	9	10,14	10,14	189	650
6	Cardenal	60	90	9	9	12,03	12,66	525	788
12	Tijereta	40	28	5	7	13,39	13,03	196	196
15	Mirlo	20	35	15	15	11,67	12,46	298	520
31	T605	50	45	5	6	11,75	11,65	264	267
36	Mirlo	50	63	24	23	13,14	13,56	1207	1448
37	Greina	50	28	7	13	11,03	10,50	358	358
39	P.Quintal	30	28	8	9	12,62	12,62	247	247
41	Caburé	20	30	9	9	13,01	14,09	173	258
<b>Total Promedio</b>		<b>37</b>	<b>50</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12,3</b>	<b>12,6</b>	<b>428</b>	<b>585</b>

**DR:** Dosis recomendada por el Modelo, **DO:** Dosis óptima observada, **EFDR:** Eficiencia de uso del N a la dosis recomendada por el modelo, **EFDO:** Eficiencia de uso del N a la dosis óptima observada (Kg de grano/Kg de N aplicado). **Inc. Rend :** incremento de rendimiento por sobre el testigo.

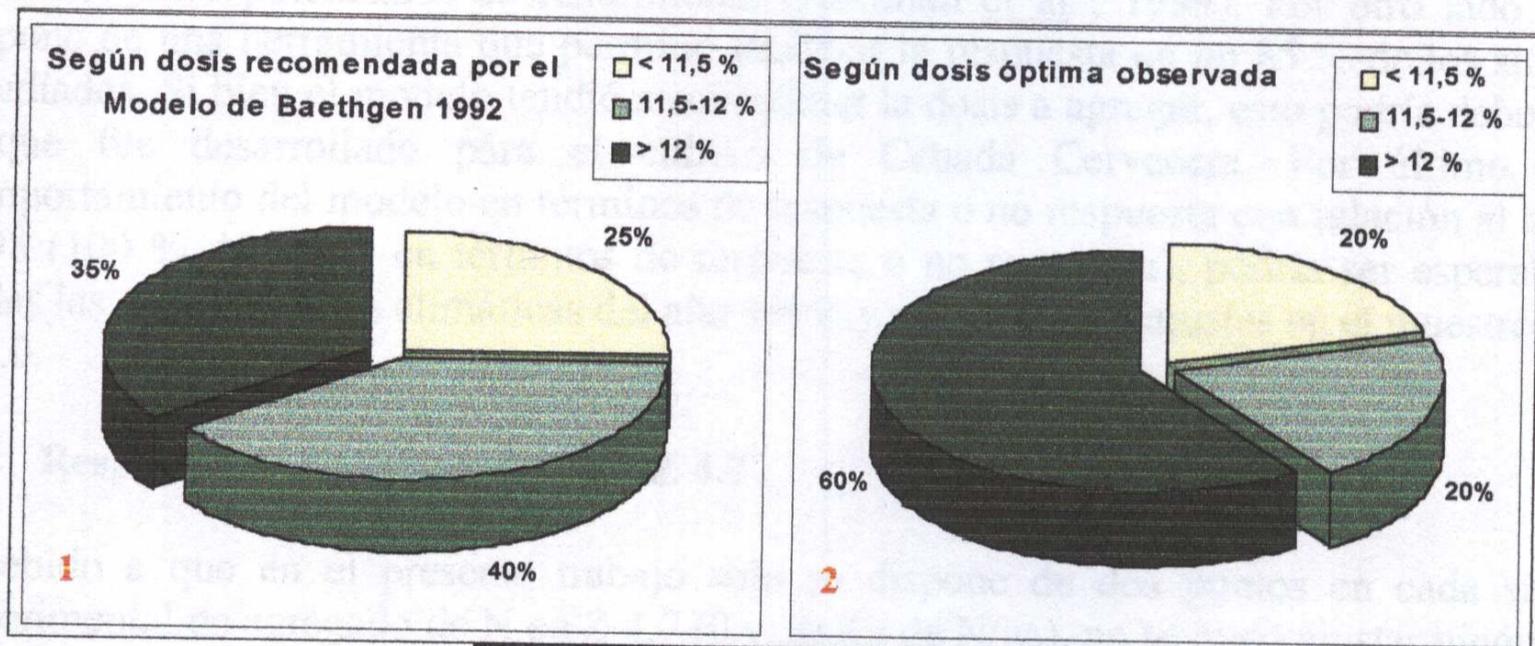
Como se muestra en el cuadro la relación entre las dosis de N estudiadas fue escasa. Si bien comparando ambas dosis en promedio la eficiencia de uso del N no cambia, el incremento de rendimiento fue mayor con la dosis óptima observada (DO) debido a que estas fueron superiores. Así, en un 64 % de los casos (sitios 2, 4, 5, 6, 15, 36 y 41) el modelo subestimó la dosis de N a agregar para rendimiento.

Con respecto al porcentaje de proteína, a pesar de las diferencias entre la dosis óptima observada y la predicha por el modelo, esta no presentó cambios en el promedio de las localidades. Cuando se compara el porcentaje de proteína en grano dentro de un mismo

sitio a la dosis óptima y recomendada por el modelo, se observa como era esperable, que aumentos en la eficiencia de uso del N (kg de grano/Kg de N agregado) llevan a disminuciones en los porcentajes de proteína en grano.

En los casos en donde el modelo subestimó la dosis de N a agregar, los porcentajes de proteína en grano siempre fueron levemente inferiores a los obtenidos con la dosis óptima (0.64 % en promedio). Debido a que el Modelo fue desarrollado para cebada cervecera, los resultados son coherentes ya que este considera no solo los incrementos de rendimiento sino también los niveles de proteína en grano. Así, a pesar de tratarse del cultivo de trigo, la dosis recomendada por el modelo mantiene el rendimiento y la proteína en grano muy poco por debajo de los obtenidos a la dosis óptima observada.

De igual forma se realizó un estudio con el objetivo de comparar la distribución de los porcentajes de proteína de los diferentes sitios a la dosis recomendada por el Modelo y a la dosis óptima observada, fijando el máximo de proteína en 11.5%. Figura 11.



Rango	% de proteína promedio	
	DR	DO
< 11,5 %	10.7	10.8
11,5-12 %	11.7	11.7
> 12 %	13.2	13.3

DR: Dosis recomendada por el modelo de Baethgen  
DO: Dosis óptima observada

Figura 11: Proporción de sitios con porcentajes de proteína en grano inferior a 11.5 %, entre 11.5 y 12 %, y mayor a 12 % en función de las dosis recomendada por el modelo de Baethgen (1992) y la dosis óptima para rendimiento observada.

Se puede observar que en la dosis óptima observada para rendimiento (Figura 11-2), el 80 % de los sitios presentaron niveles de proteína superiores al crítico establecido (11,5 %). A su vez, de este total la mayor proporción corresponde a casos donde la proteína fue superior a 12 %. En cambio, cuando se analiza en función de la recomendación del modelo de Baethgen 1992 (Figura: 11-1), el 75 % presenta porcentajes de proteína superiores a 11.5 %, pero solo el 35 % de los casos, superiores a 12. Por tal motivo,

como era esperable, si el cultivo en cuestión fuera cebada el comportamiento del modelo sería superior.

Sin embargo, no deja de ser importante el uso del Modelo para el caso de trigo, ya que la proporción de sitios con más de 11.5 % de proteína es muy similar al encontrado para la dosis óptima para rendimiento (75 y 80 % respectivamente). A pesar de que las dosis óptimas observadas para rendimiento fueron mayores a las predichas por el modelo, no se alteró la proporción de sitios con porcentajes de proteína en grano inferiores a 11.5. Esto se asocia a las características climáticas del año, que llevaron a altos niveles probables de N en el suelo, determinando elevados porcentajes de proteína en los testigos.

En un año tan particular como fue 1999, existió igualmente respuesta al agregado de N en Z 3.0. Esto muestra la importancia que tiene el agregado de N en este estadio para concretar altos potenciales de rendimiento (Hoffman *et al* , 1999). Por otro lado, se dispone de una herramienta que permitió predecir la respuesta en un 85 % de los sitios estudiados. Si bien el modelo tendió a subestimar la dosis a agregar, esto podría deberse a que fue desarrollado para el cultivo de Cebada Cervecera. Por último, el comportamiento del modelo en términos de respuesta o no respuesta con relación al año 1998 (100 % de ajuste en términos de respuesta o no respuesta), podría ser esperable dadas las características climáticas del año 1999, y a posibles desajustes en el muestreo a Z 3.0.

### **3. Respuesta al agregado de N en Z 4.7**

Debido a que en el presente trabajo solo se dispone de dos puntos en cada sitio experimental de agregado de N en Z 4.7 (0 y 30 Kg de N/ha), no se pudo ajustar ninguna regresión que permitiera describir la respuesta al agregado de N en este estadio. Por tal motivo, se decidió estudiar la respuesta en rendimiento y proteína en grano al agregado de N en Z 4.7 comparando ambas variables con y sin N en este estadio. Figura 12.

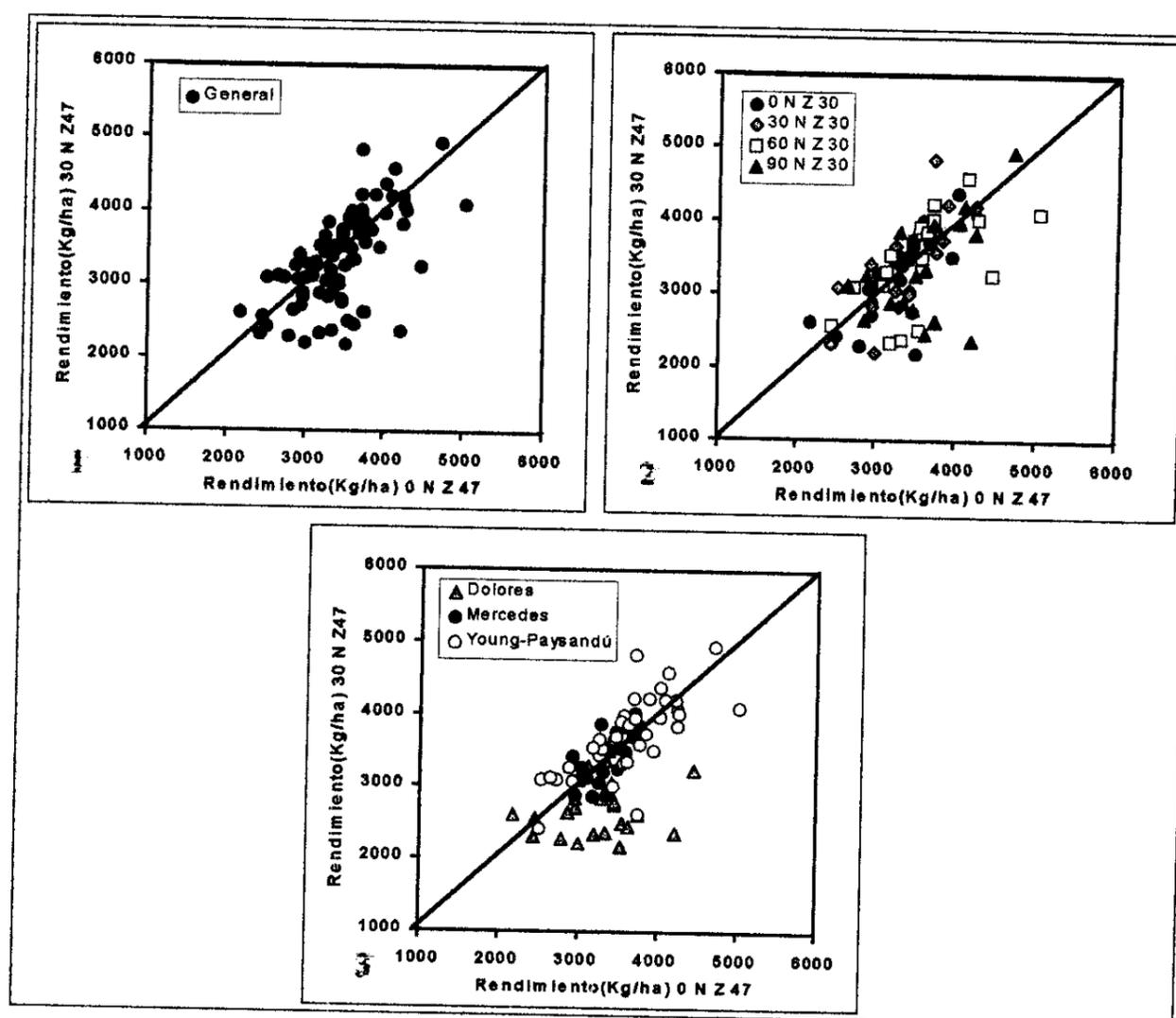


Figura 12: Grafica 1, 2, 3: Relación entre el rendimiento en grano con 0 N a Z 4.7 y 30 N a Z 4.7; para todas las localidades y niveles de N a Z 3.0.

La tendencia general (Figura 12-1) muestra que no existe efecto en el rendimiento en grano por el agregado de N en Z 4.7, observándose una gran variación y una serie de sitios que muestran una respuesta negativa al agregado de N. Por tal motivo se decidió estudiar la variable que explica en mayor medida dicho fenómeno separando los sitios por el agregado de N en Z 3.0 (Figura 12-2) y por la localidad a la cual pertenecen (Figura 12-3).

De este se desprende, que el agregado de N en Z 3.0 no explica la variación observada, y tampoco se visualiza una tendencia clara a que mayores dosis de N en Z 3.0 tengan un efecto sobre el rendimiento en grano cuando se agrega N en Z 4.7. Cuando analizamos el agregado de N en este estadio se observa que un 52 % de los sitios estudiados presentaron una disminución de rendimiento por el agregado de N en Z 4.7 independientemente de la dosis óptima agregada en Z 3.0. Estos resultados son similares a los obtenidos por Hoffman *et al.*, (1999), mencionados anteriormente.

Cuando se analiza la localidad, vemos que los sitios de Dolores presentaron una respuesta negativa en rendimiento en grano al agregado de 30 Kg de N/ha a Z 4.7 (Figura 12-3). Como se mostró anteriormente, esta localidad fue la que presentó una menor recarga de agua en el suelo en el período anterior al estadio de Z 3.0. Frederick, J.

R., y Camberato, J.J. (1994), determinaron que altas cantidades de N agregadas pueden aumentar la severidad del estrés por sequía debido a incrementos en el índice de área foliar lo que se acompaña de una disminución del agua en el suelo. Esto determina una disminución en la tasa fotosintética durante el llenado de grano y una disminución del peso de grano a madurez. Sin embargo contrariamente a lo observado por estos autores en las tres localidades estudiadas, el peso de grano no fue afectado.

En la localidad de Dolores el componente del rendimiento afectado por el agregado de N en Z 4.7 fue el número de espigas por metro cuadrado (Figura 13). Este efecto resultó independiente de la dosis de N agregada en Z 3.0, y debido a que el número de granos por espiga no aumento, no existió compensación de rendimiento. Esta tendencia también se observó en algunos sitios de Young-Paysandú y Mercedes pero a dosis altas agregadas de N en Z 3.0. Debido a que Dolores se definió en su conjunto como una localidad de bajo potencial de rendimiento esto confirma que los excesos de N son más perjudiciales en cultivos con bajo potencial. Además, el crecimiento de los cultivos a Z 3.0 en esta localidad fue alto en comparación a las otras localidades. Por lo tanto, el exceso de crecimiento anterior a este estadio pudo llevar a que los tallos fueran más desparejos lo que determinó un escaso crecimiento posterior. Así, el agregado de N en Z 4.7 pudo incrementar el déficit hídrico determinando una mayor competencia y mortalidad de tallos (Ver ANEXOS 19-21).

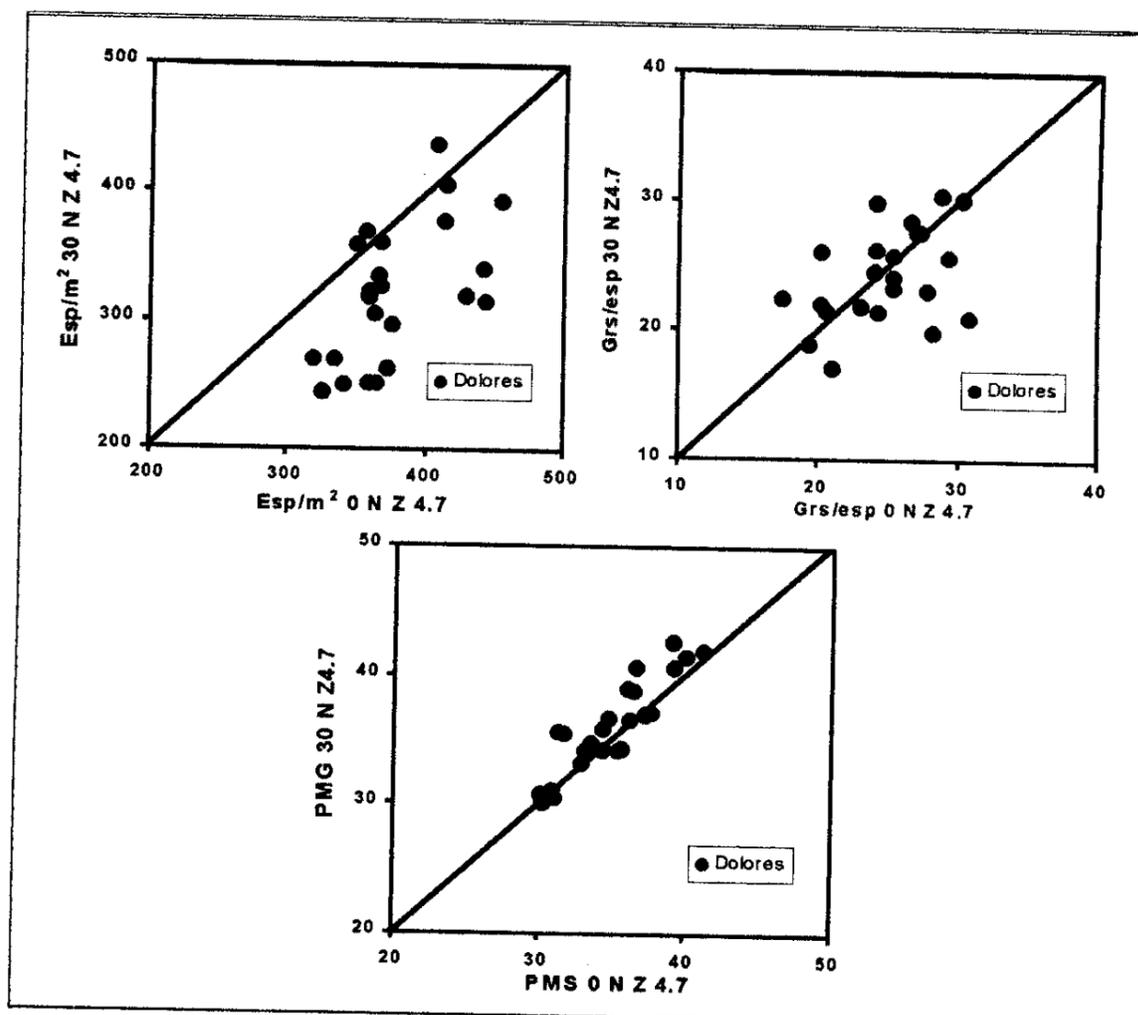


Figura 13: Relación entre los componentes del rendimiento con agregado de 0 y 30 N a Z 4.7, para la localidad de Dolores.

Para las otras dos localidades la tendencia no fue tan clara existiendo respuestas positivas o negativas al agregado de N en Z 4.7 con un comportamiento variable de los componentes del rendimiento. A pesar de esto se observó que en general las respuestas negativas estuvieron asociadas a aplicaciones de N óptimas anteriores a este estadio.

En lo que respecta al porcentaje de proteína, se decidió realizar el mismo análisis que para rendimiento, estudiando la tendencia general, según el agregado de N en Z 3.0 y según la localidad a la que pertenece cada sitio experimental. Figura 14.

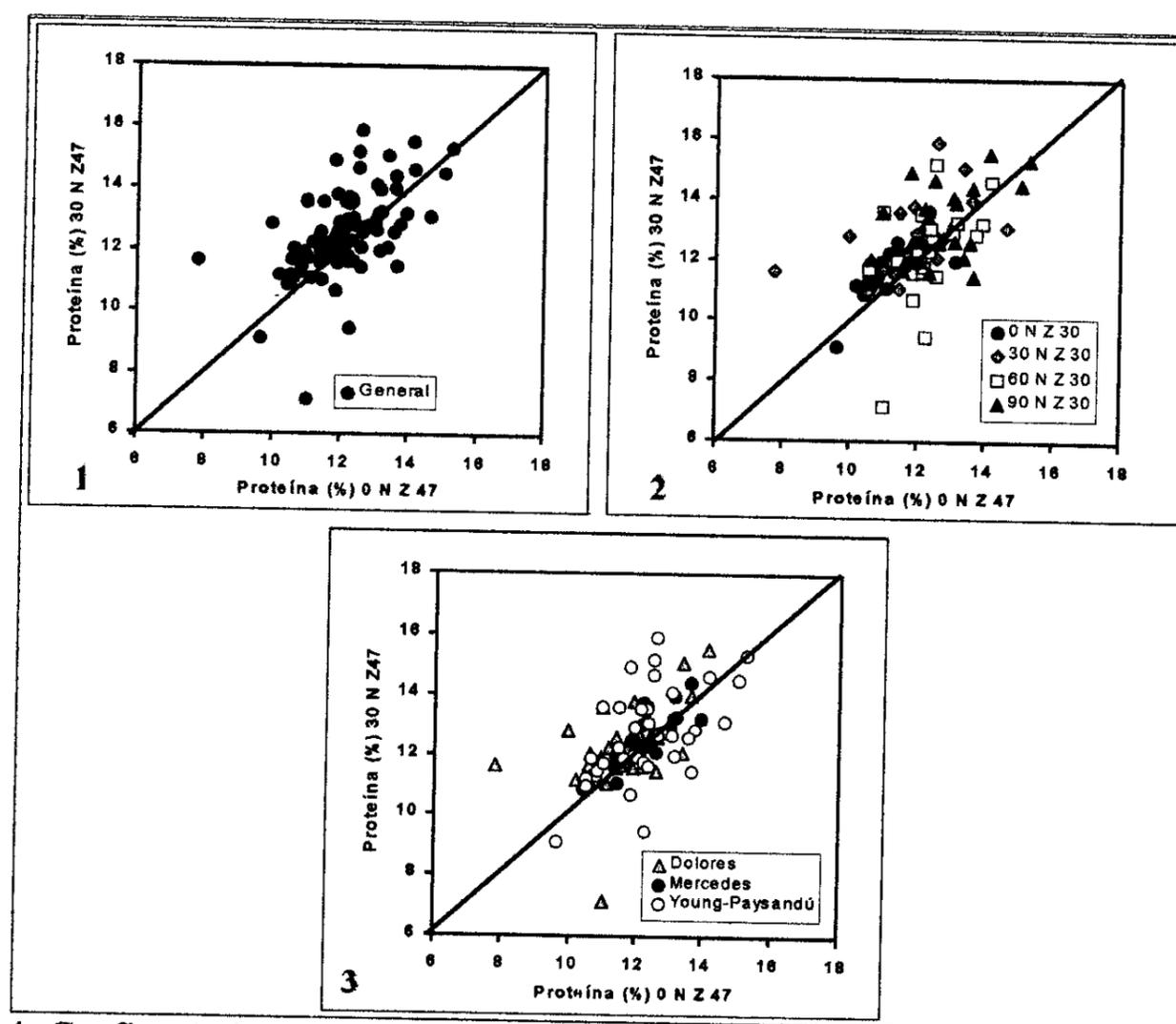


Figura 14: Grafica 1, 2, 3: Relación entre la proteína en grano con 0 N a Z 4.7 y 30 N a Z 4.7; para todas las localidades y niveles de N a Z 3.0.

