



# ***ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CEREALES DE INVIERNO Y MAÍZ***

(\*) *Horacio López Córcoles.  
Pilar Galán López.  
Ramón Esteban Fernández de Tejada.  
Isabel Molina Sánchez.*

---

## ***SUMARIO***

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>407</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>407</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>407</b>
3.1	CONTROLES DE SEGUIMIENTO DEL NITRÓGENO EN EL SUELO. ....	410
3.2	SEGUIMIENTO DE NITRÓGENO EN PLANTA. ....	410
3.3	BALANCE DE NITRÓGENO.....	411
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>412</b>
4.1	VARIABLE BIOMASA TOTAL .....	412
4.2	VARIABLE: RENDIMIENTO DE GRANO.....	414
4.3	BALANCE DE NITRÓGENO.....	416
4.4	VARIABLE: EXPORTACIONES DE NITRÓGENO (NCI).....	418
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>420</b>

(\*) *Autores*





## 1 INTRODUCCIÓN

Durante la campaña 2000 se realizaron una serie de ensayos encaminados a estudiar distintos aspectos de la fertilización nitrogenada en cereales de invierno, concretamente en cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.)

En este informe se exponen los resultados del ensayo de largo plazo de cebada.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo general es definir estrategias sencillas y prácticas, listas para su uso por los agricultores y técnicos, para el correcto uso de los fertilizantes nitrogenados, dosis, tipos y momentos de aplicación, compatibilizando criterios de rentabilidad económica y ambiental.

Los ensayos de dosis de nitrógeno a largo plazo tienen el objetivo de realizar un seguimiento de la evolución del nitrógeno en suelo y planta a lo largo de varias campañas consecutivas y modelizar la evolución de este elemento en distintas condiciones climáticas.

## 3 MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño estadístico es bloques al azar con parcelas elementales de 5 x 10 m.

La duración del ensayo a largo plazo ha sido de dos años, con la sucesión de cebada en el primer año y trigo en el segundo año. El año cero o año previo se cultivó de cereal.

Para cada cultivo se partió de la dosis recomendada por el propio ITAP, en función de la sistema de cultivo (secano o regadío) y del tipo de suelo. Estas dosis óptimas (Dosis de referencia = X ) fueron:

CEBADA	140 UF
TRIGO	160 UF

Los **controles previos** fueron análisis de suelo, fechas de siembra y nascencia, número de plantas/m<sup>2</sup> instaladas.

Los **controles fundamentales** realizados sobre el terreno fueron:

- nitrógeno en suelo
- producción de materia seca
- nitrógeno en biomasa final y en grano recolectados

Además se realizó:

- seguimiento fenológico del cultivo
- evaluación de la cosecha en máquina
- calidad

A nivel de planta se realizó un seguimiento del estado nutricional a través de medidas indirectas N-Tester y directas INN.



## TRATAMIENTOS

Trats.				CON	CON	CON	CON	CON	CON	CON
				Nmin	Biom	Fenol	N-Tes	INN	Calidad	Rdto
ANO	Primero (1)	Segundo(2)	Tercero (3)	0-1-2	0-1-2	0-1-2	0-2 / 1	0-2 / 1	0-2 / 1	0-1-2
1	X	0	X	A	A	A	A / B	A / B	A / B	A
2	X	X - 80	X		A		/B	/B	/B	A
3	X	X -40	X		A		/B	/B	/B	A
4	X	X	X	A	A	A	/B	/B	/B	A
5	X	X + 40	X		A		/B	/B	/B	A
6	X + 40	0	X + 40	A	A	A	A /	A /	A /	A
7	X + 40	X - 80	X + 40		A					A
8	X + 40	X -40	X + 40		A					A
9	X + 40	X	X + 40		A					A
10	X + 40	X + 40	X + 40		A					A
11	0	X	0	A	A	A	A /	A /	A /	A
12	X - 40	X	X - 40		A		A /	A /	A /	A
13	X - 80	X	X - 80		A		A /	A /	A /	A
14	0	0	0	A	A	A				A

## ANÁLISIS DE SUELOS.

Los suelos se han caracterizado mediante la extracción de columnas de suelo inalteradas hasta una profundidad de 0.6 m y posterior división en los horizontes característicos. . Cada muestra de suelo estuvo compuesta de 30 submuestras. Las muestras se analizaron en el laboratorio y en ellas se determinó textura, materia orgánica y nitrógeno orgánico.

## ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LA PARTE AEREA, DE NITRÓGENO Y MATERIA SECA.

Se midió la producción de biomasa total (grano+residuo) y de sus componentes grano y residuo separadamente, expresada en materia seca total y nitrógeno total.

El control se realizó previamente a la recolección mecanizada de las parcelas, mediante muestreo en campo y posterior manipulación de la muestra en almacén.

### Muestreo en campo:

- Tamaño de muestra: 0.25 m<sup>2</sup>
- Tres repeticiones.
- Pesadas realizadas y analizadas separadamente.
- Las tres submuestras unidas y uniformadas constituyeron una sola muestra representativa para analizar el nitrógeno en el laboratorio.
- Recolección de planta completa, cortada al nivel del cuello de la raíz.
- Conteo de espigas por m<sup>2</sup>.

### Procesado en almacén:

- Pesada total de la muestra, posterior trillado y pesado del grano.
- Peso de la paja.
- Muestreo de grano y paja para su análisis en laboratorio.



## SEGUIMIENTO DE LA FENOLOGÍA.

Se ha utilizado la escala fenológica Zadocks, determinando la fecha de realización de los siguientes estados críticos.

Descripción	TRIGO, CEBADA
Nascencia (3)	10
Inicio ahijamiento (1)	21
Seis hojas desplegadas (1)	
Inicio encañado/alargamiento (1) (3)	30
Un nudo	31 (2)
Dos nudos	32 (2)
Salida de la última hoja (1)	37 (2)
Aparición de aristas (3)	49
Mitad de espigado/penacho (3)	55
Final de floración (3)	68 (2)

- (1) Referencias necesarias para la realización de los aportes de fertilizantes
- (2) Referencias necesarias para el seguimiento N.Tester
- (3) Referencias necesarias para el seguimiento del cultivo. Estados vegetativos clave.

## EVALUACIÓN DE LA COSECHA.

- Se realizó la cosecha con máquina cosechadora de microparcels, recolectando todas las parcelas elementales de los ensayos. Todas las parcelas fueron previamente recortadas para que presenten exactamente la misma superficie de control: 12 m<sup>2</sup>.
- Se obtuvo el peso fresco de cada microparcels en campo.
- Dos muestras por tratamiento fueron utilizadas para establecer la humedad e impurezas y reducir los pesos frescos a pesos referidos a la humedad e impurezas tipo: 12/2 %.
- Una muestra por tratamiento, se envió a los laboratorios correspondientes para determinar los parámetros de calidad.

## ANÁLISIS DE CALIDAD EN CEBADAS.

Se realizaron en el Laboratorio de la Fundación Ibercebas.

1. Análisis sobre la cebada
  - Peso de mil granos en gramos.
  - Humedad del grano en %.
  - Peso específico en Kg./Hl.
  - Proteína sobre seco en %
  - Calibre > 2.5 mm.
2. Análisis sobre la malta.
  - Extracto %
  - Poder diastásico
  - Atenuación límite %
  - Índice de Kolbach %
  - Viscosidad
  - Proteína total y soluble %



### **3.1 CONTROLES DE SEGUIMIENTO DEL NITRÓGENO EN EL SUELO.**

Para conocer el ciclo del N en nuestro sistema de cultivo, se estudió su evolución tanto en suelo como en el cultivo. Partiendo de unas aportaciones conocidas y sabiendo las exportaciones realizadas por el cultivo, tanto del grano como de la paja, el seguimiento del N en suelo nos permitió valorar los residuos en suelo y su evolución y utilidad para el cultivo siguiente.

#### **METODOLOGÍA DE MUESTREO**

Las muestras se tomarán a 2 profundidades:

- 0-30 cm (A)
- 30-60 cm (B)

En cada parcela elemental de 3 repeticiones por tratamiento se muestreó 3 puntos que generarán una muestra por horizonte.

Se realizó un muestreo de suelo para análisis de a la salida del invierno con el objetivo de conocer el N que el suelo puede aportar al cultivo, procedente de la mineralización de la materia orgánica o de residuos de la campaña precedente. Un tercer muestreo en postrecolección nos permitió conocer los restos de nitrógeno no utilizados por el cultivo.