Como se muestra en la figura anterior, tampoco se observó una tendencia en el porcentaje de proteína en respuesta al agregado de N a Z 4.7. En la localidad de Dolores a pesar de constatarse una disminución importante en el rendimiento en grano, no se observaron cambios en el porcentaje de proteína.

La escasa magnitud de la respuesta en rendimiento y proteína en grano, podría estar explicada en primer lugar por un elevado estado nutricional de los cultivos a Z 4.7 determinado por un alto aporte de N por parte del suelo. En segundo lugar, el déficit hídrico entorno a Z 4.7, pudo dificultar la utilización del N agregado en este estadio.

Comparando los resultados de este año con los resultados del año 1998 obtenidos por Hoffman *et al*, (1999) se corrobora que cuando el estado nutricional del cultivo a Z 3.0 es correcto, no se esperaría respuesta en el porcentaje de proteína en grano al agregado de N en Z 4.7.

#### a. Indicadores del agregado de N en Z 4.7

En la siguiente figura se muestra la relación entre los diferentes indicadores estudiados y la variación en rendimiento y proteína en grano para el año en estudio.

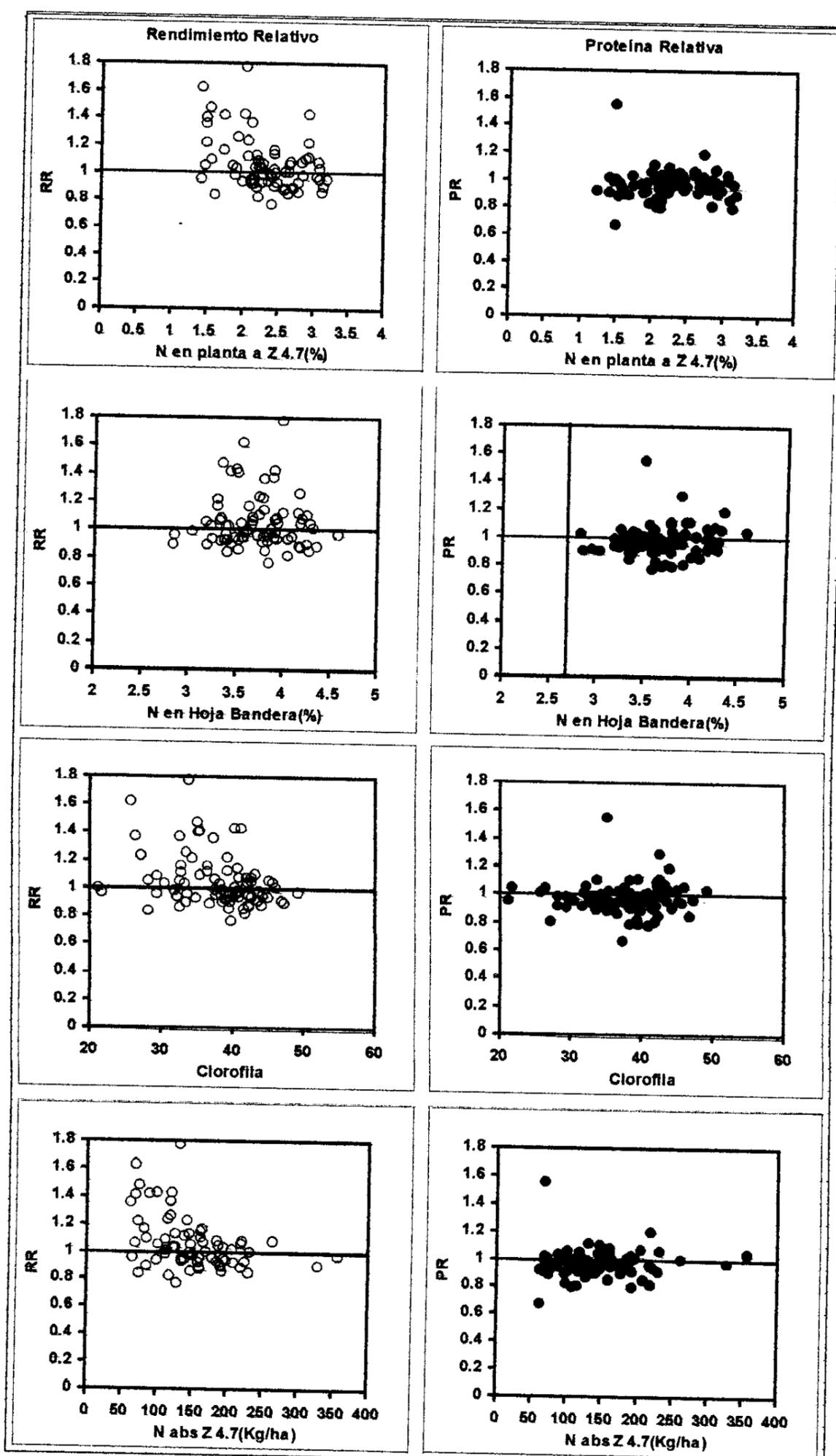


Figura 15: Relación entre posibles indicadores a Z 4.7 con el rendimiento relativo (RR) y proteína relativa (PR), para todas las localidades y sitios. (RR: Rend. Testigos sin N a Z 4.7/ Rend. con N a Z 4.7. PR: Prot. Testigos sin N a Z 4.7/Prot. con N a Z 4.7).

Existió escasa relación entre los diferentes indicadores seleccionados con el rendimiento relativo (Rendimiento de testigos sin N a Z 4.7 (Kg/ha)/ Rendimiento con N a Z 4.7 (Kg/ha)) y la proteína relativa (% de proteína de los testigos sin N a Z 4.7/ % de proteína con N a Z 4.7).

El otro indicador estudiado fue el porcentaje de N en planta a Z 4.7. Este indicador fue capaz de reflejar el estado nutricional de la planta ya que presentó una buena relación con la cantidad de N absorbido a Z 4.7 (Fig 16), observándose incrementos decrecientes con aumentos en el N absorbido en este estadio. A pesar de lo anterior, tuvo una escasa relación con la respuesta en rendimiento y proteína.

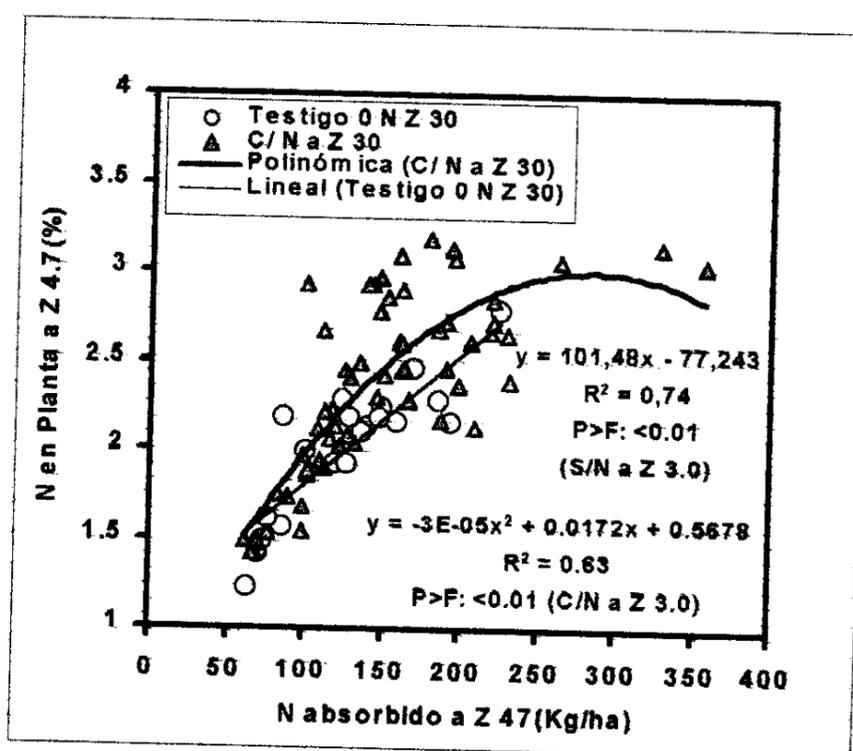


Figura 16: Relación entre el porcentaje de N en planta a Z 4.7 y N absorbido a Z 4.7 (Kg/Ha). Ver Anexo 10 y 11.

Por otra parte, a pesar del importante rango de variación del % N en planta a Z 4.7, no existe relación con el % N en HB ( $R^2$ : 0.2). Esto podría explicarse por una media producción de biomasa a Z 4.7 y una gran acumulación de N a este estadio por parte de los cultivos, lo que generó una alta concentración de N en la hoja bandera. Por tal motivo, el % de N en HB no refleja el estado nutricional del cultivo a Z 4.7.

Del estudio de los diferentes indicadores se concluye que ninguno de estos fue capaz de predecir la respuesta al agregado de N tardío. El porcentaje de N en planta a Z 4.7 fue capaz de reflejar en comparación con el resto de los indicadores, la mejora en el estado nutricional del cultivo como consecuencia del agregado de N en Z 3.0. A pesar de esto no se relacionó con la variación en rendimiento y proteína observada. Esto se debe a que como será discutido en el siguiente capítulo, la cantidad de N absorbido a Z 4.7, mostró escasa relación con rendimiento y proteína.

### A. Relación entre el crecimiento, absorción de N durante el ciclo del cultivo y las pérdidas de N.

Las curvas de acumulación de N y materia seca se dan en forma sigmoide (Pyare Lal y Sharma, 1973). En las siguientes figuras se muestran las curvas de crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo para las tres localidades.

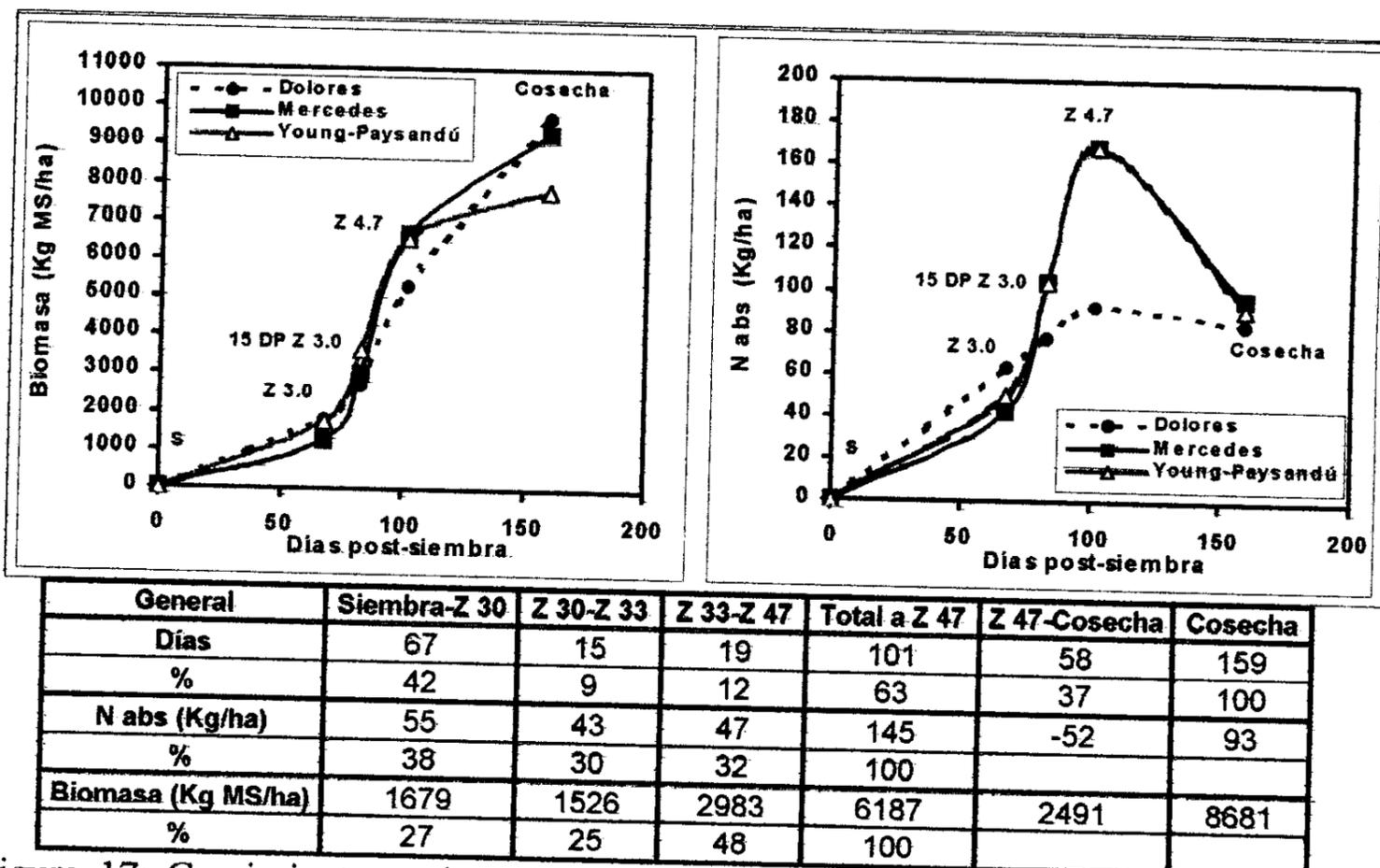


Figura 17: Crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo para las tres localidades en estudio. En el cuadro se muestran en promedio el crecimiento (Kg Ms/ha) y absorción de N (Kg/ha) durante el ciclo del cultivo para el promedio de todas las localidades y sitios.

Como era esperable de acuerdo a las características climáticas del año, se observaron elevadas tasas de absorción de N asociados a bajas tasas de crecimiento. Cuando se toma el promedio de todas las localidades y sitios, la absorción de N a Z 4.7 fue de 145 Kg/ha. La localidad de Dolores se aparta de la relación general para el período Z 3.0-Z 3.3 presentando una baja absorción de N a pesar de existir hasta este momento una tendencia a una mayor absorción. Con respecto al período posterior (Z 3.3-Z 4.7), siempre presentó valores de tasa de absorción menores a las otras dos localidades. Así, la biomasa total producida a Z 4.7 en esta localidad fue un 19.5% menor (1294 Kg de MS/ha) mientras que la absorción de N fue un 44.8 % menor con respecto al promedio de las otras dos localidades.

Posterior al estadio de Z 4.7, se observó una importante pérdida de N que representó un 36 % del N total absorbido a ese momento para el promedio de todas las localidades.

En lo que respecta a las tasas de crecimiento y absorción de N por parte del cultivo, en la figura 18 se presentan para el promedio de todas las localidades.

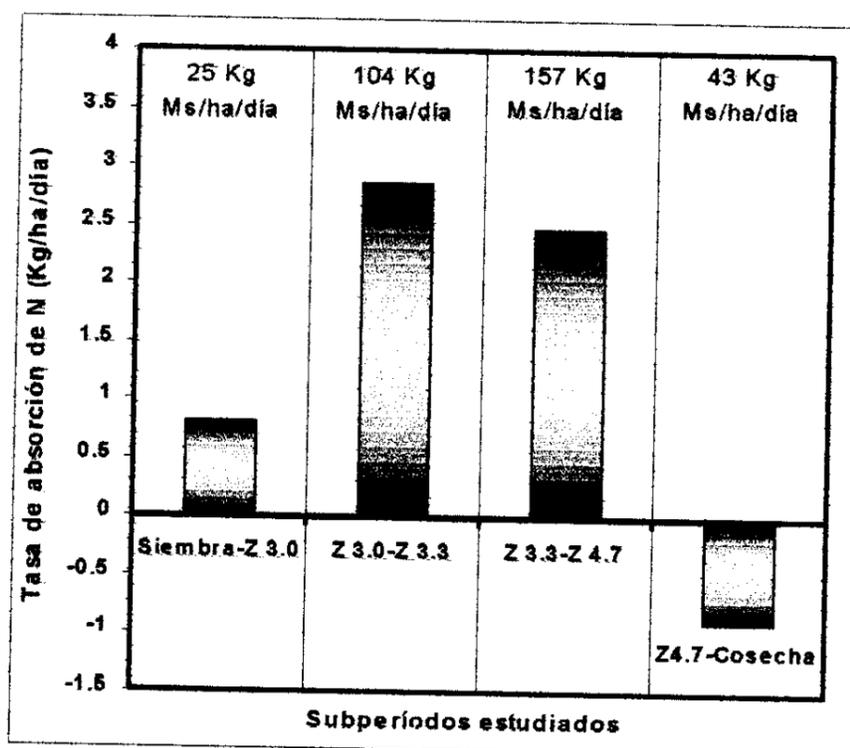


Figura 18: Tasas de absorción de N (Kg/ha/día) del cultivo en los diferentes subperíodos estudiados. Se presenta además la tasa de crecimiento del cultivo en Kg de Ms/ha/día.

En el período siembra-Z 3.0 se absorbieron 0.82 Kg/ha/día durante 67 días, en Z 3.0- Z 3.3 2.86 Kg/ha/día durante 15 días y en Z 3.3-Z 4.7, 2.47 Kg/ha/día (durante 19 días). Desde Z 4.7 a cosecha en promedio la pérdida de N fue de 0.89 Kg/ha/día. Estos resultados son diferentes a los mencionados por Palta y Fillery, (1993) quienes observaron tasas de absorción de N considerablemente menores. Así, a los 47 días post-siembra se absorbieron 14 Kg de N/ha, y 70 Kg/ha entre el día 47 y 82 (elongación de tallos). Al momento de antesis (107 días) el total absorbido fue de 104 Kg/ha. Desde antesis hasta madurez (117 a 150 días), se observó una pérdida de N de 12 Kg/ha. Esto valores muestran la magnitud de las pérdidas de N observadas en este trabajo y a modo de ejemplo en la siguiente figura se muestran las tasas de crecimiento y absorción de N para los sitios 31, 32, 33 y 34 de la localidad de Young-Paysandú. Estos sitios se caracterizaron por presenta una deficiencia hídrica posterior a Z 3.0 sensiblemente menor con respecto a las otras localidades.

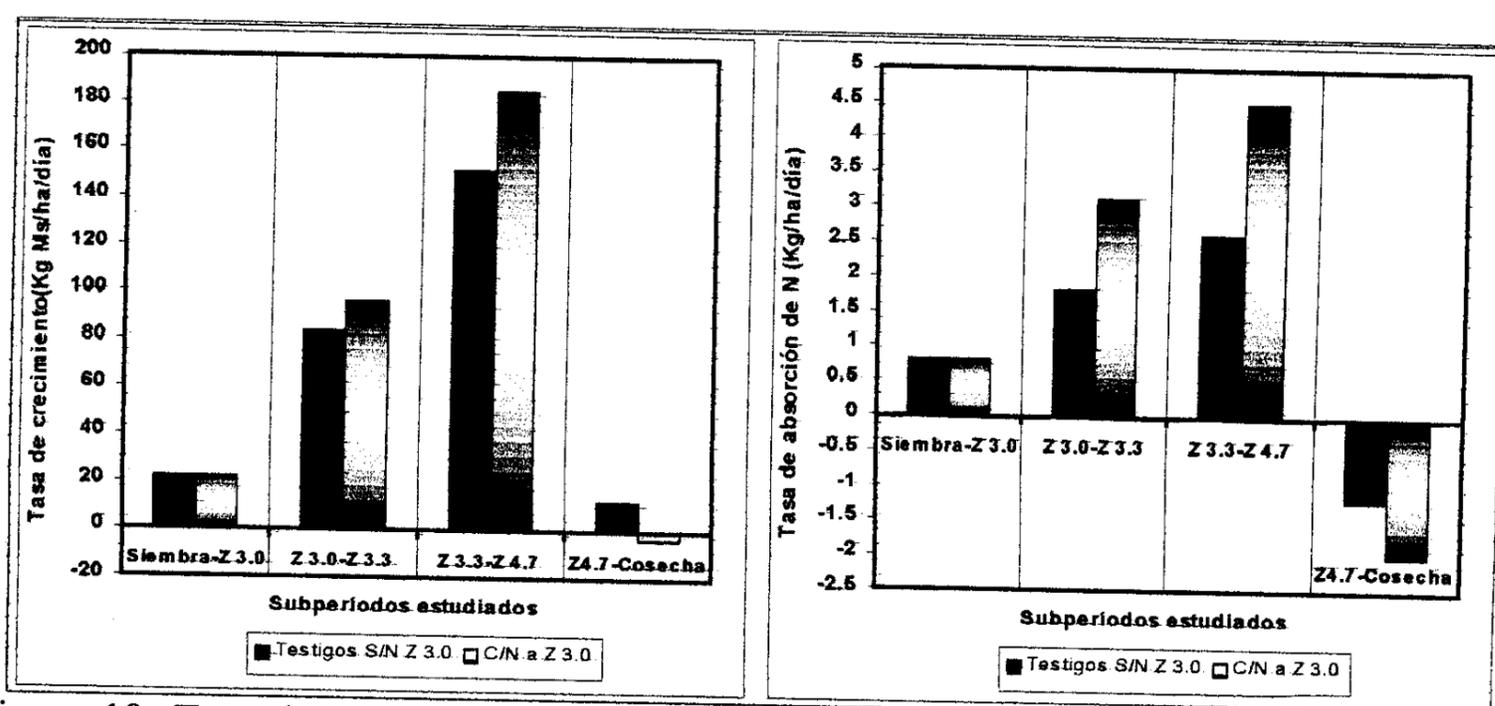


Figura 19: Tasa de crecimiento (Kg de Ms/ha/día) y absorción de N (Kg de N/ha/día) promedio para los sitios 31, 32, 33 y 34 de la localidad de Young-Paysandú.

Se puede observar, las elevadas tasas de absorción de N y en contraste con la tendencia general (Figura 18) tanto la tasa de crecimiento como la de absorción de N aumentaron hasta el estadio de Z 4.7. Esto determina un Pool de N generado a Z 4.7 en el cultivo de 228 Kg de N/ha para los tratamientos con el agregado de N (el máximo observado fue de 358) y de 157 para los testigos. Esto muestra la gran capacidad de extracción de N por parte del cultivo cuando se dan condiciones de alto aporte de N por parte del suelo y condiciones hídricas que no limitan la absorción. Sin embargo, la diferencia entre el comportamiento de estos sitios con el promedio general, no radica en la tasa de crecimiento sino en la absorción de N, lo que podría indicar que el déficit hídrico presente de Z 3.0 en adelante afectó más la tasa de absorción de N que el crecimiento para las localidades en estudio.

Por último, a pesar de las pérdidas de N observadas en el período Z 4.7-cosecha, en promedio los cultivares mantuvieron una tasa neta media de crecimiento de 43 Kg de Ms/ha/día. Esto difiere de los sitios presentados de la localidad de Young-Paysandú en donde la pérdida de N fue considerablemente mayor y los cultivos presentaron una menor tasa de crecimiento. Como será tratado posteriormente esto sugiere una utilización del N anteriormente absorbido a Z 4.7 que es removilizado dentro de la planta proceso que como se mencionó en el ítem II.4.d lleva a pérdidas de N. Por este motivo surge como interesante estudiar los factores que afectan el crecimiento y la absorción de N a Z 4.7 para entender como se dan las pérdidas de N posteriores a este estadio.

## **1. Crecimiento y absorción de N a Z 4.7.**

### **a. Factores que afectan el crecimiento y la absorción de N.**

El crecimiento y la absorción de N para todas las localidades y sitios mostró una relación lineal a Z 4.7. Por cada 1000 Kg/ha más de biomasa producida a Z 4.7 se absorbieron 33 Kg de N. Como se mencionó anteriormente estos valores son altos y se relacionan a las características del año que determinaron una elevada capacidad de aporte de N por parte del suelo. Cuando se analizan los sub-períodos estudiados, la relación también fue lineal a excepción del período Z 3.0–Z 3.3 en donde se observaron incrementos decrecientes hacia un máximo de absorción (figura 20, 1-2-3-4). Sin embargo la tendencia esta dada por el sitio 41 de la localidad de Young-Paysandú que mostró un comportamiento diferente con relación al resto de los sitios. Este sitio presentó una absorción de N a Z 3.0 de 114 Kg de N/ha, valor sensiblemente superior al promedio de los sitios de la localidad (49 Kg de N/ha absorbidos a Z 3.0), determinando una absorción posteriormente menor a Z 3.3.

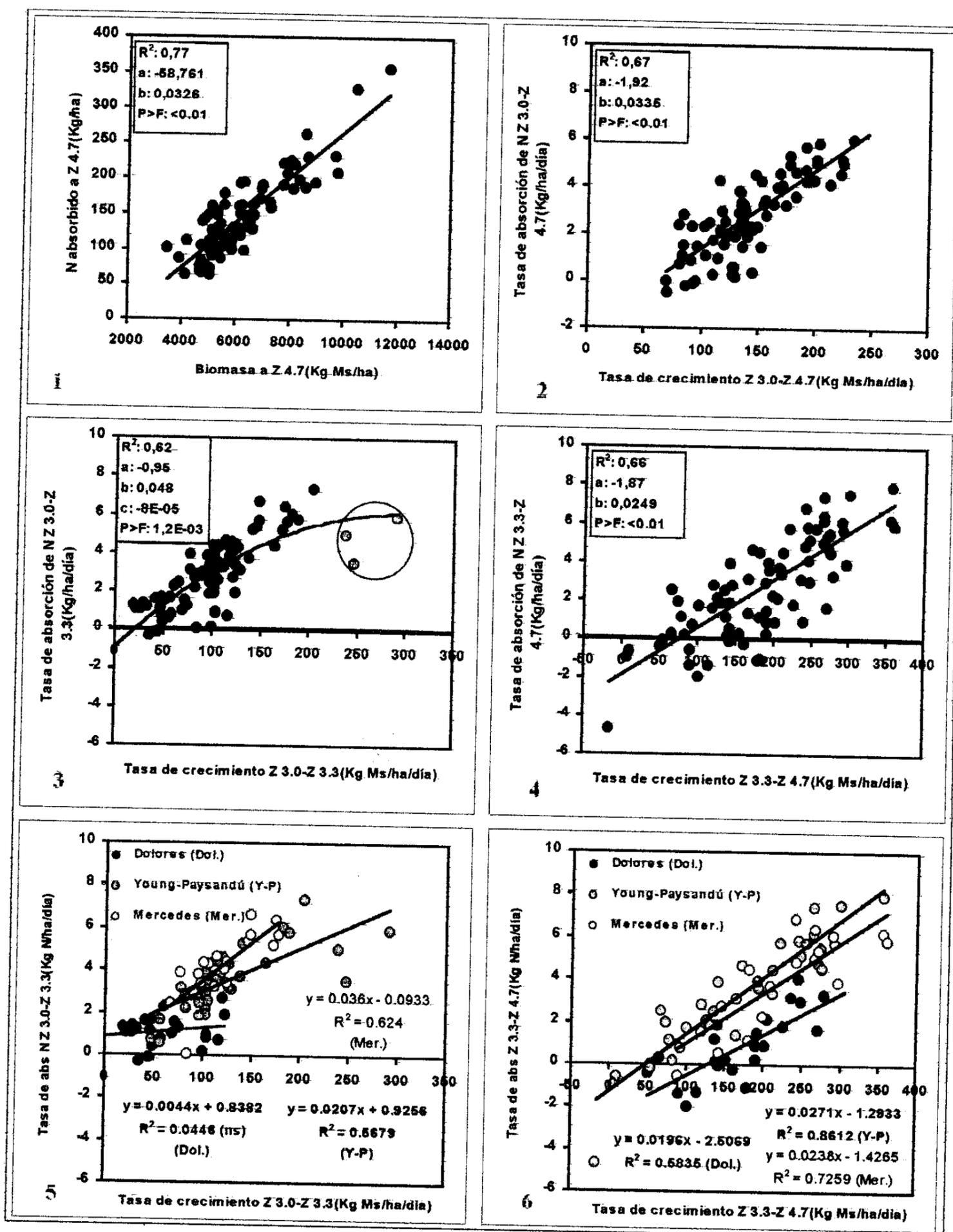


Figura 20: Relación entre el crecimiento y absorción de N en el periodo Z 3.0-Z 4.7, y en los sub-periodos Z 3.0-Z 3.3 y Z 3.3 -Z 4.7, para todas las localidades y sitios. Ver Anexos 11-13.

En la localidad de Dolores, las diferencias observadas podrían deberse a que como se mencionó anteriormente esta localidad fue la que presentó el mayor déficit hídrico de Z 3.0 en adelante sumado al hecho de que presentó una menor recarga de agua anterior a este estadio. Por lo tanto, la mayor absorción de N sumado al mayor crecimiento del cultivo anterior a Z 3.0, pudo haber acentuado el déficit hídrico posterior debido a un consumo excesivo de agua. Esto se traduce en menores tasas de crecimiento en los sub-períodos siguientes, especialmente en los 15 días posteriores a este estadio. Sin embargo en el período Z 3.3- Z 4.7 (Figura 20-6) se observa que el déficit hídrico presente en esta localidad, afectó directamente la tasa de absorción de N ya que las tasas de crecimiento son similares al resto de las localidades. Así, a una misma tasa de crecimiento la localidad de Dolores presentó una tasa de absorción de N que en promedio fue un 50 % menor.

Con respecto a las otras dos localidades, tanto el crecimiento como la absorción de N a Z 4.7 fueron similares, existiendo solo escasas diferencias en los sub-períodos estudiados. Es interesante resaltar que en Mercedes dos de los cinco cultivares utilizados fueron sembrados muy temprano por su largo de ciclo (Tijereta y P. Puntal). Esto se ve reflejado en el mayor período a Z 3.0, pero con un bajo crecimiento y absorción de N a este estadio. De igual forma, esto no generó diferencias posteriores con respecto a la localidad de Young-Paysandú.

En cuanto al efecto del agregado de N a Z 3.0 sobre el crecimiento y absorción de N, la respuesta observada fue variable. Debido a que desde este estadio a la próxima fecha de muestreo solo pasan 15 días (Z 3.3), pudo suceder que el N agregado en Z 3.0 se hiciera disponible para el cultivo en el sub-período siguiente (Z 3.3-Z 4.7). Por lo tanto el análisis de la importancia de los dos sub-períodos comprendidos dentro del período Z 3.0-Z 4.7 debe estar relativizado a este hecho.

En la figura 21, se muestra la relación entre el total de N absorbido en el período Z 3.0-Z 4.7 con el total de N absorbido a Z 4.7. De los dos sub-períodos estudiados, el que mejor se relacionó con la cantidad de N a Z 4.7 es lo que se absorbió en el período Z 3.3-Z 4.7. Esto confirma lo mencionado anteriormente.

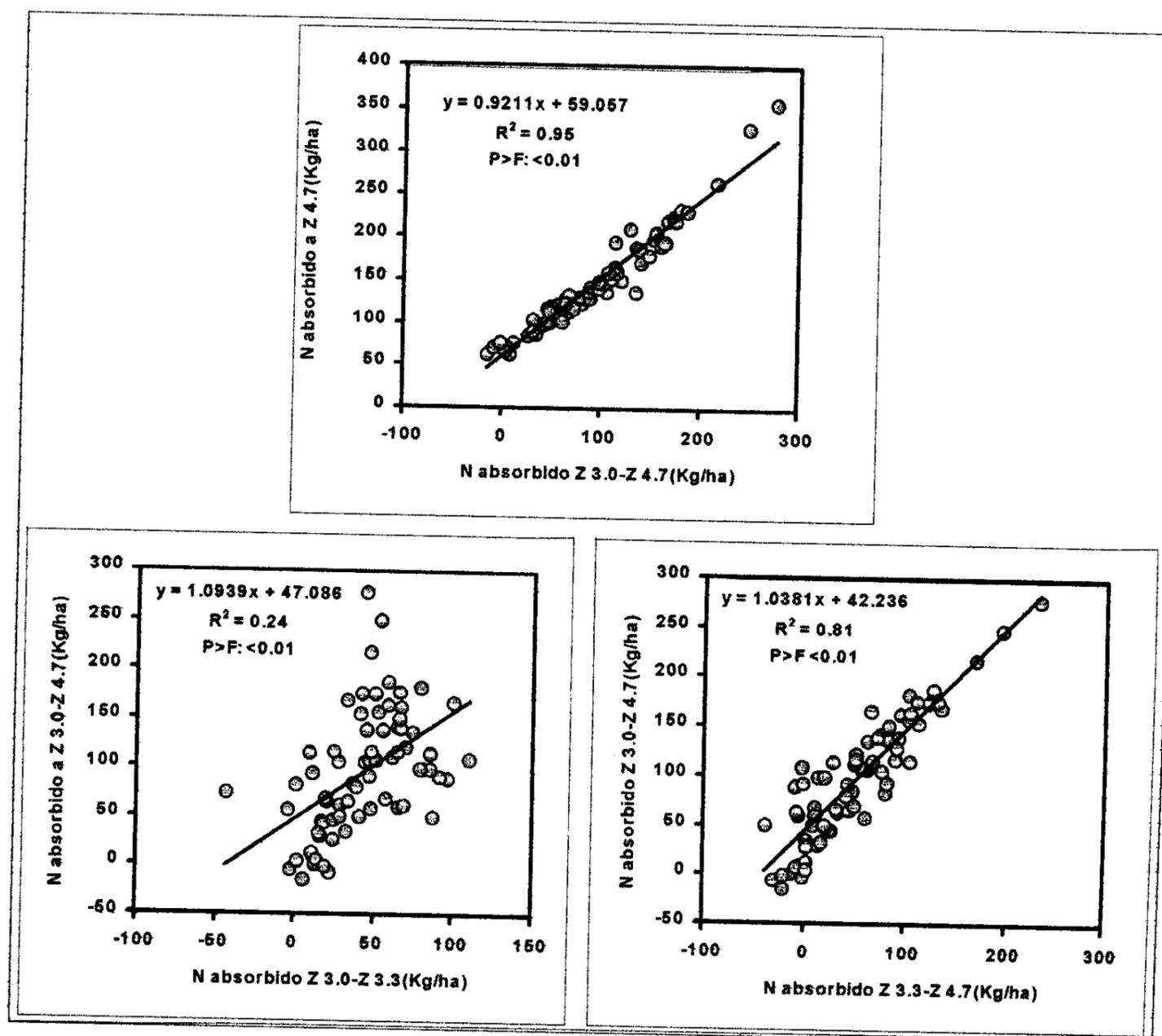


Figura 21: Cantidad de N absorbido a Z 4.7, en función de la cantidad de N absorbido en el período Z 3.0-Z 4.7, y en los sub-períodos Z 3.0-Z 3.3 y Z 3.3-Z 4.7. Ver Anexos 13 y 14.

La cantidad total de N absorbida a Z 4.7 se encuentra explicada por la absorción de N en el período Z 3.0-Z 4.7 lo que muestra la importancia de este período. Este análisis resalta además la importancia del modelo de Baethgen que es capaz de predecir este comportamiento en buena forma, lo que demuestra que el porcentaje de N en planta a Z 3.0 de por sí solo, es un indicador muy robusto independientemente de la cantidad de N absorbido en este estadio. Según esto se decidió estudiar el efecto de la cantidad de N absorbido a Z 3.0, sobre el total de N absorbido a Z 4.7. Figura 22.

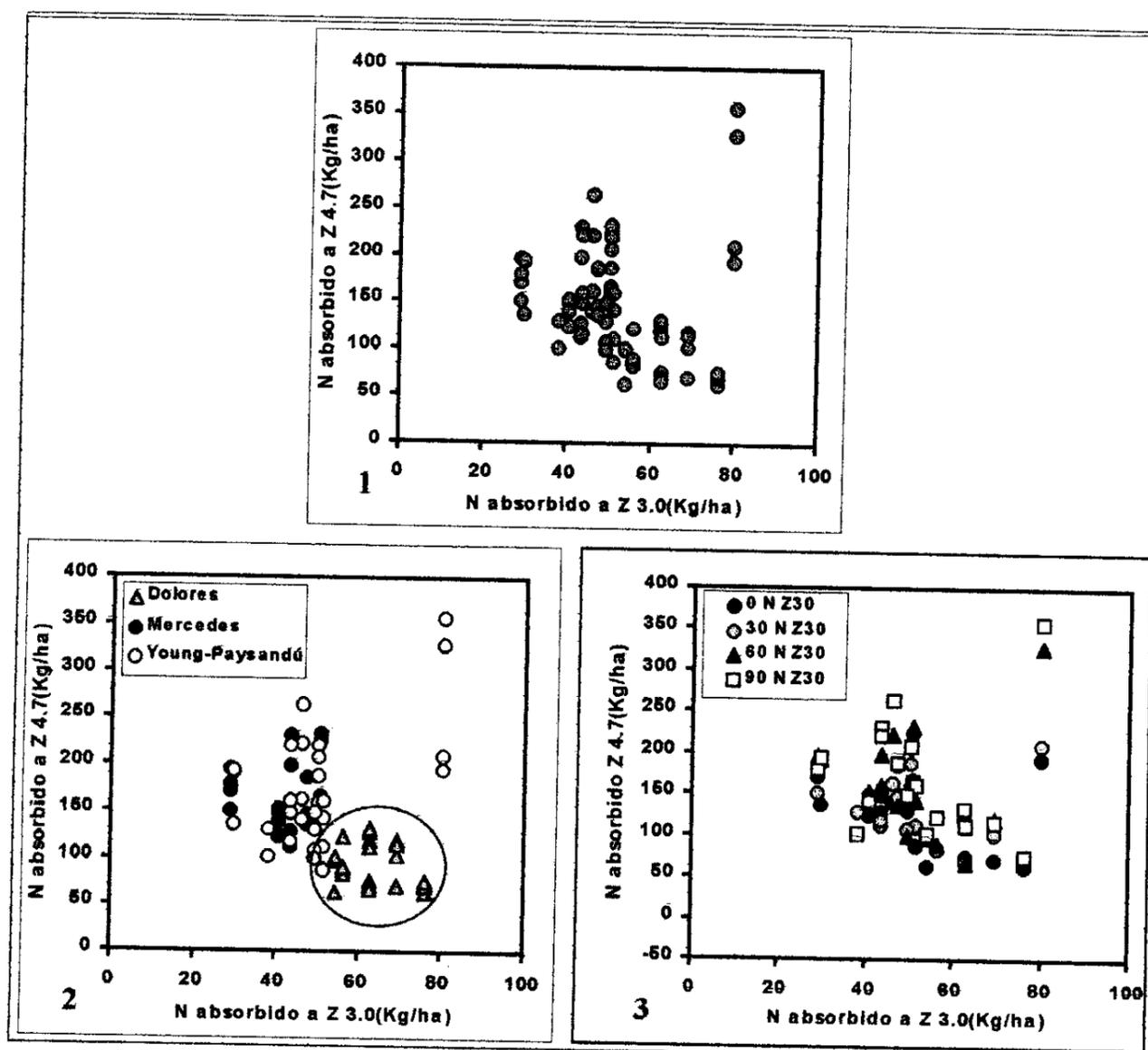


Figura 22: Gráfica 1: Cantidad de N absorbido a Z 4.7, en función de la cantidad de N absorbido a Z 3.0, General; Gráfica 2: para todas las localidades y sitios; Gráfica 3: según la cantidad de N agregada en este estadio.

En la relación general, se puede observar que existe una tendencia a que aumentos en la cantidad de N absorbido a Z 3.0 disminuyen la cantidad de N absorbido a Z 4.7. Sin embargo cuando se particiona la variación según la localidad y la dosis de N agregada en Z 3.0, se observa que la primera fue la más importante. Así, la localidad de Dolores presentó valores de absorción de N más altos en Z 3.0 y más bajos en Z 4.7 lo que muestra que esta localidad presentó valores bajos de absorción de N en el periodo de encañado. Esto puede estar relacionado con el régimen de precipitaciones de esta localidad. Para las otras dos localidades, existió una alta variación en el total de N absorbido a Z 4.7, para un rango estrecho de absorción de N a Z 3.0.

Cuando se analizó este efecto dentro de cada localidad, según la cantidad de N agregada en Z 3.0 la variación observada no permitió el ajuste de ningún modelo de regresión. Sin embargo es posible comentar algunas tendencias observadas. Tanto en Dolores como en Young-Paysandú, el agregado de N en este estadio llevó a incrementos de la cantidad de N absorbido a Z 4.7 por sobre el testigo sin N en este estadio. Sin

embargo en la localidad de Mercedes no se observó ninguna tendencia clara. Una posible explicación a este comportamiento es que los testigos de esta localidad presentaron una alta cantidad de N absorbido a Z 4.7. Por lo tanto, el no encontrar un aumento del N absorbido en Z 4.7 con agregados de N en Z 3.0 en Mercedes, está determinado por la alta cantidad de N absorbida de los testigos (efecto suelo).

**b. Relación entre el crecimiento y la absorción de N a Z 4.7 con el rendimiento y porcentaje de proteína en grano.**

La relación general entre el rendimiento y absorción de N a Z 4.7 mostró un bajo grado de asociación entre ambas variables ( $R^2$ : 0.11 ns). Cuando la misma relación se estudió en función del agregado de N en Z 4.7, no se pudo identificar un comportamiento claro y diferencial del efecto de la cantidad de N absorbida a Z 4.7. Con respecto al porcentaje de proteína en grano en la siguiente figura se presenta la relación con la cantidad de N absorbida a Z 4.7, según el agregado de N en este estadio.

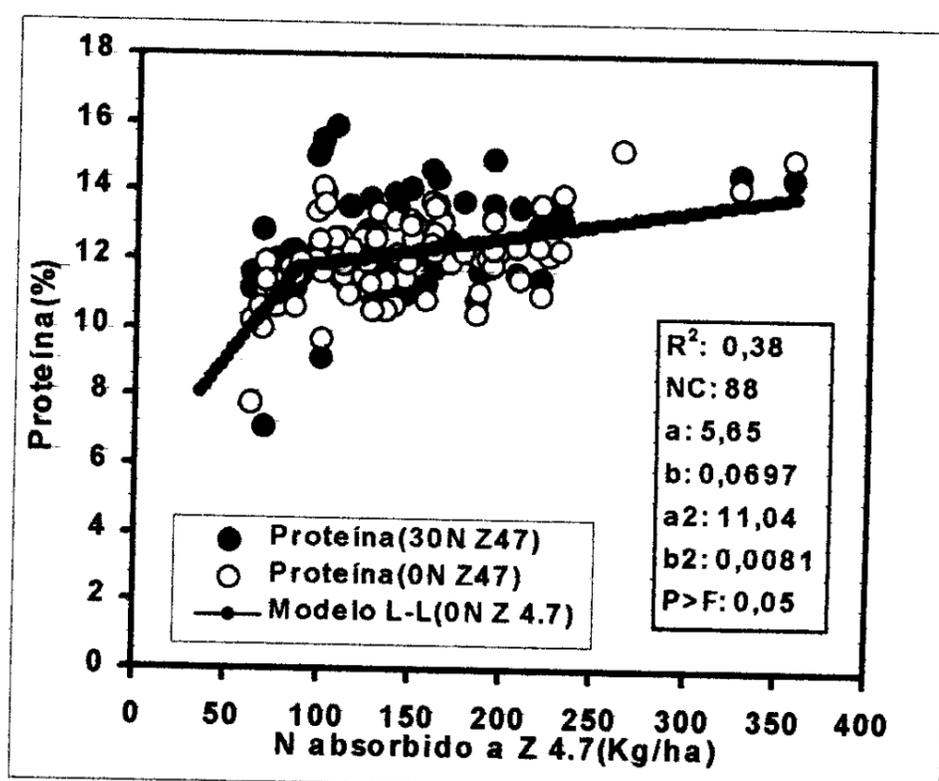


Figura 23: Relación entre el porcentaje de proteína en grano con la cantidad de N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha), para todas las localidades y sitios.

En la figura se muestra, el ajuste de un Modelo lineal-lineal cuando no se agregó N en Z 4.7. Cuando se agregaron 30 unidades de N en este estadio no se observó efecto del agregado de N. Por lo tanto la variable que permitiría explicar la evolución de la proteína en grano sería la cantidad de N absorbido a Z 4.7. A pesar de la alta variabilidad entre sitios cuando no se agregó N en Z 4.7, el modelo Lineal- Lineal ajustado permitió explicar un 38 % de la variación observada. Este modelo define un nivel de absorción de N a Z 4.7 de 88 Kg/ha, a partir del cual los incrementos de proteína por kg de N absorbido a Z 4.7 son muy bajos. Por debajo de este nivel sería necesario absorber 14

Kg de N/ha para aumentar un 1 % la proteína mientras que por encima de este serían necesarios 123. Esto muestra la baja eficiencia para aumentar el porcentaje de proteína con agregados de N en este estadio, lo que concuerda con los resultados de otros autores mencionados anteriormente. Además, cuando el N absorbido lleva a incrementos importantes de rendimiento en grano también se observan incrementos importantes en los contenidos de N en este. Por lo tanto cuando estamos en la zona de baja respuesta de rendimiento en grano, también es de baja respuesta para el porcentaje de proteína, lo que explicaría la baja eficiencia para aumentar esta cuando se está frente a una situación de suficiencia de N.

Por otro lado cuando se analizó el porcentaje de proteína según la cantidad de N absorbido a Z 4.7 para cada una de las localidades estudiadas no se observó ninguna tendencia.

## 2. Crecimiento y pérdidas de N post-Z 4.7 y su relación con rendimiento y proteína en grano.

Como se analizó anteriormente la cantidad de N absorbida a Z 4.7 mostró una baja relación con el rendimiento y el porcentaje de proteína en grano, consecuencia de los altos valores de absorción observados a Z 4.7. Esto en parte se debería a la dinámica del N posterior a este estadio. Para este análisis es crucial comprender la importancia que tiene la cantidad total de N absorbida a cosecha por el cultivo. En la siguiente figura se muestra la relación general entre el rendimiento y proteína en grano con la cantidad de N absorbida a cosecha.

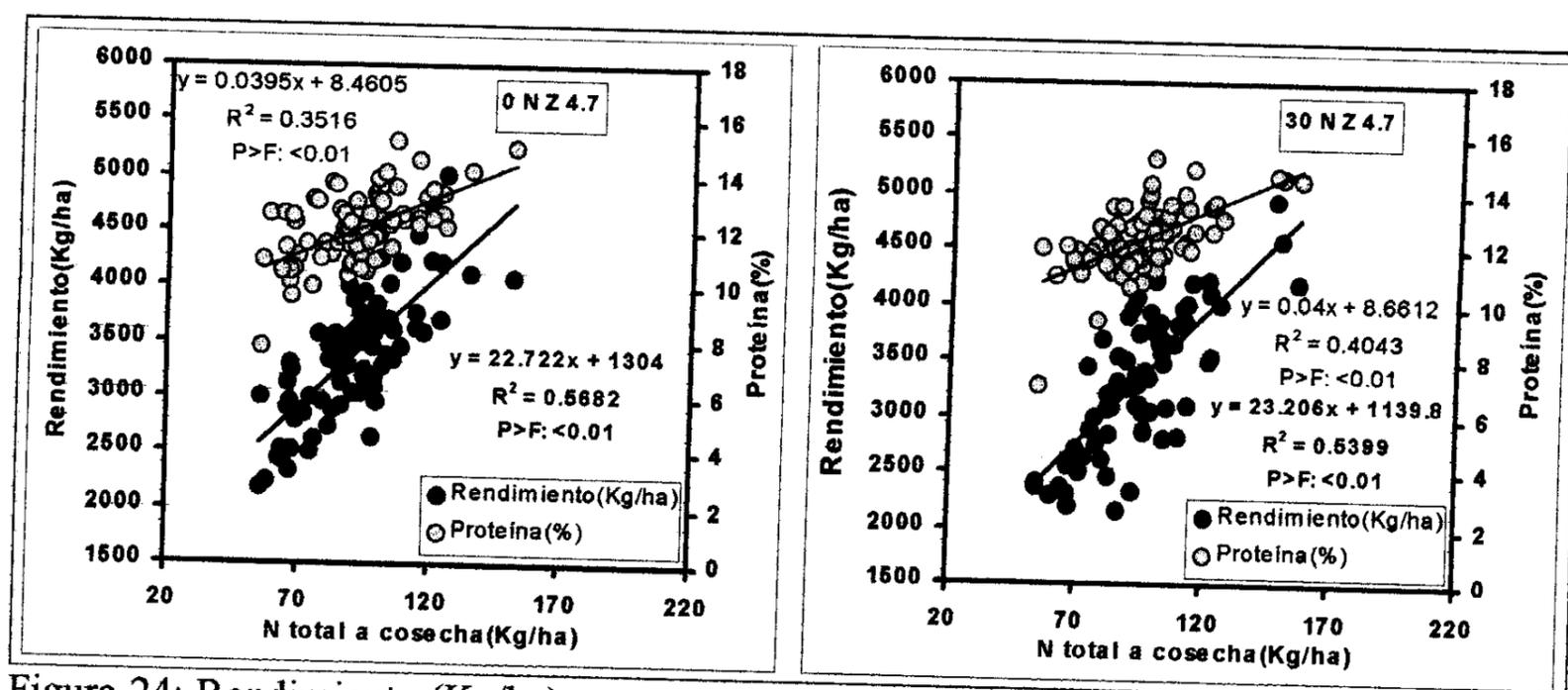


Figura 24: Rendimiento (Kg/ha) y proteína en grano (%), en función de la cantidad de N absorbida a cosecha según el agregado de 0 y 30 Kg de N/ha a Z 4.7, para todas las localidades y sitios. Ver Anexos 14 y 15.

En la misma se puede observar, en primer lugar que existe una estrecha relación entre la cantidad de N absorbida a cosecha con el rendimiento y proteína en grano, a diferencia de lo observado con la cantidad de N absorbida a Z 4.7. Si bien esto era esperable ya que la mayor parte del N a cosecha se encuentra en el grano, se puede observar que la pendiente de las rectas de regresión ajustadas no fue afectada por el agregado de N a Z 4.7. Así, por cada Kg adicional de N absorbido a cosecha se obtuvieron 23 Kg de grano independientemente del N agregado a Z 4.7. Otros autores como Borghi, E. y Wornicov, C., (1998) trabajando en el cultivo de Maíz observaron que los Kg de grano/Kg de N a cosecha fueron similares aunque en un rango de absorción considerablemente mayor.

Con respecto al porcentaje de proteína la tendencia fue la misma que para el rendimiento en grano. Fueron necesarios 25 Kg de N más absorbidos a cosecha para aumentar un 1 % la proteína, también independientemente del N agregado a Z 4.7. Por lo tanto el N total a cosecha aparece como el factor más importante en determinar altos rendimientos y proteína en grano. Surge entonces como necesario el estudio de la relación entre el N absorbido a Z 4.7 y el N total a cosecha. Figura 25.

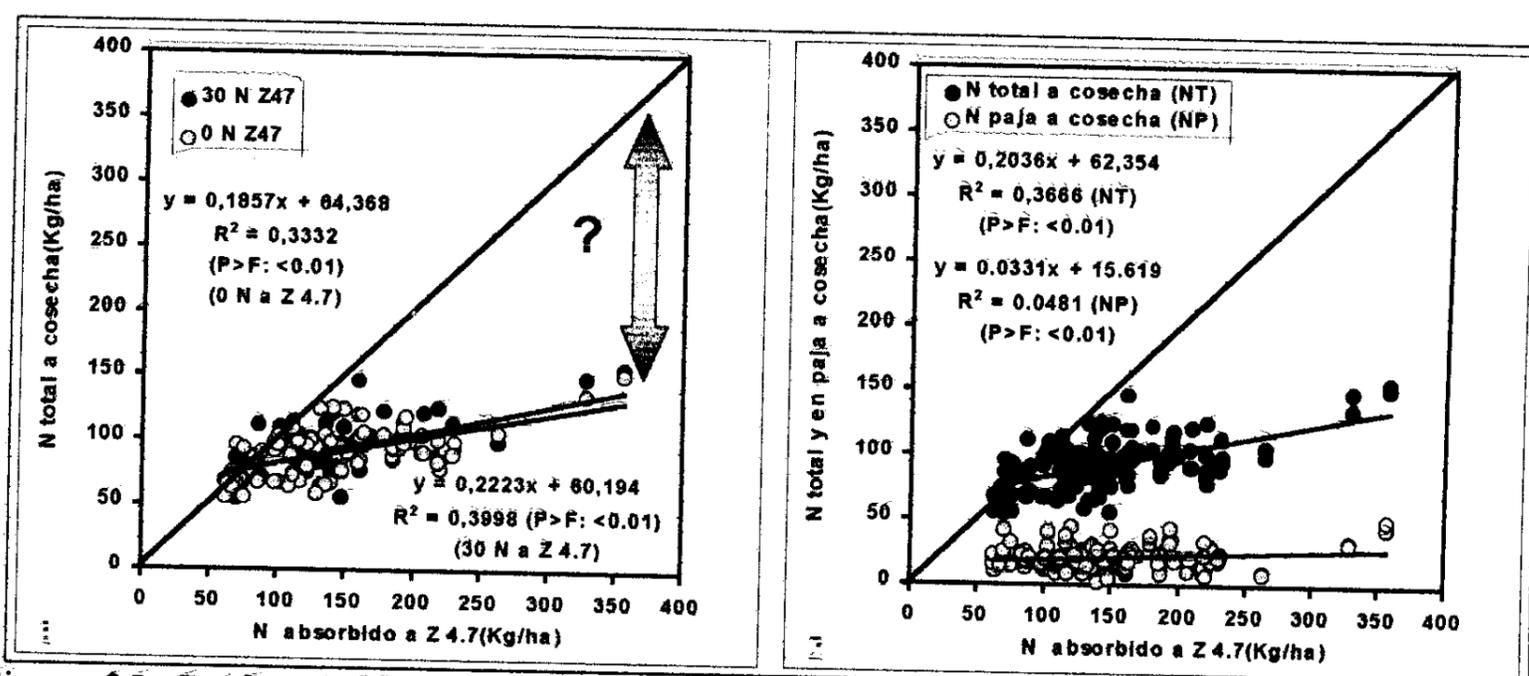


Figura 25: Gráfica 1: N total a cosecha en función de la cantidad de N absorbido a Z 4.7, para 0 y 30 N a Z 4.7. Gráfica 2: N total a cosecha y N en paja a cosecha en función de la cantidad de N absorbido a Z 4.7. Ver Anexos 15 y 16.

La cantidad de N absorbida a Z 4.7, explica solo un 36% ( $P > F: < 0,01$ ) de la cantidad total de N a cosecha. Por otro lado, en la Figura 25-2, se observa que por cada 100 Kg de N absorbidos a Z 4.7, llegan solo 20 Kg de N a cosecha, sin observarse efecto del agregado de N a Z 4.7. Esto, explica la baja relación existente entre la cantidad de N absorbida a Z 4.7 con el rendimiento y la proteína en grano.

Por otro lado, mayores cantidades de N absorbido a Z 4.7 llevan a que la diferencia entre el N absorbido a Z 4.7, y el total de N a cosecha, se acentúe. A pesar de esto, mayor cantidad de N a Z 4.7 representa mayor cantidad de N a cosecha, lo que como se explicó determina mayor rendimiento y proteína en grano. Surge entonces como

necesario el estudio de la dinámica del N posterior a Z 4.7 para entender cuales son los factores que afectan el escaso incremento de N a cosecha cuando aumenta la absorción de N a Z 4.7.

El factor identificado como más importante fue la variación de N posterior al estadio Z 4.7. Esta fue calculada como la diferencia entre el N total a cosecha y el N absorbido a Z 4.7, y se la relacionó con la cantidad de N absorbida a este estadio. Figura 26.

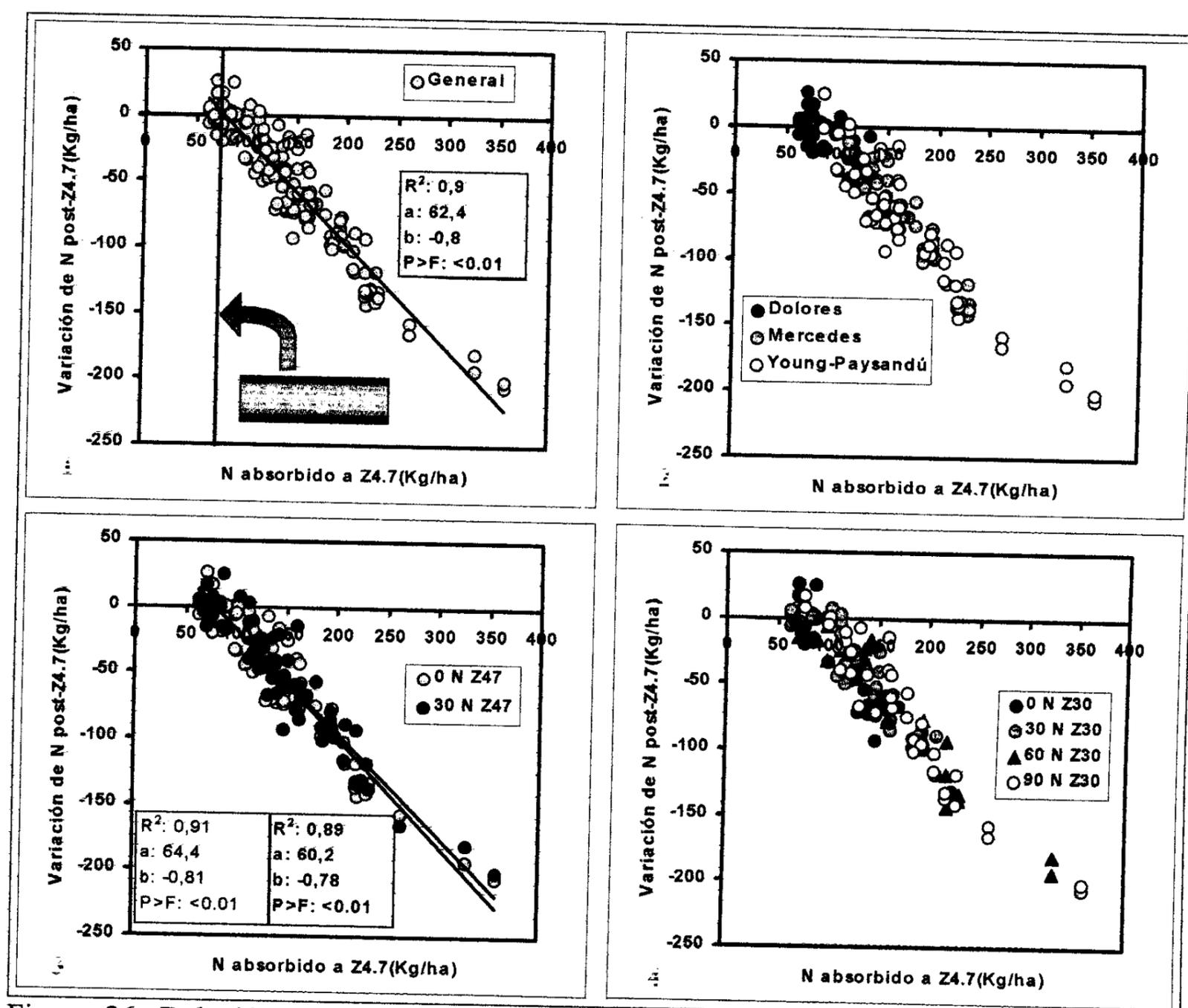


Figura 26: Relación entre la cantidad de N absorbida a Z 4.7 y la variación de N posterior a este estadio, general, según la localidad, el agregado de N a Z 4.7 y a Z 3.0. Ver Anexo 16 y 17.

La relación general muestra que incrementos en la cantidad de N absorbida a Z 4.7 llevan a una pérdida neta de N posterior a este estadio. Similares resultados fueron observados por Kanwarpal y Waines (1989); Bulman y Smith, (1994). Esta relación se dio independientemente de la localidad pero con valores absolutos de pérdidas de N diferentes. Así, como se mencionó anteriormente, la localidad de Dolores fue la que

presentó valores de absorción de N a Z 4.7 menores, determinando menores pérdidas de N posterior a este estadio. La localidad de Mercedes mostró un comportamiento intermedio y en el extremo se ubicó la localidad de Young-Paysandú. Es interesante destacar que no se observó efecto del agregado de N ni en Z 3.0 ni en Z 4.7 ya que el factor que ha sido demostrado que más condiciona la respuesta al N es la diferencia entre localidades. Esto contrasta con los resultados de Kanwarpal, S.D. y Waines, J.G, (1989), donde los autores concluyen que en trigo la cantidad de N que se pierde desde tallos es una función del N aplicado.

Por otro lado, en la relación general se observa que por cada 100 Kg de N más absorbidos a Z 4.7 por encima de 78 Kg de N el cultivo pierde el 80 % que no llega a cosecha. Este valor es muy similar al valor de absorción de N a Z 4.7 establecido como crítico (88 Kg/ha), a partir del cual los incrementos de proteína se logran con altas cantidades de N absorbido (Ver Figura 26). Esto explica que valores de absorción de N a Z 4.7 por encima de 88 Kg/ha, llevan a mantener altos niveles de proteína en grano, más que aumentar esta en forma importante.

Palta y Fillery, (1993) observaron que las pérdidas de N desde antesis a madurez fueron de 12 Kg/ha. Estos valores son sensiblemente menores a los reportados por Daigger *et al*, (1976), quienes determinaron pérdidas de 45 Kg/ha en el mismo período. En otro estudio los mismos autores observaron que las pérdidas de N en el período desde masa blanda a maduración fueron de 42 Kg de N /ha. Estos valores son sensiblemente menores a los observados en este trabajo donde el valor máximo fue de 207 Kg de N/ha. La diferencia con los autores además de la magnitud de la pérdida, estaría dada por el rango de absorción de N observado a Z 4.7.

En el mismo trabajo de Daigger *et al* , (1970), concluyen que las pérdidas de N se dan asociadas a pérdidas de materia seca observándose en el período mencionado una pérdida neta de 1889 Kg de MS/ha. En contraste con esto, Kanwarpal y Waines, (1989), observaron que las pérdidas de materia seca no fueron la causa de la pérdida de N, debido a que muchos de los genotipos evaluados mostraron una ganancia neta del rendimiento en paja desde antesis hasta madurez. La siguiente figura intenta mostrar estas relaciones para el año 1999.

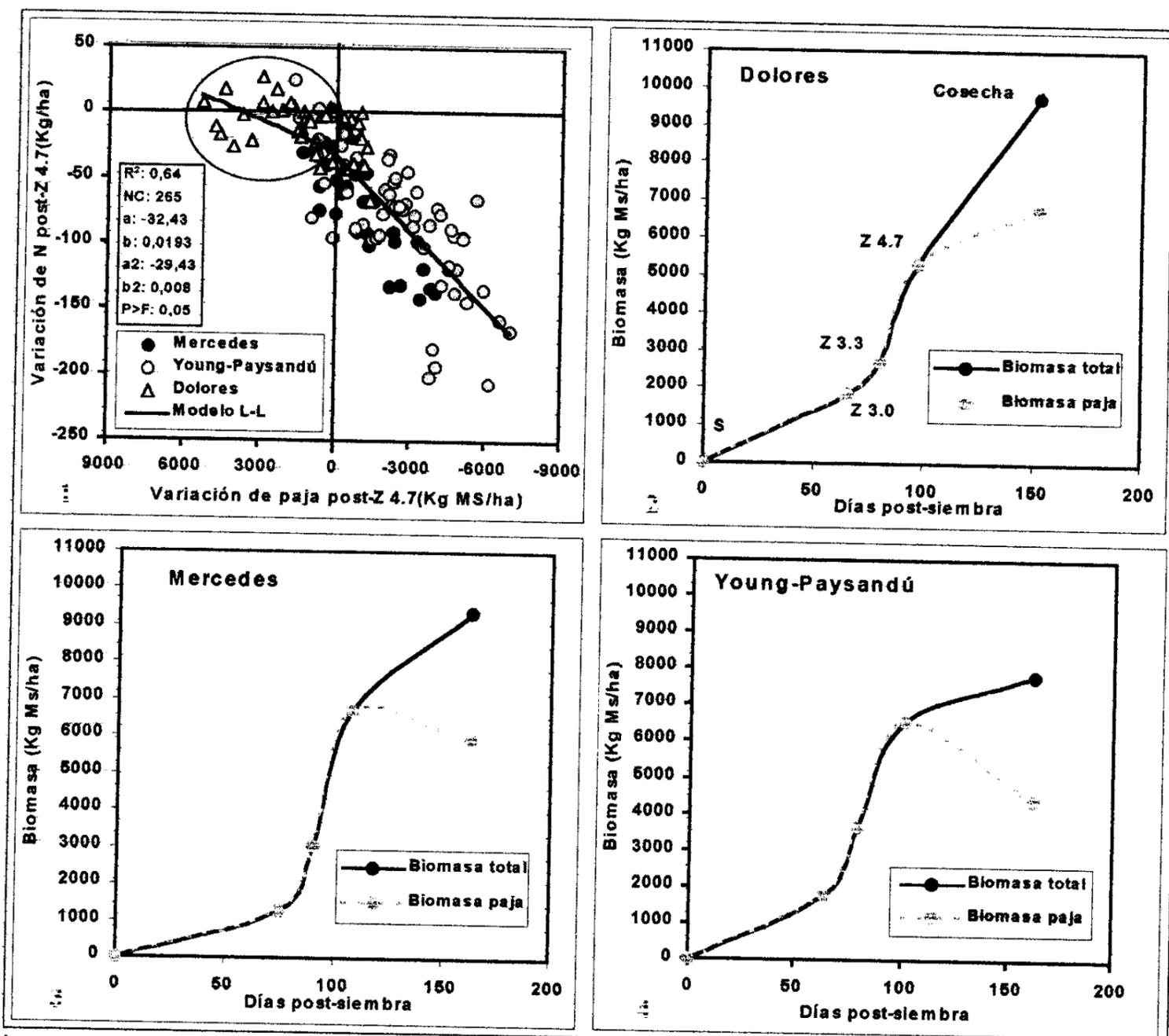


Figura 27: Gráfica 1: Relación entre la variación de materia seca de paja (biomasa de paja a cosecha - biomasa total a Z 4.7) y variación de N post-Z4.7. Gráficas 2, 3, 4: Evolución de la biomasa (Kg MS/ha) en el ciclo del cultivo para las localidades en estudio.

Podemos observar que cuando el cultivo presenta mayores pérdidas de paja se dan mayores pérdidas de N posterior al estadio Z 4.7 (Figura 27-1). Dicha regresión permite estimar que por debajo de 265 Kg Ms de paja y cada 1000 Kg/ha de reducción en la cantidad de paja a cosecha, se pierden 19 Kg de N/ha. Por encima, las pérdidas son escasas (solo 8 Kg/ha de N). Sin embargo en las localidades en las cuáles la pérdida de paja es mayor obtenemos un incremento superior de materia seca en grano. Esto no quiere decir que no existan pérdidas netas de materia seca a cosecha (Biomasa a cosecha-Biomasa a Z 4.7 en Kg de Ms/ha). El 17 % de los casos que se muestran en dicha figura presentan pérdida neta de biomasa desde Z 4.7 a madurez (1177 Kg Ms/ha), perteneciendo mayormente a tratamientos de la localidad de Young-Paysandú.

En la localidad de Dolores las bajas pérdidas de N estarían asociadas a una ganancia neta en biomasa y paja. Similares resultados fueron observados por Austin *et al* , (1977), citados por Bulman y Smith, (1994), los que observaron que cultivares de trigo que tuvieron una alta absorción de nitrógeno post-antesis, tuvieron la mayor ganancia de materia seca de paja durante el llenado del grano. En la siguiente figura se observa la relación entre las materia seca de paja a cosecha y el crecimiento posterior a Z 4.7 para las tres localidades.

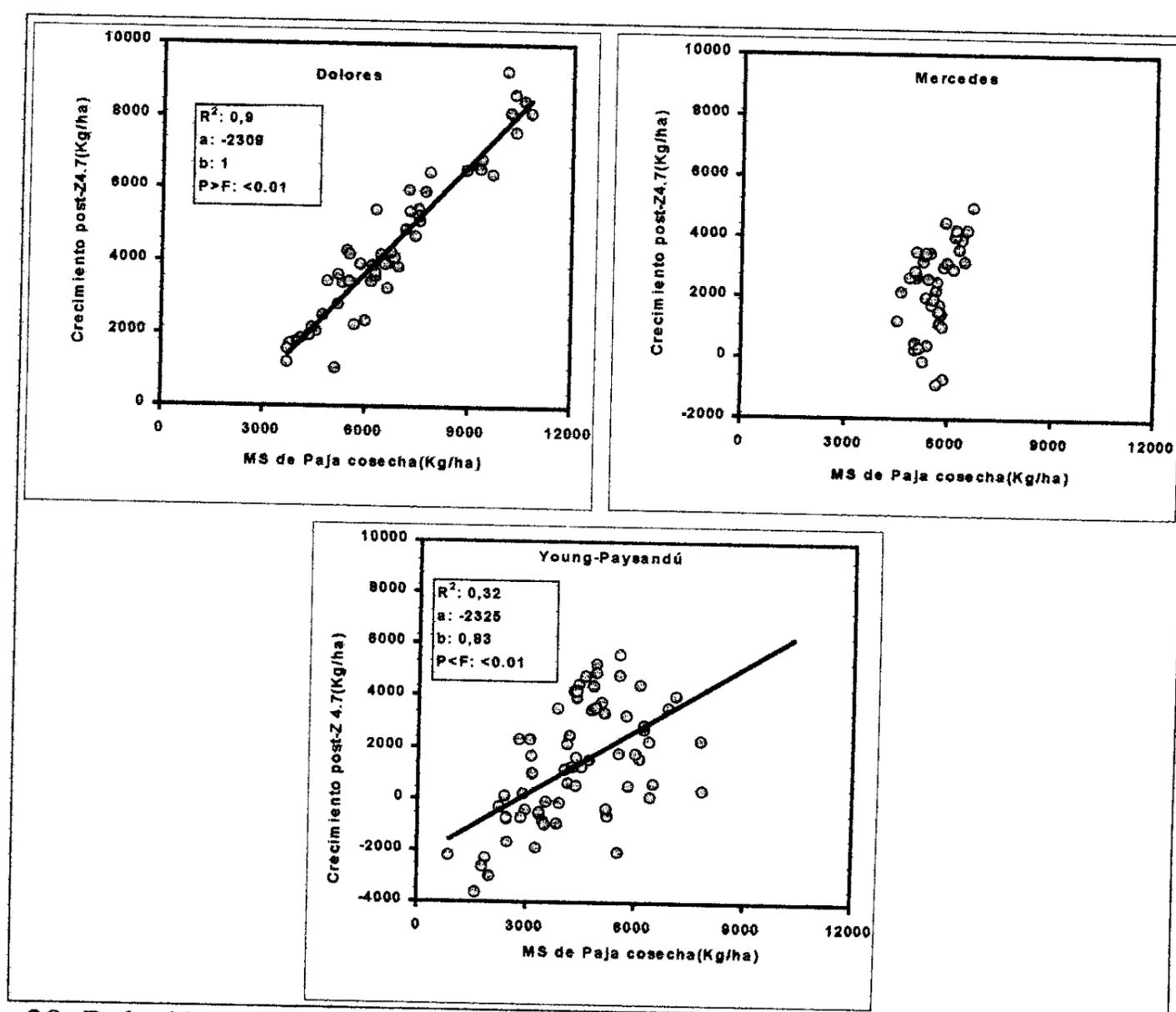


Figura 28: Relación entre el crecimiento post-Z 4.7 y la materia seca de paja a cosecha para las diferentes localidades estudiadas. Ver Anexos 17.

Como era esperable en la localidad de Dolores el crecimiento post-Z 4.7 se explicó por el crecimiento de la paja a cosecha mientras que en las otras dos localidades el grado de asociación entre ambas variables disminuyó.

Como se observó en la Figura 27 para la localidad de Dolores, el cambio en la paja a cosecha produce una escasa variación en el N post-Z 4.7. Sin embargo cuando la magnitud de la pérdida de paja es importante, es probable encontrar pérdidas elevadas de N. Por lo tanto las importantes pérdidas de N observadas en este trabajo están asociadas a pérdidas significativas de paja durante el llenado de grano.

El incremento neto de paja a cosecha en la localidad de Dolores, estaría dando la pauta de que solo la variación de materia seca posterior a Z 4.7 no explica las pérdidas totales de N, lo que concuerda con los datos de Kanwarpal y Waines, (1989), aunque esta relación esta fuertemente influenciada por la magnitud de la pérdida de paja. Autores como Hooker *et al* , (1980), Da silva y Stutte, (1981), y Stutte *et al* , (1979), han documentado pérdidas significativas de N por volatilización, y por volatilización y lavado de diferentes compuestos nitrogenados (Denmead *et al* , 1976, Spiertz 1977) desde brotes de varias especies de plantas. Por otra parte, factores ambientales como altas temperaturas y baja humedad relativa del aire, pueden incrementar el proceso de volatilización durante el llenado de grano (Palta y Fillery, 1993), siendo este un mecanismo importante de pérdida entre antesis y madurez (Wetselaar y Farquhar, 1980, Harper *et al* , 1987). Sumado a lo anterior la raíz no cumple un papel importante como fosa aún a niveles muy altos de N en el suelo (Smith *et al* , 1983, citados por Kanwarpal *et al* , 1989). Esto demuestra la importancia que tiene la parte aérea en determinar las pérdidas de N.

Por lo tanto, las pérdidas de N podrían explicarse por las pérdidas de MS y las pérdidas por volatilización y lavado.

Interesa por lo tanto analizar que proporción del N absorbido a Z 4.7 termina efectivamente en el grano. Figura 29.

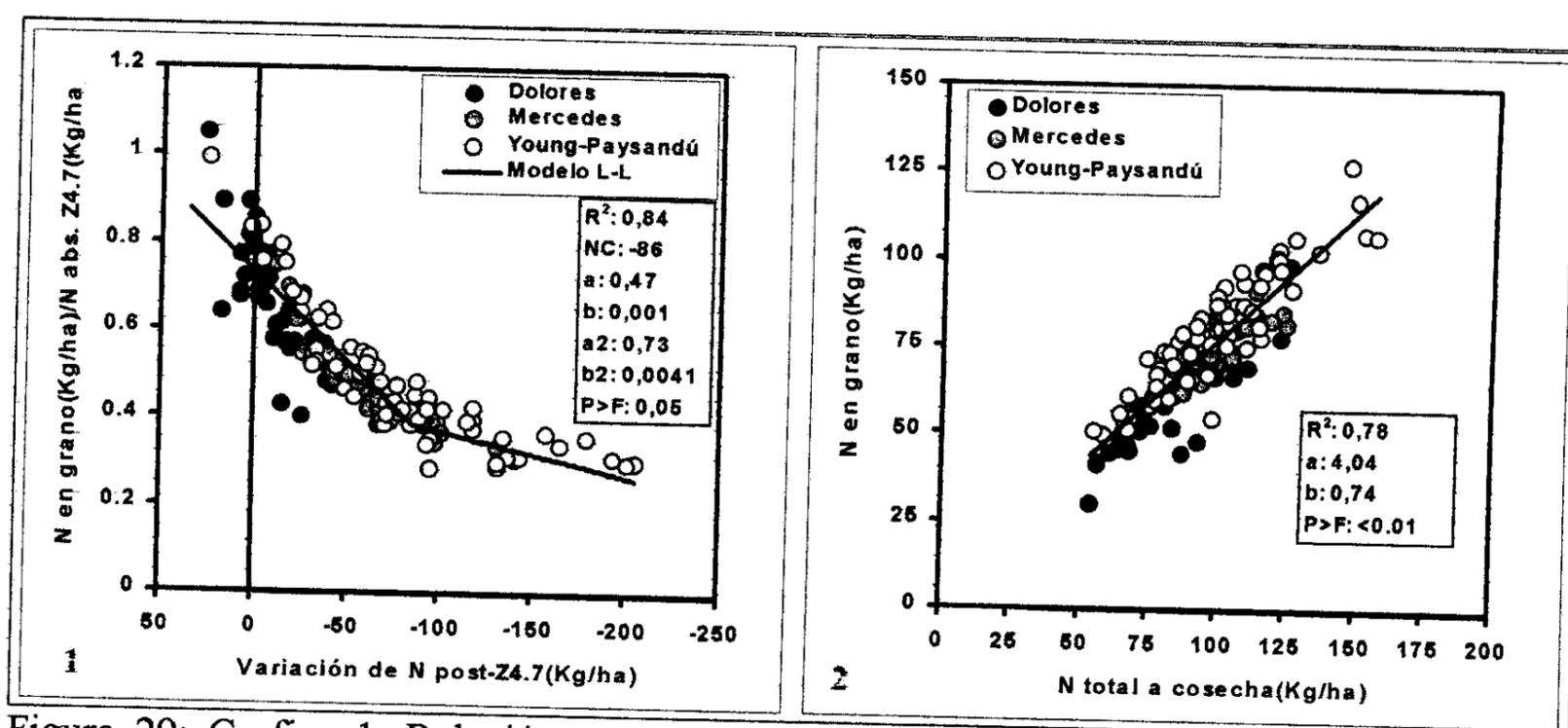


Figura 29: Grafica 1: Relación entre la proporción del N en grano a cosecha del N vegetativo medido a Z 4.7 (Kg/ha de N en grano /Kg de N absorbidos a Z 4.7) con la variación en el N post-Z 4.7. Grafica 2: Relación entre el N en grano (Kg/ha) y el N total a Cosecha (Kg/ha). Ver Anexo 17.

Se puede observar, que el N acumulado en el grano, varió desde un 30 hasta 100 % del N total absorbido a Z 4.7. En este sentido Palta y Fillery, (1993), trabajando en trigo observaron que del total de N acumulado en las partes vegetativas a antesis, el 69 % fue

removilizado al grano. En el presente trabajo, esta removilización se asoció en forma importante con la cantidad de N que se pierde posterior a este estadio. A pesar de esto, altas cantidades de N absorbidos a Z 4.7, aumentan la cantidad de N total a cosecha y dentro de esta los Kg de nitrógeno en grano (Figura 29-2). Esto permite explicar lo discutido anteriormente en cuanto a que cantidades muy altas de N absorbido a Z 4.7 llevaron a bajos incrementos de proteína en grano.

Por otra parte, en este trabajo ha sido estudiado el efecto del agregado de N a Z 3.0 que como se mencionó anteriormente, no afectó las pérdidas de N posteriores al estadio Z 4.7. Surge como interesante estudiar cual es la diferencia en la dinámica del N durante el ciclo del cultivo en aquellos sitios con y sin respuesta en rendimiento al agregado de N en Z 3.0. En la siguiente figura se muestra la dinámica del N para estos sitios.

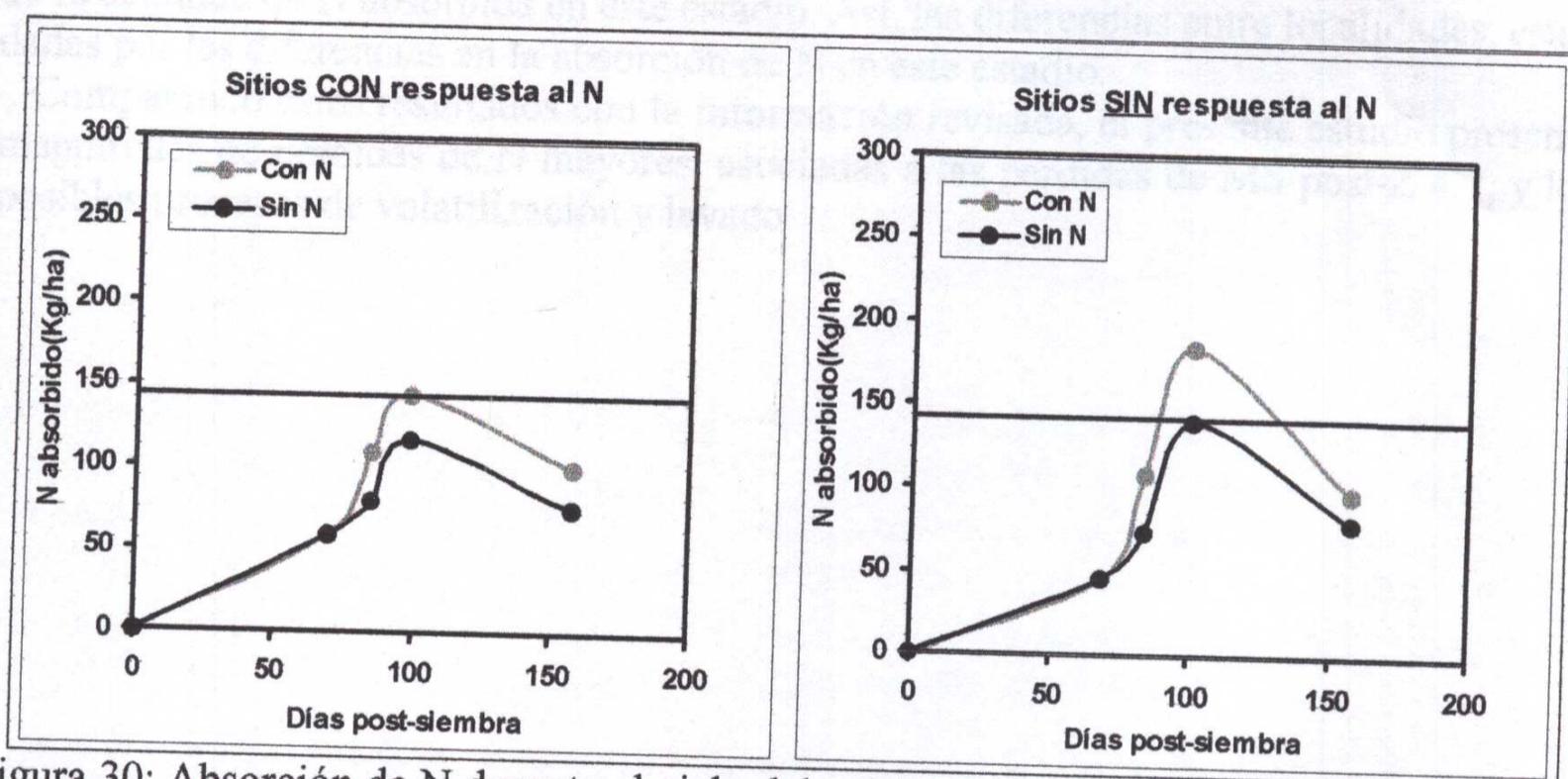


Figura 30: Absorción de N durante el ciclo del cultivo (Kg/ha), en función del N a Z 3.0, para el promedio de los sitios con y sin respuesta al agregado de N en este estadio.

En la misma se puede observar, que el valor de absorción de N a Z 4.7 de los sitios en los que existió respuesta al agregado de N en Z 3.0 concuerda con el valor de absorción de N de los testigos de los sitios que no mostraron respuesta. En estos sitios el agregar N llevó a que aumente el N absorbido presentando una fuerte disminución a cosecha y terminando con el mismo nivel que los testigos. Esto muestra en primer lugar que pese a las condiciones climáticas del año, los cultivos tuvieron en promedio la capacidad de absorber el N agregado a Z 3.0 con las diferencias ya explicadas entre localidades. En segundo lugar, los testigos de los sitios sin respuesta al agregado de N en Z 3.0, ya habían absorbido todo el N necesario al estadio de Z 4.7, lo que llevó a que el excedente se pierda. Esto explica en parte los resultados encontrados por autores como Hoffman, Perdomo, Ernst, en 1999 y por Bordoli en el 2000, los que han reportado una muy baja

eficiencia de uso del N para incrementar los porcentajes de proteína en grano en situaciones de suficiencia.

Es importante resaltar en primer lugar los altos niveles de absorción de N observados a Z 4.7, en relación con otros estudios. Esta absorción se relacionó con el crecimiento en cada uno de los períodos estudiados. Sin embargo la cantidad de N absorbida en el período Z 3.0-Z 4.7, fue la que mejor se relacionó con la cantidad total de N absorbida a Z 4.7. Incrementos en la absorción de N en este estadio, determinaron escasos incrementos en los niveles de N a cosecha, los que a su vez se relacionaron en forma muy importante con el rendimiento y la proteína en grano. Estos escasos incrementos, fueron explicados por las pérdidas de N observadas posterior al estadio Z 4.7, proceso que fue fundamentalmente afectado por la localidad. La magnitud de las pérdidas, fue explicada por la cantidad de N acumulada al estadio Z 4.7, las que promediaron un 80 % de la cantidad de N absorbida en este estadio. Así, las diferencias entre localidades, están dadas por las diferencias en la absorción de N en este estadio.

Comparando estos resultados con la información revisada, el presente estudio presenta magnitudes de pérdidas de N mayores, asociadas a las pérdidas de MS post-Z 4.7, y los posibles procesos de volatilización y lavado.

## V. CONCLUSIONES

- 1) Las características climáticas del año determinaron que los incrementos de rendimiento en grano por sobre los testigos fueran inferiores a los observados en el año anterior. Al igual que en el año 1998, hasta las 65 unidades de N agregadas en Z 3.0, este fue lineal mientras que por encima de este valor el incremento se mantuvo constante. La respuesta promedio al agregado N en Z 3.0 fue de 11 Kg de grano/Kg de N. Con respecto al porcentaje de proteína en grano todos los tratamientos con agregados de N en Z 3.0 mantuvieron la proteína por sobre los testigos independientemente de la dosis de N agregada.
- 2) El modelo de Baethgen, (1992), permitió explicar el comportamiento en términos de respuesta o no respuesta en un 85 % de los sitios estudiados. El menor comportamiento del modelo con relación al año 1998, podría ser esperable dadas las características climáticas del año 1999. Por otra parte, si bien este tendió a subestimar en un 26 % la dosis de N a agregar en el 64 % de los sitios con respuesta, esto podría deberse a que fue desarrollado para el cultivo de Cebada Cervecera.
- 3) Como era esperable, la tendencia general mostró que el agregado de N en Z 4.7 no incrementó el rendimiento y proteína en grano. Sin embargo cuando existieron agregados de N a Z 3.0 por encima de lo necesario, la respuesta al agregado de N en Z 4.7 fue negativa. En aquellas pocas situaciones en las que la respuesta al agregado de N en Z 4.7 fue positiva, en ninguna se logró la respuesta que se obtiene cuando el cultivo se maneja correctamente al estadio de Z 3.0.
- 4) Debido a que no existió respuesta al agregado de N en Z 4.7, no fue posible encontrar ninguna relación con los diferentes indicadores estudiados (% de N en HB, % de N en planta a Z 4.7, Clorofila, y Kg de N absorbido a Z 4.7).
- 5) En comparación a otros estudios, se observaron altos valores de absorción de N al estadio de Z 4.7 con un rango desde 62 hasta 358 Kg de N/ha (145 Kg de N/ha en promedio). La cantidad de N absorbida en el período Z 3.0-Z 4.7 fue la que mejor se relacionó con la cantidad de N total a Z 4.7. Esto muestra la importancia del modelo de Baethgen, que en un estadio tan temprano como Z 3.0 permite predecir el comportamiento del cultivo en estadios posteriores.
- 6) Existió una escasa relación entre la cantidad de N absorbida a Z 4.7 con el rendimiento en grano. En lo que respecta al porcentaje de proteína en grano, el modelo ajustado define un nivel de absorción de N a Z 4.7 de 88 Kg/ha, a partir del cual los incrementos de proteína disminuyen sensiblemente. Por debajo de este nivel sería necesario absorber 14 Kg de N/ha para aumentar un 1 % la proteína

mientras que por encima de este serían necesarios 123. Esto muestra la baja eficiencia que se tendría si se quisiera agregar N en este estadio con el objetivo de aumentar el porcentaje de proteína.

- 7) La cantidad de N absorbida a cosecha se relacionó en forma muy importante con el rendimiento y la proteína en grano. A su vez, mayores cantidades de N absorbidas a Z 4.7, determinaron escasos incrementos en los niveles de esta. Estos fueron explicados por las pérdidas de N observadas posterior al estadio Z 4.7, proceso que no varió ni por la localidad, ni por el agregado en Z 3.0 o en Z 4.7. La magnitud de esta pérdida, fue explicada por la cantidad de N acumulada al momento de Z 4.7. Así, por cada 100 Kg de N/ha absorbidos a Z 4.7 por encima de 78 Kg de N el cultivo pierde un 80 % que no llega a cosecha.
- 8) En el presente estudio se observaron pérdidas de N muy importantes, asociadas a un balance entre la pérdida de MS post-Z 4.7, y la posible volatilización de N producto del proceso de removilización. Así, pérdidas significativas de paja durante el llenado de grano se asociaron a pérdidas importantes de N.
- 9) Las pérdidas de N observadas posteriores al estadio de Z 4.7 permiten ser concluyentes en cuanto a que este fenómeno ocurre en cultivos con y sin deficiencias nutricionales. Por lo tanto lo más importante sería manejar correctamente el estado nutricional del cultivo hasta Z 3.0 para así llegar con un correcto estado nutricional a Z 4.7 lo que determina una mayor eficiencia en el uso del N.

## VI. RESUMEN

La fertilización nitrogenada es uno de los factores determinantes del rendimiento y calidad en los cultivos de invierno. A pesar de esto, en la mayoría de los casos a nivel comercial, ésta se realiza utilizando criterios subjetivos basados en la interpretación de la influencia de las condiciones climáticas, historia de chacra, cultivo antecesor, etc sobre la disponibilidad de nitratos en el suelo.

El objetivo general de este trabajo es analizar en trigo el modelo de ajuste de N propuesto por Baethgen (1992) para el agregado de N a Z 3.0 en cebada cervecera. Estudiar además la influencia del agregado de N en estadios avanzados del cultivo de trigo (Z 4.7) sobre rendimiento y proteína en grano. Los objetivos específicos son: 1) conocer los factores que afectan la dinámica de N en estadios avanzados del cultivo y su relación con la respuesta al agregado de N en rendimiento y nitrógeno en grano; 2) estudiar en forma preliminar la relación entre la respuesta al agregado de N tardío e indicadores que permitan predecirla. En el año 1999 se realizó una red de ensayos en las localidades de Dolores, Mercedes, Young y Paysandú con un total de 22 sitios experimentales instalados a partir de Zadoks 3.0 (fines de macollaje). Se eligieron chacras de productores en las zonas de Dolores, Mercedes, Young y Paysandú. Los tratamientos consistieron en aplicaciones de N al estadio Z 3.0 (0, 30, 60 y 90 Kg de N/ha), y Z 4.7 (0 y 30 Kg de N/ha), siendo Urea la fuente de N utilizada. A pesar de las características climáticas del año (escasas precipitaciones y elevadas temperaturas de Z 3.0 en adelante), existió respuesta al agregado de N, aunque esta fue de baja magnitud (11 Kg de grano/Kg de N agregado). Al igual que lo sucedido en el año 1998, el incremento de rendimiento por sobre los testigos se mantiene por encima de las 65 unidades de N agregadas, mientras que el porcentaje de proteína permanece sin cambios a todas las dosis de N. Esto se debe a los altos niveles probables de N presentes en el suelo que llevaron a que el porcentaje de proteína de los testigos fueran altos y se mantuvieran sin variación. Por otro lado, el modelo de Baethgen (1992), fue capaz de explicar el comportamiento de los sitios en términos de respuesta o no respuesta en rendimiento, con una proporción de aciertos del 85 %. Si bien este tendió a subestimar la dosis de N a agregar, esto puede deberse a que fue construido para el cultivo de cebada cervecera. Sin embargo, tanto el rendimiento como la concentración de proteína en grano se encontraron muy poco por debajo a los obtenidos con la dosis óptima observada para rendimiento. Por otro lado, el agregado de N a Z 4.7, tuvo un escaso efecto en rendimiento y proteína en grano. El factor determinante en marcar diferencias en la respuesta al agregado de N en este estadio fue la localidad. Así, en la localidad de Dolores los cultivos mostraron una importante disminución de rendimiento por el agregado de N en Z 4.7, lo que se podría relacionar con el mayor déficit hídrico y el bajo potencial de rendimiento con respecto a las otras localidades. En el resto de las localidades el comportamiento no fue claro.

Debido a que no existió respuesta al agregado de N en Z 4.7, no fue posible encontrar ninguna relación con los diferentes indicadores estudiados (% de N en HB, % de N en planta a Z 4.7, Clorofila, y Kg de N absorbido a Z 4.7). A pesar de esto, los rangos de %

de N en hoja bandera del presente trabajo, son superiores a los reportados en otros estudios, lo que plantea la interrogante si con valores inferiores a los registrados el comportamiento hubiese sido otro. El único indicador que se relacionó con el estado nutricional del cultivo a Z 4.7 (Kg de N absorbido), fue el porcentaje de N en planta a este estadio.

Cuando se analizan los valores de absorción de N a Z 4.7, se observa que fueron superiores a los obtenidos en otros estudios. La media de absorción fue de 145 Kg de N/ha, presentando un máximo de 356. A su vez, esta absorción estuvo altamente relacionada con el crecimiento del cultivo de Z 3.0 en adelante, y no fue afectada por la cantidad de N absorbida a este estadio.

Por otro lado, la relación entre el rendimiento en grano y el total de N absorbido a cosecha mostró, que por cada Kg de N absorbido a cosecha se generan 23 Kg de grano, mientras que fueron necesarios 25 Kg más de N absorbidos para elevar 1 punto el contenido de proteína. Sin embargo, la relación entre el total de N absorbido a Z 4.7 con el rendimiento en grano fue escasa. Cuando se lo relacionó con el porcentaje de proteína en grano, mostró que por debajo de 88 Kg de N/ha absorbidos a Z 4.7 serían necesarios absorber 14 Kg de N/ha para elevar un 1 % la proteína, mientras que por encima serían necesarios 123. Esto demuestra la baja eficiencia para aumentar los porcentajes de proteína en grano cuando se dan situaciones de suficiencias de N. Así, aumentos importantes en la cantidad de N absorbido a Z 4.7, producen escasos incrementos en los niveles de N a cosecha, siendo la diferencia entre ambas variables mayor a altas cantidades de N absorbido a Z 4.7. Esto se explica por las pérdidas de N posterior al estadio Z 4.7, cuya magnitud depende de la cantidad de N acumulada a este estadio. Así, por cada 100 Kg de N/ha absorbidos a Z 4.7 por encima de 78 Kg de N el cultivo pierde un 80 % que no llega a cosecha. Solo se evidenciaron diferencias en la magnitud de estas cuando se comparan las localidades. Estas pérdidas se asociaron en forma muy importante con la cantidad de paja (Kg MS/ha) que se pierde desde Z 4.7 hasta madurez. De esta manera, mayores pérdidas de paja a madurez determinaron mayores pérdidas de N. Sin embargo, la información extranjera es concluyente en decir que solo las pérdidas de MS no explican las pérdidas de N, sino que procesos como volatilización y lavado también pueden determinar este fenómeno.

### **VIII. BIBLIOGRAFÍA**

- 1) ALCOZ, M.M.; HONS, F.M.; HABY, V.A. 1993. Nitrogen Fertilization Timing Effect on Wheat Production, Nitrogen Uptake Efficiency, and Residual Soil Nitrogen. *Agronomy Journal*. 85: 1198-1203.
- 2) ANDERSON, W.K.; HOYLE F.C. 1999. Nitrogen efficiency of cultivars in Mediterranean environment. *Australian Journal of Experiment Agricultural*. 39:957-65.
- 3) BAETHGEN, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Técnica N° 24. 59 p.
- 4) BAHMAN, E.; SHAKIBA, M.R. 1996. Relationship of Internode-Specific Weight and Water-Soluble Carbohydrates in Wheat. *Cereal Research communications*. 24: 61-67.
- 5) BAUER, A, FRANK, A.B.; BLACK, A.L. 1987. Aerial Parts of Hard Spring Wheat. I. Dry Mater Distribution by Plant Development Stage. *Agronomy Journal*.79: 845-852.
- 6) BENZIAN, B; LANE, P. 1981. Interrelationship Between Nitrogen Concentration in Grain, Grain Yield and Added Fertiliser Nitrogen in Wheat Experiments of South-east England. *J.Sci.Food Agric*.32,35-43.
- 7) BORDOLI, J.M.; QUINCKE, A.; MARCHESI, A. 2000. Fertilización de Trigo en Siembra Directa. *In: VIII Jornada Nacional de Siembra Directa*. AUSID. Estación Experimental "Dr. Mario a. Cassinoni". Paysandú. R.O.U.
- 8) BORGHI, E. Y WORNICOV, C. 1998. Evaluación de la Capacidad Predictiva de Distintos Indicadores de Suelo y Planta para el Ajuste de la Fertilización Nitrogenada en el Cultivo de Maíz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. 53p.
- 9) BRASSETTI SANGUINETTI, DARDO, J.; SIRI PRIETO, GUILLERMO, C. 1993. Factores Ambientales y de Manejo Determinantes del Rendimiento y del Contenido de Nitrógeno en el Grano de Cebada. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. 185p.
- 10) BULMAN, P.; SMITH, D.L. 1993. Grain Protein Response of Barley to High Rates and Post-Anthesis Application of Fertilizer Nitrogen. *Agronomy Journal*.85: 1109-1113.

- 11) \_\_\_\_\_ . SMITH, D.L. 1994. Post-Heading Nitrogen Uptake, Retranslocation, and Partitioning in Spring Barley. *Crop Science* 34:977-984.
- 12) CAMPBELL, C.A; DAVIDSON, H.R.; WINKLEMAN, G.E. 1981. Effect of Nitrogen, Temperature Growth Stage and Duration of Moisture Stress on Yield Components and Protein Content of Spring Wheat. *Canadian Journal Plant Science*. 61: 549-563.
- 13) CASSMAN, K.G.; BRYANT, D.C.; FULTON, A.E.; JACKSON, L.F. 1992. Nitrogen Supply on Partitioning of Dry Matter and Nitrogen to Grain of Irrigated Wheat. *Crop Science*. 32: 1251-1258.
- 14) COOPER, J.L.; BLAKENEY, A.B. 1990. The Effect of Two Forms of Nitrogen Fertilizer Applied Near Anthesis on the Grain Quality of Irrigated Wheat. *Australian Journal of Experimental Agricultural Science*. 30:615-19.
- 15) DAIGGER, L.A., SANGER, D.H.; PETERSON, G.A. 1976. Nitrogen Content of Winter wheat During Growth and Maturation. *Agronomy Journal*. 68: 815-818.
- 16) DALAL, R.C.; STRONG, W.M.; WETSON, E.J., COOPER, J.E.; THOMAS, G.A. 1997. Prediction of Grain Protein in Wheat and Barley in a Subtropical Environment from Available Water and Nitrogen in Vertisols at Sowing. 37: 351-357.
- 17) FEDERICK, J.R.; CAMBERATO, J.J. 1995. Water and Nitrogen Effects on Winter in the Southeastern Coastal Plain: I. Grain Yield and Kernel Traits. *Agronomy Journal*. 87: 521-526.
- 18) \_\_\_\_\_ . CAMBERATO, J.J. 1995. Water and Nitrogen Effects on Winter in the southeastern coastal Plain: II. Physiological Responses. *Agronomy Journal*. 87: 527-533.
- 19) FIEZ, T.E.; MILLER, B.C.; PAN, W.L. 1994. Winter Wheat Yield and Grain Protein across Varied Landscape Positions. *Agronomy Journal*. 86: 1026-1032.
- 20) FRANK, A.B., BAUER, A.; BLACK, A.L. 1989. Carbohydrate, Nitrogen, and Phosphorus Concentrations of Spring Wheat Leaves and Stems. *Agronomy Journal*. 81: 524-528.
- 21) GARCÍA LAMOTHE, A. 1998. Manejo del Nitrógeno y Otros Nutrientes Para Mantener o Aumentar la Proteína del Grano en Trigo Pan. Jornada de cultivos de invierno INIA La Estanzuela. 2000.

- 22) GONZALEZ GARCÍA, I.; TRUJILLO CARRAU, A. 1995. Caracterización de la Fenología y el Llenado de Grano en Ocho Variedades de Cebada Cervecera para la Calibración y Validación del Modelo de Simulación Ceres-Barley. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía.
- 23) HARPER, L.A.; SHARPE, R. R.; LANGDALE G. W., GIDDENS, J. E. 1987. Nitrogen Cycling in a Wheat Crop: Soil, Plant, and Aerial Nitrogen Transport. *Agronomy Journal*. 79: 965-973.
- 24) HOFFMAN, E.; ERNST, O. 1996. Refertilización en Cebada Cervecera. EEMAC. Facultad de Agronomía. *Revista Cangué*. N° 6. 15 p.
- 25) \_\_\_\_\_. ERNST. O; PERDOMO.C. 1998. Ajuste de la Fertilización Nitrogenada en Trigo en Función de Indicadores Objetivos y su Efecto en Rendimiento y Calidad de Grano. Sp. Facultad de Agronomía. 24p.
- 26) \_\_\_\_\_. ERNST. O; PERDOMO. C.; PASTORINI, M.; PONS, C. 1999. Indicadores de Manejo de La Fertilización Nitrogenada en Cebada Cervecera. *In: VIII Jornadas de Investigación en Cebada Cervecera. Mesa Nacional de Entidades Maltera. Minas. (en prensa).*
- 27) JORNADA SOBRE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO, (1ª, 1999, MERCEDES), Paysandú, Facultad de Agronomía, 47.
- 28) KANWARPAL S.D.; WAINES, J.G. 1989. Analysis of Nitrogen Accumulation and Use In Bread and durum Wheat. *Crop Science*. 29: 1232-1239.
- 29) KEMANIAN, A.; VIEGA, L. 1999. Concreción del Peso y Concentración de Nitrógeno del Grano de Cebada Cervecera. Informe a la Mesa Nacional de Cebada Cervecera. Reunión Mesa Nacional de Cebada Cervecera. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay.
- 30) KOBATA, T.; PALTA, J.A.; TURNER, N.C. 1992. Rate of Development of Postanthesis Water Deficits and Grain Filling of Spring Wheat. *Crop Science*. 32: 1238-1242.
- 31) LAL, P.; REDDY, G.G.; MODI, M.S. 1977. Accumulation and Redistribution Pattern of Dry Matter and N in Tricale and Wheat Varietis Under Water Stress Condition. *Agronomy Journal*. Journal Series N°1003-5945.
- 32) MAHLER, R.L.; HERMANDA, H. 1993. Evaluation of Nitrogen Fertilizer Value of plant Materials to Spring Wheat Production. *Agronomy Journal*. 85: 305-309.

- 33) PALTA, J.A.; FILLERY, I.R. 1993. Nitrogen Accumulation and Remobilisation in Wheat of  $^{15}\text{N}$ -urea Applied to Duplex Soil at Seeding. *Australian Journal of experimental agriculture* 33:233-8.
- 34) \_\_\_\_\_. KOBATA, T; TURNER, N.C.; FILLERY, I.R. 1994. Remobilization of Carbon and Nitrogen in Wheat as Influenced by Postanthesis Water Deficit. *Australian Journal of experimental agriculture*. 34:118-124.
- 35) PERDOMO, C.; HOFFMAN, E.; PONS, C.; PASTORINI, M. 1999. Soil Nitrate Critical Levels and Nitrogen Requirements for Malting Barley in Uruguay. ASA, CSSA, SSSA Annual Meetings; USA.
- 36) \_\_\_\_\_. HOFFMAN, E; PONS, C; PASTORINI, M., 1999. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. Informe a la Mesa Nacional de Cebada Cervecera. Reunión Mesa Nacional de Cebada Cervecera. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay.
- 37) \_\_\_\_\_. HOFFMAN, E; PONS, C; PASTORINI, M., 1999. Indicadores de Manejo de la fertilización Nitrogenada en Cebada Cervecera. XIX Reunión Anual de Pesquisa de Cebada. Passo Fundo, Brasil.
- 38) RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. 1999. Review and Interpretation. *Agronomy Journal*. 91: 357-363.
- 39) ROTH, G.W.; FOX, R.H.; MARSHALL, H.G. 1989. Plant Tissue Tests for Predicting Nitrogen Fertilizer Requirements of Winter Wheat. *Agronomy Journal*. 81: 502-507.
- 40) SCHARF, P.C.; ALLEY, M.M.; LEI, Y.Z. 1993. Sprig Nitrogen on Winter Wheat: I. Farmer-Field Validation of Tissue Test-Based rate Recommendations. *Agronomy Journal*. 85: 1181-1186.
- 41) \_\_\_\_\_. ALLEY, M.M. 1993. Sprig Nitrogen on Winter Wheat: II. A Flexible Multicomponent Rate Recommendation System. *Agronomy Journal*. 85: 1186-1192.
- 42) SOWERS, K.E.; MILLER, B.C.; PAN, W.L. 1994. Optimizing Yield and Grain in Soft white Winter Wheat with Split Nitrogen Applications. *Agronomy Journal*. 86: 1020-1025.
- 43) STRONG, W.M. 1982. Effect of Late Application of Nitrogen on the Yield and Protein Content of Wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 22: 54-61.

- 44) TERMAN, G.L.; RAMING, R.E.; DREIER, A.; OLSON, R.A. 1969. Yield-Protein Relationships in Wheat Grain, as affected by Nitrogen and Water. *Agronomy Journal*. 61: 755-759.
- 45) \_\_\_\_\_. 1979. Yields and protein Content of Wheat Grain as Affected by Cultivar, N, and Enviromental Growth Factors. *Agronomy Journal*. 71: 437-440.
- 46) van HERWAARDEN, A.F.; FARQUHAR, G.D.; ANGUS, J.F.; RICHARDS, R.A.; HOWE, G.N. 1998. "Haying-off", the Negative Grain Yield Response of Dryland Wheat to Nitrogen Fertilizer I. Biomass, Grain Yield, and Water Use. *J. Agric. Res.* 49, 1067-81.
- 47) VAN SANFORD, D.A.; MACKOWN, C.T. 1987. Cultivar Differences in Nitrogen Remobilization During Grain Fill in soft Red Winter Wheat. *Crop Science*. 27: 295-300.
- 48) VAUGHAN, B.; BARBARICK, K.A.; WESFALL, D.G.; CHAPMAN, P.L. 1990. Tissue Nitrogen Levels For Dryland Hard Red Winter wheat. *Agronomy journal* 82: 561-565.

IX. ANEXOS

# Anexo 1: Características de los sitios de la localidad de Dolores. Incluye manejo del N anterior al estadio Z 3.0.

ZONA	S	Suelo	Hist. Chacra	Varietal	Fecha. siembra	Rastrojo	S.Lab	G.R	N 230	N 247	NO3 S	Kg.N/ha siemb	NO3 Z22	Kg.N/ha Z22	Dias S-Z3.0	% N PI Z30	MS Z30	N Absz30	R/ha	% PC	Ajuste en Z 3.0
Dolores	2	Medio	INV 96	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	0	0									3125	10.2	
Dolores	2	Medio	VER 96-97	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	30	0									3683	13.4	
Dolores	2	Medio	INV 97	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	60	0									3683	12.0	
Dolores	2	Medio	VER 97-98	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	90	0									3282	14.1	
Dolores	2	Medio	INV 98	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	0	30			10.5		71	3.07	1766	84		11.2	A
Dolores	2	Medio	VER 98-99	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	30	30										16.1	
Dolores	2	Medio	INV 99	Mirio	11-Jun	Maiz	SD	A	60	30										12.2	
Dolores	3	Medio	INV 96	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	0	0									3333	11.4	
Dolores	3	Medio	VER 96-97	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	30	0									3000	10.0	
Dolores	3	Medio	INV 97	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	60	0									3125	12.6	
Dolores	3	Medio	VER 97-98	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	90	0									3375	12.1	
Dolores	3	Medio	INV 98	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	0	30									3375	12.6	
Dolores	3	Medio	VER 98-99	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	30	30									3083	12.8	
Dolores	3	Medio	INV 99	Mirio	23-Jun	Girasol 2	LC	B	60	30									3292	11.4	
Dolores	4	Medio	INV 96	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	0	0									3500	12.6	
Dolores	4	Medio	VER 96-97	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	30	0									3468	11.2	
Dolores	4	Medio	INV 97	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	60	0									3417	11.9	
Dolores	4	Medio	VER 97-98	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	90	0									4468	12.4	
Dolores	4	Medio	INV 98	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	0	30									4208	13.4	
Dolores	4	Medio	VER 98-99	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	30	30									2760	12.2	
Dolores	4	Medio	INV 99	Mirio	14-Jun	Girasol 2	LC	B	60	30									3042	13.8	
Dolores	5	Medio	INV 96	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	0	0									2375	12.1	
Dolores	5	Medio	VER 96-97	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	30	0									2792	11.1	
Dolores	5	Medio	INV 97	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	60	0									3000	7.8	
Dolores	5	Medio	VER 97-98	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	90	0									3333	11.0	
Dolores	5	Medio	INV 98	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	0	30									3625	10.6	
Dolores	5	Medio	VER 98-99	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	30	30									2282	11.1	
Dolores	5	Medio	INV 99	Cardenal	23-Jun	Girasol 2	LC	B	60	30									2208	11.6	
Dolores	6	Medio	INV 96	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	0	0									2375	7.1	
Dolores	6	Medio	VER 96-97	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	30	0									2468	12.0	
Dolores	6	Medio	INV 97	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	60	0									2968	10.6	
Dolores	6	Medio	VER 97-98	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	90	0									3292	11.7	
Dolores	6	Medio	INV 98	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	0	30									3642	11.9	
Dolores	6	Medio	VER 98-99	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	30	30									3750	12.6	
Dolores	6	Medio	INV 99	Cardenal	24-Jun	Girasol 2	LC	B	60	30									2708	11.1	
Dolores	7	Medio	INV 96	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	0	0									2833	12.2	
Dolores	7	Medio	VER 96-97	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	30	0									2500	11.6	
Dolores	7	Medio	INV 97	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	60	0									2625	12.6	
Dolores	7	Medio	VER 97-98	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	90	0									3620	11.9	
Dolores	7	Medio	INV 98	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	0	30									2961	13.6	
Dolores	7	Medio	VER 98-99	T805	20-Jul	Girasol 2	SD	A	30	30									3191	12.2	
Dolores	8	Medio	INV 96	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	0	0									3454	11.0	
Dolores	8	Medio	VER 96-97	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	30	0									2171	11.8	
Dolores	8	Medio	INV 97	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	60	0									2829	14.0	
Dolores	8	Medio	VER 97-98	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	90	0									2336	11.6	
Dolores	8	Medio	INV 98	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	0	30									2796	13.6	
Dolores	8	Medio	VER 98-99	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	30	30									2179	10.9	
Dolores	8	Medio	INV 99	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	60	0									2437	11.4	
Dolores	8	Medio	VER 99-00	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	90	0									2452	10.6	
Dolores	8	Medio	INV 00	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	0	30									2857	11.5	
Dolores	8	Medio	VER 00-01	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	30	30									2598	11.9	
Dolores	8	Medio	INV 01	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	60	30									2312	11.6	
Dolores	8	Medio	VER 01-02	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	90	30									2663	11.7	
Dolores	8	Medio	INV 02	Cardenal	20-Jul	Girasol 2	LC	B	0	30									2640	11.7	

## Anexo 2: Características de los sitios de la localidad de Mercedes. Incluye manejo del N anterior al estadio Z 3.0.

ZONA	S	Suelo	Hist. Checa	Variedad	Fecha. siembra	Rastrojo	S.Lab	G.R	N Z30	N Z47	NOS S	Kg. Mha siemb	NO3 Z22	Kg. Niha Z22	Días S-Z3.0	% N P1 Z30	MS Z30	N Abaz30	RNI6	% PC	Ajuste en Z 3.0
Mercedes	11	Pesado	INV 96	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	0	0									2869	11.6	
Mercedes	11	Pesado	VER 96-97	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	30	0									2930	12.1	
Mercedes	11	Pesado	INV 97	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	90	0									3043	13.0	
Mercedes	11	Pesado	VER 97-98	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	0	0	9.0	32	12.0	32	60	4.67	873	41	3184	13.1	A
Mercedes	11	Pesado	INV 98	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	30	30									2873	12.1	
Mercedes	11	Pesado	VER 98-99	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	90	30									3408	12.3	
Mercedes	11	Pesado	INV 96	P. Calidad	17-Jun	Maiz	SD	A	90	30									3106	12.9	
Mercedes	12	Pesado	INV 96	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	0	0									2869	14.0	
Mercedes	12	Pesado	VER 96-97	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	30	0									3035	12.2	
Mercedes	12	Pesado	INV 97	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	60	0									3254	13.1	
Mercedes	12	Pesado	VER 97-98	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	90	0									3090	13.9	
Mercedes	12	Pesado	INV 98	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	0	30	15.0	25	12.0	48	84	2.72	1865	51	3349	13.6	A
Mercedes	12	Pesado	VER 98-99	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	30	30									3275	13.0	
Mercedes	12	Pesado	INV 96	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	60	30									3050	13.2	
Mercedes	12	Pesado	VER 96-97	Tijereta	24-May	Girasol	SD	A	90	30									3114	13.2	
Mercedes	13	Pesado	INV 96	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	0	0									2875	14.4	
Mercedes	13	Pesado	VER 96-97	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	30	0									3469	10.4	
Mercedes	13	Pesado	INV 97	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	60	0									3484	11.5	
Mercedes	13	Pesado	VER 97-98	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	90	0									3699	11.4	
Mercedes	13	Pesado	INV 98	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	0	30	14.0	38	18.0	28	90	3.23	1468	47	3492	12.1	A
Mercedes	13	Pesado	VER 98-99	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	30	30									3750	10.8	
Mercedes	13	Pesado	INV 96	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	60	30									3635	11.0	
Mercedes	13	Pesado	VER 96-97	P. Puntal	18-May	Girasol	SD	A	90	30									4008	12.0	
Mercedes	14	Pesado	INV 96	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	0	0									3253	12.0	
Mercedes	14	Pesado	VER 96-97	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	30	0									3678	11.9	
Mercedes	14	Pesado	INV 97	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	60	0									3701	12.6	
Mercedes	14	Pesado	VER 97-98	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	90	0									3684	13.2	
Mercedes	14	Pesado	INV 98	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	0	30	18.0	0	3.8	60	69	4.60	635	29	3377	12.2	A
Mercedes	14	Pesado	VER 98-99	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	30	30									3697	12.6	
Mercedes	14	Pesado	INV 96	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	60	30									3623	12.1	
Mercedes	14	Pesado	VER 96-97	Cabure	18-Jun	Girasol	Lmin	A	90	30									3482	13.2	
Mercedes	15	Pesado	INV 96	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	0	0									3542	13.7	
Mercedes	15	Pesado	VER 96-97	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	30	0									3313	11.3	
Mercedes	15	Pesado	INV 97	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	60	0									3769	11.9	
Mercedes	15	Pesado	VER 97-98	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	90	0									3682	12.3	
Mercedes	15	Pesado	INV 98	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	0	30	11.0	37	9.0	37	74	2.97	1468	44	3280	12.3	A
Mercedes	15	Pesado	VER 98-99	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	30	30									3202	11.6	
Mercedes	15	Pesado	INV 96	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	60	30									3840	12.4	
Mercedes	15	Pesado	VER 96-97	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	90	30									3827	12.3	
Mercedes	15	Pesado	INV 97	Mirio	13-Jun	Soja	SD	A	0	0									3955	13.5	

**Anexo 3: Características de los sitios de la localidad de Young-Paysandú. Incluye manejo del N anterior al estadio**

**Z 3.0.**

ZONA	S	Subst	Hist. Chacra	Variedad	Fecha siembra	Rastrojo	S.Lab	G.R	N Z30	N Z47	NOS \$	Kg. N/ha siemb	NOS Z22	Kg. N/ha Z22	Días B-Z3.0	% N PI Z30	MS Z30	N Abs:Z30	R/Nts	% PC	Ajuste en Z 3.0
Young	31	Pesado		T605	11-Jun	Girasol	SD	A	0	0									4014	10.8	
Young	31	Pesado	Pradera	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	30	0									4239	11.0	
Young	31	Pesado	Pradera	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	60	0									4269	12.4	
Young	31	Pesado	Pradera	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	90	0									4018	12.4	A
Young	31	Pesado	Pradera	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	0	30	22.0	25	16.0	37	63	3.18	1687	50			
Young	31	Pesado	Pradera vigia	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	30	30									4379	11.3	
Young	31	Pesado	Girasol 1ra.	T605	11-Jun	Girasol	SD	A	60	30									4070	11.7	
Young	31	Pesado		T605	11-Jun	Girasol	SD	A	90	30									4022	13.0	
Young	32	Pesado	Pradera	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	0	0									3978	11.6	
Young	32	Pesado	Pradera	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	30	0									3248	10.6	
Young	32	Pesado	Pradera	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	60	0									3429	12.8	
Young	32	Pesado	Pradera	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	90	0									3571	11.0	
Young	32	Pesado	Pradera	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	0	30	22.0	25	16.0	37	63	3.43	1349	46			D
Young	32	Pesado	Pradera vigia	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	20	30									3611	15.3	
Young	32	Pesado	Girasol 1ra.	Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	60	30									3441	11.9	
Young	32	Pesado		Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	90	30									3003	12.8	
Young	32	Pesado		Cabure	11-Jun	Girasol	SD	A	0	30									3319	13.6	
Young	33	Pesado		Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	0	0									3350	15.3	
Young	33	Pesado	Pradera	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	30	0									2912	10.5	
Young	33	Pesado	Pradera	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	60	0									3249	12.1	
Young	33	Pesado	Pradera	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	90	0									3181	12.1	
Young	33	Pesado	Pradera	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	0	30	15.0	23	9.0	43	61	4.51	661	30			D
Young	33	Pesado	Trigo	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	30	30									2647	11.8	
Young	33	Pesado	Girasol 2da.	Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	60	30									3078	11.2	
Young	33	Pesado		Pelon	14-Jun	Girasol 2	SD	A	90	30									3652	11.8	
Young	34	Pesado		T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	0	0									3634	11.9	
Young	34	Pesado	Trigo	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	30	0									3107	14.9	
Young	34	Pesado	Trigo	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	60	0									3456	12.3	
Young	34	Pesado	Pradera	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	90	0									3860	11.5	
Young	34	Pesado	Girasol	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	0	30	26.0	34	9.6	46	61	4.43	1808	80			D
Young	34	Pesado	Trigo	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	30	30									4084	15.1	
Young	34	Pesado	Girasol 2da.	T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	60	30									3652	13.6	
Young	34	Pesado		T605	13-Jun	Girasol 2	SD	A	90	30									4231	13.6	
Young	35	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol 2	SD	A	0	0									4559	14.8	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	0	0									4199	14.5	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	30	0									3559	11.5	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	60	0									4222	12.6	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	90	0									5017	12.1	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	0	30	13.3	30	6.4	46	60	3.16	1631	52			A
Young	36	Medio	Cabuda	Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	30	30									4701	12.5	
Young	36	Medio	Girasol	Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	60	30									3886	12.2	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	90	30									4106	13.5	
Young	36	Medio		Mirio	20-Jun	Girasol	SD	A	0	30									4945	14.7	

ZONA	S	Suelo	Hist. Chacra	Variedad	Fecha siembra	Restropo	S.Lab	G.R	N Z30	N Z47	NO3 S	Kg. N/ha siemb	NO3 Z22	Kg. N/ha Z22	Dias 6-Z3.0	% N PI Z30	MS Z30	H Abaz30	R/ha	% PC	Ajuste en Z 3.0
Young	37	Pesado	INV 96	Pradera	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	0	0								3300	9.7	
Young	37	Pesado	VER 96-97	Pradera	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	30	0								3897	10.5	
Young	37	Pesado	INV 97	Pradera	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	90	0								3896	11.9	
Young	37	Pesado	VER 97-98	Pradera vieja	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	0	30	22.0	36	47	66	2.42	1687	38	3740	11.6	A
Young	37	Pesado	INV 98	Pradera vieja	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	30	30								3518	9.1	
Young	37	Pesado	VER 98-99	Pradera vieja	Greynea	15-Jun	PR	LC	B	90	30								4832	10.8	
Young	37	Pesado			Greynea	15-Jun	PR	LC	B	90	30								3903	10.7	
Young	38	Pesado	INV 96		Boyero		SD	A	0	0									2623	11.9	
Young	38	Pesado	VER 96-97		Boyero		SD	A	30	0									2511	13.2	
Young	38	Pesado	INV 97		Boyero		SD	A	90	0									2624	12.3	
Young	38	Pesado	VER 97-98		Boyero		SD	A	0	30									2726	13.7	
Young	38	Pesado	INV 98	Trigo Fort	Boyero		SD	A	0	30					63	3.30	1323	44	2877	13.7	A
Young	38	Pesado	VER 98-99	Soja	Boyero		SD	A	30	30									2404	12.0	
Young	38	Pesado			Boyero		SD	A	90	30									3086	13.5	
Young	39	Pesado	INV 96		P. Quinlái		SD	A	0	0									3081	12.8	
Young	39	Pesado	VER 96-97		P. Quinlái		SD	A	30	0									3262	11.5	
Young	39	Pesado	INV 97	Trigo	P. Quinlái		SD	A	90	0									2243	12.6	
Young	39	Pesado	VER 97-98	Girasol 2da.	P. Quinlái		SD	A	0	30									2516	12.6	
Young	39	Pesado	INV 98		P. Quinlái		SD	A	90	0									2331	12.5	
Young	39	Pesado	VER 98-99	Moha	P. Quinlái		SD	A	0	30									2622	13.0	A
Young	40	Medio	INV 96	Pradera	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	0	0								3941	11.9	
Young	40	Medio	VER 96-97	Pradera	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	30	0								3841	12.0	
Young	40	Medio	INV 97	Pradera vieja	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	90	0								3692	12.2	
Young	40	Medio	VER 97-98	Pradera vieja	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	0	30	22	28	70	2.12	2337	50		4234	13.6	
Young	40	Medio	INV 98	Trigo	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	30	30								3602	12.0	
Young	40	Medio	VER 98-99	Girasol 2da.	Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	90	30								3746	12.9	
Young	40	Medio			Mirio	18-Jun	Girasol	LC	B	90	30								4232	11.8	
Young	41	Pesado	INV 96	Pradera	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	0	0								3466	10.9	
Young	41	Pesado	VER 96-97	Pradera	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	30	0								3766	14.6	
Young	41	Pesado	INV 97	Pradera	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	90	0								3629	12.3	
Young	41	Pesado	VER 97-98	Pradera vieja	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	0	30	12.0	27	46	78	2.96	3636	114	3897	13.1	A
Young	41	Pesado	INV 98	Pradera vieja	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	30	30								3891	11.5	
Young	41	Pesado	VER 98-99	Maliz	Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	90	30								3678	13.1	
Young	41	Pesado			Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	90	30								3666	9.5	
Young	41	Pesado			Cabure	14-Jun	Maliz	LC	A	90	30								3944	12.6	

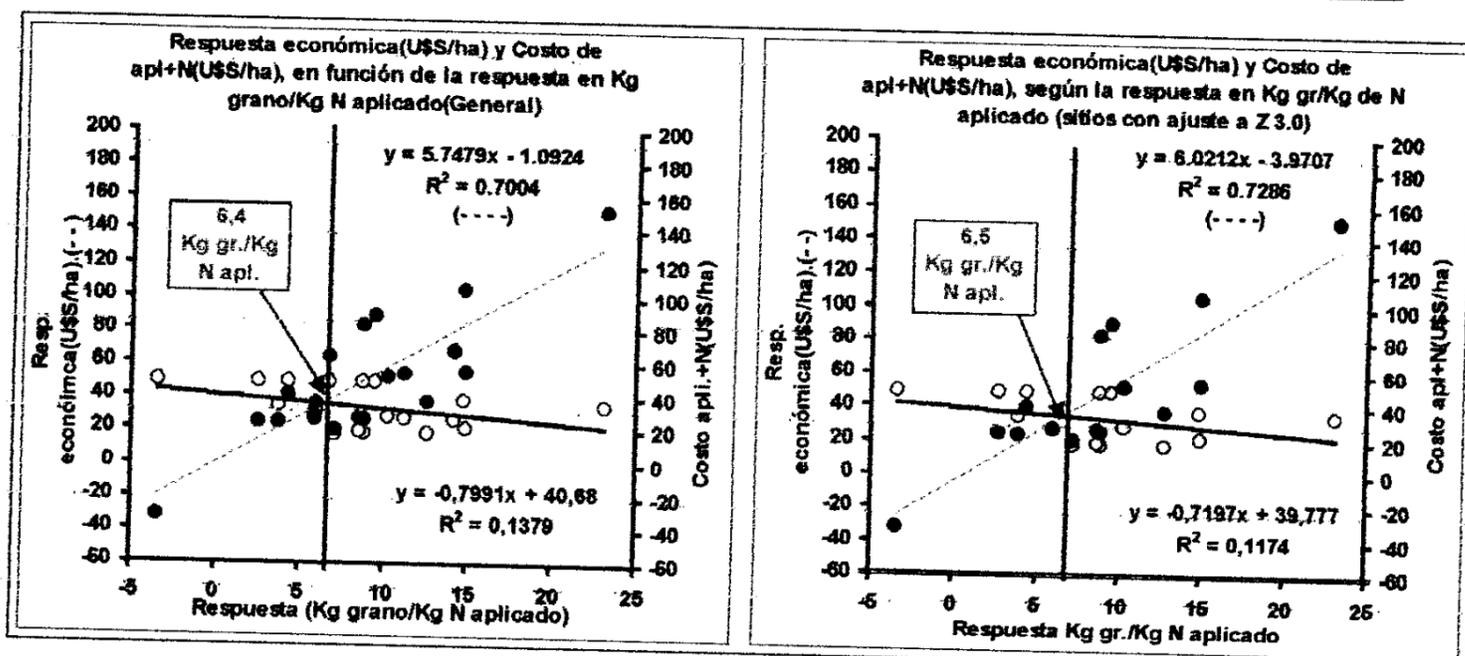
## ANEXO 4: Análisis económico de la respuesta al agregado de N a Z 3.0.

Supuestos para realizar el análisis económico de la respuesta al agregado de N en Z 3.0.

Precio	US\$
Urea(46%)	225
Kg de N	0,5
TT de trigo	105
Kg de trigo	0,105
Costo de aplicación/ha	4

Respuesta Económica al N en Z 3.0, a la dosis óptima (DO) para rendimiento de cada sitio.

Sitio	Ajuste	DO Kg de N/ha	Inc de rend (Kg/ha)	inc de prot (%)	Kg Grano/Kg N	Resp económica (US\$/ha)	Costo (US\$/ha)
2	A	49	500	1.7	10	53	29
3		0	0	0			
4	A	68	1000	3.4	15	105	38
5	A	90	850	0.0	9	89	49
6	A	90	788	1.9	9	83	49
7	A	0	0	0			
8	NA	90	614	0	7	64	49
11	A	90	236	1.8	3	25	49
12	A	28	196	0.8	7	21	18
13	A	61	230	1.0	4	24	34
14	A	90	-305	0	-3	-32	49
15	A	35	520	1.0	15	55	21
31	A	45	267	0.9	6	28	27
32	A	57	343	2.3	6	36	32
33	NA	46	517	2.4	11	54	27
34	NA	46	645	1.7	14	68	27
36	A	63	1448	2.0	23	152	35
37	A	28	358	0.7	13	38	18
38	A	90	390	-1.8	4	41	49
39	A	28	247	0.1	9	26	18
40		0	0	0			
41	A	30	258	3.2	9	27	19



## ANEXO 5: Análisis de Regresión para Rendimiento

### Sitio 2 (0 N Z 47)

#### Modelo Cuadrático

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	1.00
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99
R <sup>2</sup> ajustado	0.97
Error típico	37.27
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. De C.	F	VC de F
Regresión	2	153125	76563	55.12	9.5E-02
Residuos	1	1389	1389		
Total	3	154514			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	3133	36.32	86.26	7.4E-03
Variable X 1	20.42	1.94	10.50	6.0E-02
Variable X 2	-0.21	0.02	-10.06	6.3E-02

### Sitio 5 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	1.00
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99
R <sup>2</sup> ajustado	0.99
Error típico	39.53
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. De C.	F	VC de F
Regresión	1	401389	401389	257	3.9E-03
Residuos	2	3125	1563		
Total	3	404514			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2763	33.07	83.53	1.4E-04
Variable X 1	9.44	0.59	16.03	3.9E-03

### Sitio 5 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.80
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.64
R <sup>2</sup> ajustado	0.46
Error típico	79.06
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. De C.	F	VC de F
Regresión	1	22222	22222	3.56	0.2
Residuos	2	12500	6250		
Total	3	34722			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2233	66.14	33.76	8.8E-04
Variable X 1	2.22	1.18	1.89	0.2

### Sitio 6 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.99
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99
R <sup>2</sup> ajustado	0.98
Error típico	44.68
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	344531	344531	173	5.7E-03
Residuos	2	3993	1997		
Total	3	348524			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2992	37.38	80.03	1.6E-04
Variable X 1	8.75	0.67	13.14	5.7E-03

## ANEXO 6: Análisis de Regresión para Rendimiento

### Sitio 8 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.94
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.89
R <sup>2</sup> ajustado	0.84
Error típico	112.93
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	209531	209531	16.43	5.6E-02
Residuos	2	25508	12754		
Total	3	235039			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2174	94.49	23.01	1.9E-03
Variable X 1	6.82	1.68	4.05	5.6E-02

### Sitio 31 (0 N Z 47)

#### Modelo Cuadrático

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	1.00
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	1.00
R <sup>2</sup> ajustado	0.99
Error típico	12.52
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	2	54340	27170	173.28	5.4E-02
Residuos	1	157	157		
Total	3	54497			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	4011	12.20	328.65	1.9E-03
Variable X 1	11.76	0.65	17.99	3.5E-02
Variable X 2	-0.13	0.01	-18.61	3.4E-02

### Sitio 38 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.96
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.92
R <sup>2</sup> ajustado	0.88
Error típico	61.80
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	84370	84370	22.09	4.2E-02
Residuos	2	7639	3819		
Total	3	92009			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2464	51.71	47.66	4.4E-04
Variable X 1	4.33	0.92	4.70	4.2E-02

### Sitio 41 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.82
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.67
R <sup>2</sup> ajustado	0.50
Error típico	115.66
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	53448	53448	4.00	1.8E-01
Residuos	2	26752	13376		
Total	3	80200			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	3612	96.76	37.33	7.2E-04
Variable X 1	3.45	1.72	2.00	1.8E-01

## ANEXO 7: Análisis de Regresión para Proteína.

### Sitio 4 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	1.00
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99
R <sup>2</sup> ajustado	0.99
Error típico	0.11
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	2.55	2.55		
Residuos	2	0.03	0.01	203	4.9E-03
Total	3	2.57			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.15	0.09	118.98	7.1E-05
Variable X 1	0.02	0.00	14.24	4.9E-03

### Sitio 6 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.96
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.92
R <sup>2</sup> ajustado	0.89
Error típico	0.28
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	1.96	1.96		
Residuos	2	0.16	0.08	24.62	3.8E-02
Total	3	2.12			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	10.78	0.24	45.70	4.8E-04
Variable X 1	0.02	0.00	4.96	3.8E-02

### Sitio 11 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.96
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.93
R <sup>2</sup> ajustado	0.89
Error típico	0.26
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	1.72	1.72		
Residuos	2	0.13	0.07	25.92	3.6E-02
Total	3	1.85			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.55	0.22	53.58	3.5E-04
Variable X 1	0.02	0.00	5.09	3.6E-02

### Sitio 11 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.95
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.90
R <sup>2</sup> ajustado	0.86
Error típico	0.32
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	1.89	1.89		
Residuos	2	0.20	0.10	18.92	4.9E-02
Total	3	2.09			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.90	0.26	45.02	4.9E-04
Variable X 1	0.02	0.00	4.35	4.9E-02

## ANEXO 8: Análisis de Regresión para Proteína.

### Sitio 13 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.93
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.86
R <sup>2</sup> ajustado	0.79
Error típico	0.31
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	1.21	1.21	12.38	7.2E-02
Residuos	2	0.20	0.10		
Total	3	1.40			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	10.61	0.26	40.58	6.1E-04
Variable X 1	0.02	0.00	3.52	7.2E-02

### Sitio 13 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.93
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.86
R <sup>2</sup> ajustado	0.79
Error típico	0.28
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	0.97	0.97	12.33	7.2E-02
Residuos	2	0.16	0.08		
Total	3	1.13			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	10.80	0.24	45.89	4.7E-04
Variable X 1	0.01	0.00	3.51	7.2E-02

### Sitio 15 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.93
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.86
R <sup>2</sup> ajustado	0.79
Error típico	0.21
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	0.57	0.57	12.42	7.2E-02
Residuos	2	0.09	0.05		
Total	3	0.66			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.45	0.18	64.06	2.4E-04
Variable X 1	0.01	0.00	3.52	7.2E-02

### Sitio 15 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.91
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.83
R <sup>2</sup> ajustado	0.75
Error típico	0.39
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom. de C.	F	VC de F
Regresión	1	1.50	1.50	9.88	8.8E-02
Residuos	2	0.30	0.15		
Total	3	1.80			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.63	0.33	35.67	7.9E-04
Variable X 1	0.02	0.01	3.14	8.8E-02

## ANEXO 9: Análisis de Regresión para Proteína.

### Sitio 31 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.92
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.85
R <sup>2</sup> ajustado	0.77
Error típico	0.40
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	1.81	1.81	11.08	8.0E-02
Residuos	2	0.33	0.16		
Total	3	2.14			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	10.74	0.34	31.76	9.9E-04
Variable X 1	0.02	0.01	3.33	8.0E-02

### Sitio 32 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.98
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.96
R <sup>2</sup> ajustado	0.94
Error típico	0.35
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	6.06	6.06	50.16	1.9E-02
Residuos	2	0.24	0.12		
Total	3	6.30			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.73	0.29	40.32	6.1E-04
Variable X 1	0.04	0.01	7.08	1.9E-02

### Sitio 36 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.98
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.96
R <sup>2</sup> ajustado	0.94
Error típico	0.27
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	3.36	3.36	17.15	2.1E-02
Residuos	2	0.14	0.07		
Total	3	3.50			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	12.04	0.22	53.92	3.4E-04
Variable X 1	0.03	0.00	6.87	2.1E-02

### Sitio 37 (0 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.91
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.83
R <sup>2</sup> ajustado	0.74
Error típico	0.52
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	2.60	2.60	9.70	8.9E-02
Residuos	2	0.54	0.27		
Total	3	3.14			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	9.83	0.43	22.70	1.9E-03
Variable X 1	0.02	0.01	3.11	8.9E-02

## ANEXO 10: Análisis de Regresión.

### Sitio 37 (30 N Z 47)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.81
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.82
R <sup>2</sup> ajustado	0.74
Error típico	0.59
Observaciones	4

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	3.31	3.31	9.37	9.2E-02
Residuos	2	0.71	0.35		
Total	3	4.02			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	9.43	0.50	18.95	2.8E-03
Variable X 1	0.03	0.01	3.06	9.2E-02

### Figura 7: Testigos sin N a Z 30

#### Modelo lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.32
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.10
R <sup>2</sup> ajustado	0.06
Error típico	0.78
Observaciones	22

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	1.37	1.37	2.23	0.15134
Residuos	20	12.32	0.62		
Total	21	13.69			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	11.60	0.25	47.28	5.32E-22
Variable X 1	-0.01	0.01	-1.49	0.15134

### Figura 7: Con N a Z 30(Dosis óptima)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.09
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.01
R <sup>2</sup> ajustado	-0.04
Error típico	1.26
Observaciones	22

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	0.24	0.24	0.15	0.70323
Residuos	20	31.66	1.58		
Total	21	31.90			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	12.27	0.39	31.20	1.94E-18
Variable X 1	0.00	0.01	0.39	7.03E-01

### Figura 18: % de N en planta y N abs a Z 4.7(Kg/ha). (Testigos S/N a Z 3.0)

#### Modelo Lineal

##### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.86
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.74
R <sup>2</sup> ajustado	0.72
Error típico	0.20
Observaciones	20

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	2.04	2.04	50.86	1.21E-06
Residuos	18	0.72	0.04		
Total	19	2.77			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	1.091	0.138	7.903	2.91E-07
Variable X 1	0.007	0.001	7.131	1.21E-06

## ANEXO 11: Análisis de Regresión

**Figura 16: N abs a Z 4.7 y % de N en planta (Kg/ha). (C/N a Z 3.0)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.79				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.63				
R <sup>2</sup> ajustado	0.62				
Error típico	0.32				
Observaciones	61				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	2	10	5	49.51	2.87E-13
Residuos	58	6	0		
Total	60	16			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	0.568	0.234	2.422	1.86E-02	
Variable X 1	0.017	0.003	6.315	4.10E-08	
Variable X 2	-3.01679E-05	7.19598E-06	-4.192329954	9.55218E-05	

**Figura 20: Biomasa a Z 4.7 y N absorbido a Z 4.7**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.88				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.78				
R <sup>2</sup> ajustado	0.78				
Error típico	27.04				
Observaciones	159				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	399215	399215	545.83	5.72E-53
Residuos	157	114828	731		
Total	158	514043			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-55.68	8.67	-6.28	3.2E-08	
Variable X 1	0.03	0.00	23.36	5.7E-53	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.0-Z 4.7) y tasa de absorción de N (Z 3.0-Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.82				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.67				
R <sup>2</sup> ajustado	0.67				
Error típico	0.95				
Observaciones	146				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	266.96	266.96	298.89	5.95E-37
Residuos	144	128.62	0.89		
Total	145	395.58			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-1.92	0.28	-6.83	2.2E-10	
Variable X 1	0.03	0.00	17.29	6.0E-37	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.0-Z 3.3) y tasa de absorción de N (Z 3.0-Z 3.3)**

Modelo Cuadrático					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.79				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.62				
R <sup>2</sup> ajustado	0.61				
Error típico	1.12				
Observaciones	150				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	2	301.12	150.56	119.85	1.34E-31
Residuos	147	184.67	1.26		
Total	149	485.79			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0.95	0.36	-2.67	8.5E-03	
Variable X 1	0.05	0.01	6.38	4.0E-14	
Variable X 2	-0.00008	0.00002	-3.94	1.2E-04	

## ANEXO 12: Análisis de Regresión

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.3-Z 4.7) y tasa de absorción de N (Z 3.3-Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.81			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.66			
R <sup>2</sup> ajustado		0.66			
Error típico		1.53			
Observaciones		150			
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	669.36	669.36	286.37	2.01E-36
Residuos	148	345.94	2.34		
Total	149	1015.29			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-1.87	0.30	-6.31	3.1E-09	
Variable X 1	0.02	0.00	16.92	2.0E-36	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.0-Z 3.3) y tasa de absorción de N (Z 3.0-Z 3.3)-Dolores.**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.21			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.04			
R <sup>2</sup> ajustado		0.00			
Error típico		0.71			
Observaciones		22			
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	0.47	0.47	0.93	0.35
Residuos	20	10.16	0.51		
Total	21	10.64			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	0.84	0.33	2.55	1.9E-02	
Variable X 1	0.00	0.00	0.97	3.5E-01	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.0-Z 3.3) y tasa de absorción de N (Z 3.0-Z 3.3)-Mercedes.**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.79			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.62			
R <sup>2</sup> ajustado		0.60			
Error típico		0.96			
Observaciones		20			
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	27.58	27.58	29.87	3.43E-05
Residuos	18	16.62	0.92		
Total	19	44.19			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0.09	0.81	-0.12	9.1E-01	
Variable X 1	0.04	0.01	5.47	3.4E-05	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.0-Z 3.3) y tasa de absorción de N (Z 3.0-Z 3.3)-Young-Paysandú.**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.75			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.57			
R <sup>2</sup> ajustado		0.55			
Error típico		1.02			
Observaciones		33			
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	42.06	42.06	40.75	4.14E-07
Residuos	31	32.00	1.03		
Total	32	74.06			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	0.93	0.45	2.07	4.7E-02	
Variable X 1	0.02	0.00	6.38	4.1E-07	

## ANEXO 13: Análisis de Regresión

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.3-Z 4.7) y tasa de absorción de N (Z 3.3-Z 4.7)-Dolores.**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.78			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.58			
R <sup>2</sup> ajustado		0.56			
Error típico		1.07			
Observaciones		23			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	33.70	33.70	29.42	2.22E-05
Residuos	21	24.06	1.15		
Total	22	57.76			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-2.51	0.66	-3.80	1.1E-03	
Variable X 1	0.02	0.00	5.42	2.2E-05	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.3-Z 4.7) y tasa de absorción de N (Z 3.3-Z 4.7)-Mercedes.**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.85			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.73			
R <sup>2</sup> ajustado		0.71			
Error típico		1.21			
Observaciones		20			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	69.68	69.68	47.68	1.87E-06
Residuos	18	26.31	1.46		
Total	19	95.98			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-1.43	0.81	-1.77	9.3E-02	
Variable X 1	0.02	0.00	6.90	1.9E-06	

**Figura 20: Tasa de crecimiento (Z 3.3-Z 4.7) y tasa de absorción de N (Z 3.3-Z 4.7)-Young-Paysandú.**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.93			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.86			
R <sup>2</sup> ajustado		0.86			
Error típico		1.05			
Observaciones		33			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	212.77	212.77	192.29	7.80E-15
Residuos	31	34.30	1.11		
Total	32	247.07			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-1.29	0.37	-3.47	1.5E-03	
Variable X 1	0.03	0.00	13.87	7.8E-15	

**Figura 21: N absorbido en Z 3.0-Z 4.7 y N absorbido a Z 4.7**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.97			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.95			
R <sup>2</sup> ajustado		0.95			
Error típico		14.07			
Observaciones		148			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	534546	534546	2701.52	4.48E-96
Residuos	146	28889	198		
Total	147	563434			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-55.98	3.12	-17.95	9.0E-39	
Variable X 1	1.03	0.02	51.98	4.5E-96	

## ANEXO 14: Análisis de Regresión

**Figura 21: N absorbido en Z 3.0-Z 3.3 y N absorbido en Z 3.0-Z 4.7**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.49				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.24				
R <sup>2</sup> ajustado	0.24				
Error típico	54.57				
Observaciones	139				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	131458	131458	44.14	6.62E-10
Residuos	137	407969	2978		
Total	138	539427			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	47.09	8.55	5.51	1.7E-07	
Variable X 1	1.09	0.16	6.64	6.6E-10	

**Figura 21: N absorbido en Z 3.3-Z 4.7 y N absorbido en Z 3.0-Z 4.7**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.90				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.81				
R <sup>2</sup> ajustado	0.81				
Error típico	27.24				
Observaciones	139				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	438256	438256	590.61	1.59E-51
Residuos	137	101659	742		
Total	138	539915			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	42.17	3.19	13.20	3.4E-26	
Variable X 1	1.04	0.04	24.30	1.6E-51	

**Figura 24: N total a cosecha (Kg/ha) y rendimiento en grano (Kg/ha)(0 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.75				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.57				
R <sup>2</sup> ajustado	0.56				
Error típico	367				
Observaciones	84				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	14506458	14506458	107.92	1.28E-16
Residuos	82	11022838	134425		
Total	83	25529296			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	1303.96	205.35	6.35	1.1E-08	
Variable X 1	22.72	2.19	10.39	1.3E-16	

**Figura 24: N total a cosecha (Kg/ha) y rendimiento en grano (Kg/ha)(30 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.73				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.54				
R <sup>2</sup> ajustado	0.53				
Error típico	428				
Observaciones	76				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	15906887	15906887	86.83	4.18E-14
Residuos	74	13556888	183201		
Total	75	29463775			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	1139.76	239.64	4.76	9.5E-06	
Variable X 1	23.21	2.49	9.32	4.2E-14	

## ANEXO 15: Análisis de Regresión

**Figura 24: N total a cosecha (Kg/ha) y proteína en grano(%)(0 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.59				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.35				
R <sup>2</sup> ajustado	0.34				
Error típico	1				
Observaciones	84				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	43.75	43.75	44.46	2.80E-09
Residuos	82	80.68	0.98		
Total	83	124.43			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	8.46	0.56	15.23	1.3E-25	
Variable X 1	0.04	0.01	6.67	2.8E-09	

**Figura 24: N total a cosecha (Kg/ha) y proteína en grano(%)(30 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.64				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.40				
R <sup>2</sup> ajustado	0.40				
Error típico	1				
Observaciones	76				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	47.25	47.25	50.22	6.77E-10
Residuos	74	69.63	0.94		
Total	75	116.88			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	8.66	0.54	15.95	1.2E-25	
Variable X 1	0.04	0.01	7.09	6.8E-10	

**Figura 25: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y N total a cosecha (Kg/ha)- 0 N Z 4.7**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.58				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.33				
R <sup>2</sup> ajustado	0.32				
Error típico	15				
Observaciones	77				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	8762	8762	37.48	3.89E-08
Residuos	75	17532	234		
Total	76	26294			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	64.37	4.73	13.61	6.1E-22	
Variable X 1	0.19	0.03	6.12	3.9E-08	

**Figura 25: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y N total a cosecha (Kg/ha)- 30 N Z 4.7**

Modelo Lineal					
<b>Estadísticas de la regresión</b>					
Coefficiente de correlación múltiple	0.63				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.40				
R <sup>2</sup> ajustado	0.39				
Error típico	16				
Observaciones	66				
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	11194	11194	42.63	1.24E-08
Residuos	64	16807	263		
Total	65	28001			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	60.19	5.55	10.84	4.0E-16	
Variable X 1	0.22	0.03	6.53	1.2E-08	

## ANEXO 16: Análisis de Regresión

**Figura 25: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y N total a cosecha (Kg/ha)- General**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.61			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.37			
R <sup>2</sup> ajustado		0.36			
Error típico		16			
Observaciones		143			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	20003	20003	81.61	1.14E-15
Residuos	141	34559	245		
Total	142	54562			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	62.35	3.59	17.36	7.8E-37	
Variable X 1	0.20	0.02	9.03	1.1E-15	

**Figura 25: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y N en paja a cosecha (Kg/ha)- General**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.22			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.05			
R <sup>2</sup> ajustado		0.04			
Error típico		9			
Observaciones		143			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	530	530	7.13	8.48E-03
Residuos	141	10485	74		
Total	142	11015			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	15.62	1.98	7.90	7.3E-13	
Variable X 1	0.03	0.01	2.67	8.5E-03	

**Figura 26: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y variación de N post-Z 4.7 (Kg/ha)- General**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.95			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.90			
R <sup>2</sup> ajustado		0.90			
Error típico		16			
Observaciones		142			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	302527	302527	1228.51	3.49E-71
Residuos	140	34476	246		
Total	141	337003			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	62.66	3.64	17.22	2.1E-36	
Variable X 1	-0.80	0.02	-35.05	3.5E-71	

**Figura 26: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y variación de N post-Z 4.7 (Kg/ha)- General (0 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.95			
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.90			
R <sup>2</sup> ajustado		0.90			
Error típico		15			
Observaciones		76			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	GL	SC	Prom de C	F	VC de F
Regresión	1	165346	165346	701.99	1.67E-39
Residuos	74	17430	236		
Total	75	182776			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	64.99	4.84	13.42	1.8E-21	
Variable X 1	-0.82	0.03	-26.50	1.7E-39	

## ANEXO 17: Análisis de Regresión

**Figura 26: N absorbido a Z 4.7 (Kg/ha) y variación de N post-Z 4.7 (Kg/ha)- General (30 N Z 4.7)**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.94				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.89				
R <sup>2</sup> ajustado	0.89				
Error típico	16				
Observaciones	66				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Gl	SC	Prom de C	F	Vc de F
Regresión	1	136942	136942	521.45	1.82E-32
Residuos	64	16807	263		
Total	65	153749			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	60.19	5.55	10.84	4.0E-16	
Variable X 1	-0.78	0.03	-22.84	1.8E-32	

**Figura 28: MS de paja a cosecha y Crecimiento post-Z 4.7- Dolores**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.95				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.90				
R <sup>2</sup> ajustado	0.90				
Error típico	678				
Observaciones	52				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Gl	SC	Prom de C	F	Vc de F
Regresión	1	181738426	181738426	461.55	6.67E-27
Residuos	50	19687964	393759		
Total	51	201426391			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	2743.63	206.00	13.32	4.5E-18	
Variable X 1	0.90	0.04	21.48	6.7E-27	

**Figura 28: MS de paja a cosecha y Crecimiento post-Z 4.7- Young-Paysandú**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.56				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.32				
R <sup>2</sup> ajustado	0.30				
Error típico	1282				
Observaciones	68				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Gl	SC	Prom de C	F	Vc de F
Regresión	1	49999815	49999815	30.40	6.29E-07
Residuos	66	108549522	1644690		
Total	67	158549137			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	3855.40	179.28	21.50	1.6E-31	
Variable X 1	0.38	0.07	5.51	6.3E-07	

**Figura 29: N total a cosecha (Kg/ha) y N absorbido en grano (Kg/ha)- General**

Modelo Lineal					
Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.89				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.78				
R <sup>2</sup> ajustado	0.78				
Error típico	7				
Observaciones	160				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Gl	SC	Prom de C	F	Vc de F
Regresión	1	31295	31295	574.50	1.69E-54
Residuos	158	8607	54		
Total	159	39902			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	1.01	2.92	1.39	1.7E-01	
Variable X 1	0.74	0.03	23.97	1.7E-54	

**ANEXO 18: Duración del ciclo del cultivo en días,  
para todas las localidades y sitios.**

Sitio	Variedad	Fecha de siembra	Días			Cosecha
			Z 30	Z 3.3	Z 47	
2	Mirlo	11-Jun	71	86	101	162
3	Mirlo	23-Jun	59	74	92	152
4	Mirlo	14-Jun	68	83	98	159
5	Cardenal	23-Jun	68	83	98	150
6	Cardenal	24-Jun	67	82	97	149
7	T605	Estimado	71	86	117	173
8	Cardenal	20-Jul	56	71	78	122
11	P. Calidad	17-Jun	60	75	93	148
12	Tijereta	24-May	84	99	119	174
13	P Puntal	18-May	90	105	120	175
14	Caburé	18-Jun	69	84	97	152
15	Mirlo	13-Jun	74	89	110	165
31	T605	11-Jun	63	78	96	160
32	Caburé	11-Jun	63	78	101	160
33	Pelón	14-Jun	61	76	130	189
34	T605	13-Jun	61	76	126	188
36	Mirlo	20-Jun	60	75	84	142
37	Greina	15-Jun	65	80	87	154
38	Boyero	-	63	78	92	153
39	P. Quintal	-	70	85	93	163
40	Mirlo	18-Jun	62	77	92	153
41	Caburé	14-Jun	78	93	110	165
<b>Promedio Dolores</b>			<b>66</b>	<b>81</b>	<b>97</b>	<b>152</b>
<b>Promedio Mercedes</b>			<b>75</b>	<b>90</b>	<b>108</b>	<b>163</b>
<b>Promedio Young</b>			<b>65</b>	<b>80</b>	<b>101</b>	<b>163</b>
<b>Promedio General</b>			<b>67</b>	<b>82</b>	<b>101</b>	<b>159</b>

**ANEXO 19: Crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo, para los sitios de la localidad de Dolores.**

N absorbido durante el ciclo del cultivo en Kg/ha.								
Sitio	N Z30	Varietal	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
2	0	Mirio	54	12	-4	63	3125	10.2
2	30	Mirio	54	17	27	98	3583	13.4
2	60	Mirio	54	19	25	98	3583	12.0
2	90	Mirio	54	25	22	101	3292	14.1
4	0	Mirio	63	-4	61	120	3458	11.2
4	30	Mirio	63	20	45	128	3417	11.9
4	60	Mirio	63	18			4458	12.4
4	90	Mirio	63	19	50	132	4208	13.4
5	0	Cardenal	76	-2	-1	73	2792	11.1
5	30	Cardenal	76	6	-20	62	3000	7.8
5	60	Cardenal	76	23	-30	69	3333	11.0
5	90	Cardenal	76	19	-20	76	3625	10.6
6	0	Cardenal	56	16	13	86	2958	10.6
6	30	Cardenal	56	24	2	83	3292	11.7
6	60	Cardenal	56	15	18	89	3542	11.9
6	90	Cardenal	56	34	32	122	3750	12.6
7	0	T605	69	13	-12	70	3520	11.9
7	30	T605	69			102	2961	13.6
7	60	T605	69	41	9	119	3191	12.2
7	90	T605	69			116	3454	11.0
8	0	Cardenal	63	11	2	76	2179	10.9
8	30	Cardenal	63	14	-7	70	2437	11.4
8	60	Cardenal	63	2	2	67	2452	10.6
8	90	Cardenal	63	29	20	112	2857	11.5
Crecimiento durante el ciclo del cultivo en Kg de MS/ha.								
Sitio	N Z30	Varietal	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
2	0	Mirio	1766	874	2426	5066	3125	10.2
2	30	Mirio	1766	696	3392	5854	3583	13.4
2	60	Mirio	1766	490	4060	6316	3583	12.0
2	90	Mirio	1766	722	2868	5356	3292	14.1
3	0	Mirio	1409	-263	3050	4196	3333	11.4
3	30	Mirio	1409	-51	3424	4782	3000	10.0
3	60	Mirio	1409	23	4398	5830	3125	12.6
3	90	Mirio	1409	15	4244	5668	3375	12.1
4	0	Mirio	1994	528	3674	6196	3458	11.2
4	30	Mirio	1994	434	3712	6140	3417	11.9
4	60	Mirio	1994	326	4572	6892	4458	12.4
4	90	Mirio	1994	278	4178	6450	4208	13.4
5	0	Cardenal	2063	669	2122	4854	2792	11.1
5	30	Cardenal	2063	735	1354	4152	3000	7.8
5	60	Cardenal	2063	1077	1524	4664	3333	11.0
5	90	Cardenal	2063	1123	1716	4902	3625	10.6
6	0	Cardenal	2036	406	3022	5464	2958	10.6
6	30	Cardenal	2036	628	2080	4744	3292	11.7
6	60	Cardenal	2036	1036	2064	5136	3542	11.9
6	90	Cardenal	2036	904	3074	6014	3750	12.6
7	0	T605	1766	1560	1596	4922	3520	11.9
7	30	T605	1766	1586	2150	5502	2961	13.6
7	60	T605	1766	1814	2010	5590	3191	12.2
7	90	T605	1766	1848	1970	5582	3454	11.0
8	0	Cardenal	1878	1749	1060	4687	2179	10.9
8	30	Cardenal	1878	1559	1279	4716	2437	11.4
8	60	Cardenal	1878	1501	1330	4708	2452	10.6
8	90	Cardenal	1878	1850	1326	5054	2857	11.5

**ANEXO 20: Crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo, para los sitios de la localidad de Mercedes.**

N absorbido durante el ciclo del cultivo en Kg/ha.								
Sitio	N Z30	Varietal	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
11	0	P. Calidad	41	1	81	123	2959	11.5
11	30	P. Calidad	41	51	56	148	2930	12.1
11	60	P. Calidad	41	61	50	152	3043	13.0
11	90	P. Calidad	41	85	14	139	3184	13.1
12	0	Tijereta	51	51	123	225	3035	12.2
12	30	Tijereta	51	49	67	166	3254	13.1
12	60	Tijereta	51	79	103	232	3090	13.9
12	90	Tijereta	51	85	28	164	3349	13.6
13	0	P. Puntal	47	45	93	186	3469	10.4
13	30	P. Puntal	47	81	17	146	3484	11.6
13	60	P. Puntal	47	96	-8	136	3699	11.4
13	90	P. Puntal	47	66	73	186	3492	12.1
14	0	Caburé	29	65	76	170	3678	11.9
14	30	Caburé	29	70	51	150	3701	12.6
14	60	Caburé	29	100	66	195	3584	13.2
14	90	Caburé	29	66	84	179	3377	12.2
15	0	Mirio	44	37	47	128	3313	11.3
15	30	Mirio	44	58	11	112	3759	11.9
15	60	Mirio	44	41	113	198	3582	12.3
15	90	Mirio	44	58	128	230	3280	12.3
Crecimiento durante el ciclo del cultivo en Kg de MS/ha.								
Sitio	N Z30	Varietal	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
11	0	P. Calidad	873	1270	3254	5397	2959	11.5
11	30	P. Calidad	873	1468	2976	5317	2930	12.1
11	60	P. Calidad	873	1825	2619	5317	3043	13.0
11	90	P. Calidad	873	2222	1667	4762	3184	13.1
12	0	Tijereta	1865	1865	4325	8056	3035	12.2
12	30	Tijereta	1865	1667	3730	7262	3254	13.1
12	60	Tijereta	1865	2579	5238	9683	3090	13.9
12	90	Tijereta	1865	2659	2143	6667	3349	13.6
13	0	P. Puntal	1468	1349	5317	8135	3469	10.4
13	30	P. Puntal	1468	2183	2698	6349	3484	11.5
13	60	P. Puntal	1468	2619	1349	5437	3699	11.4
13	90	P. Puntal	1468	1865	3611	6944	3492	12.1
14	0	Caburé	635	1587	4683	6905	3678	11.9
14	30	Caburé	635	1706	3849	6190	3701	12.6
14	60	Caburé	635	2222	3452	6310	3584	13.2
14	90	Caburé	635	1508	3452	5595	3377	12.2
15	0	Mirio	1468	992	4167	6627	3313	11.3
15	30	Mirio	1468	1429	2976	5873	3759	11.9
15	60	Mirio	1468	1230	5675	8373	3582	12.3
15	90	Mirio	1468	1151	6071	8690	3280	12.3

**ANEXO 21: Crecimiento y absorción de N durante el ciclo del cultivo, para los sitios de la localidad de Young-Paysandú.**

N absorbido durante el ciclo del cultivo en Kg/ha.								
Sitio	N Z30	Varietal	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
31	0	T605	50	47	61	158	4014	10.8
31	30	T605	50	56	81	187	4239	11.0
31	60	T605	50	33	135	219	4259	12.4
31	90	T605	50	53	104	207	4018	12.4
32	0	Caburé	46	11	83	140	3248	10.6
32	30	Caburé	46	25	91	162	3429	12.8
32	60	Caburé	46	42	133	221	3571	11.0
32	90	Caburé	46	47	170	264	3611	15.3
33	0	E. Pelón	30	44	62	136	2912	10.6
33	30	E. Pelón	30			191	3249	12.1
33	60	E. Pelón	30	67	95	191	3181	12.1
33	90	E. Pelón	30	58	106	194	2647	11.8
34	0	T605	80	9	105	194	3456	12.3
34	30	T605	80	37	92	209	3880	11.6
34	60	T605	80	53	195	329	4118	14.2
34	90	T605	80	44	233	358	4084	15.1
36	0	Mirio	52	33	2	86	3569	11.6
36	30	Mirio	52	66	-6	112	4222	12.6
36	60	Mirio	52	91	0	142	5017	12.1
36	90	Mirio	52	110	-2	160	4701	12.5
37	0	Greina	38	29	33	101	3300	9.7
37	30	Greina	38	47	43	129	3697	10.5
37	60	Greina	38	57			3536	11.9
37	90	Greina	38	69	-7	101	3740	11.6
38	0	Boyero	44	28	77	148	2511	13.2
38	30	Boyero	44			117	2524	12.3
38	60	Boyero	44	65	52	160	2725	13.7
38	90	Boyero	44	65	111	220	2877	13.7
39	0	P. Quintal	50	39	41	129	2243	12.6
39	30	P. Quintal	50	48	11	108	2616	12.6
39	60	P. Quintal	50	87	-37	99	2331	12.5
39	90	P. Quintal	50	79	20	148	2622	13.0
41	0	Caburé	114				3466	10.9
41	30	Caburé	114	53			3756	14.6
41	60	Caburé	114	89			3629	12.3
41	90	Caburé	114	75			3697	13.1

Crecimiento durante el ciclo del cultivo en Kg de MS/ha.								
Sitio	N Z30	Variedad	Siembra-Z 30	Z 30-15DPZ 30	15DP Z 30-Z 47	Total N Z 47	Rend (Kg/ha)	Prot. (%)
31	0	T605	1587	1940	3792	7319	4014	10.8
31	30	T605	1587	2072	4938	8598	4239	11.0
31	60	T605	1587	1235	5379	8201	4259	12.4
31	90	T605	1587	1720	4586	7892	4018	12.4
32	0	Caburé	1349	723	4453	6528	3248	10.6
32	30	Caburé	1349	855	4409	6614	3429	12.8
32	60	Caburé	1349	1340	5071	7760	3571	11.0
32	90	Caburé	1349	1164	6085	8598	3611	15.3
33	0	E. Pelón	661	1543	4233	6437	2912	10.5
33	30	E. Pelón	661	1279	5071	7011	3249	12.1
33	60	E. Pelón	661	1675	5423	7760	3181	12.1
33	90	E. Pelón	661	1543	3968	6173	2847	11.8
34	0	T605	1808	838	6305	8951	3456	12.3
34	30	T605	1808	1455	6526	9788	3880	11.5
34	60	T605	1808	1587	7055	10450	4118	14.2
34	90	T605	1808	1323	8554	11684	4084	15.1
36	0	Mirlo	1631	1543	750	3924	3569	11.5
36	30	Mirlo	1631	2469	88	4189	4222	12.6
36	60	Mirlo	1631	2734	485	4850	5017	12.1
36	90	Mirlo	1631	3042	485	5159	4701	12.5
37	0	Grelna	1587	1543	1896	5026	3300	9.7
37	30	Grelna	1587	1896	1852	5335	3697	10.6
37	60	Grelna	1587	1764	661	4012	3536	11.9
37	90	Grelna	1587	1808	44	3439	3740	11.6
38	0	Boyero	1323	1455	3836	6614	2511	13.2
38	30	Boyero	1323	1279	2646	5247	2624	12.3
38	60	Boyero	1323	1896	2910	6129	2725	13.7
38	90	Boyero	1323	1764	4982	8069	2877	13.7
39	0	P. Quintal	2337	1587	1984	5908	2243	12.6
39	30	P. Quintal	2337	1455	1323	5115	2516	12.6
39	60	P. Quintal	2337	2822	-132	5026	2331	12.5
39	90	P. Quintal	2337	2116	529	4982	2622	13.0
40	0	Mirlo	1587	1455	3680	6702	3941	11.9
40	30	Mirlo	1587	1499	2028	5115	3841	12.0
40	60	Mirlo	1587	1455	3175	6217	3692	12.2
40	90	Mirlo	1587	2205	1808	5600	4234	13.6
41	0	Caburé	3836	3086			3466	10.9
41	30	Caburé	3836	3704			3756	14.6
41	60	Caburé	3836	4365			3629	12.3
41	90	Caburé	3836	3571			3697	13.1