### **3.2 SEGUIMIENTO DE NITRÓGENO EN PLANTA.**

#### **N-TESTER.**

El objetivo consiste en evaluar N-tester como método rápido de interpretación del estado de nutrición nitrogenada de la planta.

Se debe tener en cuenta que el aparato lee intensidad de color verde, por tanto requiere una calibración para cada variedad.

#### **Método de realización de lecturas en campo.**

- Las medidas se realizaron en la penúltima hoja completamente desplegada. Cada medida será la media de 30 lecturas realizadas en plantas diferentes.
- Se midió en 3 repeticiones.
- Los momentos de lectura N-Tester fueron según el estado fenológico de Zadocks: Z-31, Z-32, Z-37 y Z 68.

#### **INDICE DE NUTRICIÓN NITROGENADA.**

Se realizó un seguimiento de la evolución de la biomasa y su contenido en N, para calcular el Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) y poder relacionarlo con las lecturas N-Tester correspondientes.

Los momentos de recogida de muestras fueron según el estado fenológico de Zadocks: Z-31-32, Z-37, Z 68 y recolección (este último es el de biomasa).



### Realización del muestreo:

- Dos muestras de 1m x 2 líneas en cada parcela, en 1 repetición.
- Se cortó la biomasa a ras de suelo .
- Se pesó en fresco, se secó (65 °C durante 48 horas) y luego se pesó en seco.
- Se analizó el contenido en nitrógeno por Kjeldhal (modificado para incluir el contenido en nitrato).
- En el estadio de cosecha se separó el grano y la paja y se analizó por separado.

### 3.3 BALANCE DE NITRÓGENO

Los términos del balance para la zona radicular son:

$$\Delta N_i - N_{Wi} - N_{Oi} - N_{Fi} + N_{Li} + N_{Ci} + N_{Di} = 0$$

donde:

- $N_{Wi}$  nitrógeno aportado con el agua de riego en el periodo i [mm],
- $N_{Oi}$  nitrógeno mineralizado durante el periodo i [mm],
- $N_{Fi}$  nitrógeno aportado por la fertilización en el periodo i [mm],
- $N_{Li}$  nitrógeno lixiviado en el periodo i [mm],
- $N_{Ci}$  nitrógeno exportado por el cultivo en el periodo i [mm],
- $N_{Di}$  nitrógeno desnitrificado en el periodo i [mm]. Para obviar los problemas de medición o estimación de este término, los ensayos se ubicarán en parcelas donde sea despreciable, es decir, parcelas con buen drenaje en las que no se produzca encharcamiento.
- $\Delta N_i$  variación del contenido de nitrógeno en el suelo en el periodo i [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],

$$\Delta N_i = \sum (Nm_{j, i-1} - Nm_{j, i}) = 10 \sum Z_j d_{aj} (C_{j, i-1} - C_{j, i})$$

donde:

- $Nm_{j, i}$  contenido de nitrógeno mineral de la zona radicular j al final del periodo i [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- $Nm_{j, i-1}$  contenido de nitrógeno mineral de la zona radicular j al final del periodo i-1 [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- $Z_j$  profundidad de la zona radicular j [m]
- $d_{aj}$  densidad aparente<sup>1</sup> de la zona radicular j [ $\text{t m}^{-3}$ ]
- $C_{j, i-1}$  concentración de nitrógeno mineral (nitrato y amoniacal) en la zona radicular j el periodo i-1 [ $\text{mg N kg}^{-1}$ ],
- $C_{j, i}$  concentración de nitrógeno mineral (nitrato y amoniacal) en la zona radicular j el periodo i [ $\text{mg N kg}^{-1}$ ],



### 3.3.1 NITRÓGENO APORTADO CON EL AGUA DE RIEGO

El nitrógeno aportado con el agua de riego en el periodo  $i$  ( $N_{wi}$ ) se determina mediante la expresión:

$$N_{wi} = 1000 \times \frac{14}{64} \times C_{wi} \times V_{wi}$$

donde:

- $C_{wi}$  concentración de nitratos en el agua de riego aplicada durante el periodo  $i$  [ $\text{mg l}^{-1}$ ],
- $V_{wi}$  volumen de agua de riego aplicada durante el periodo  $i$  [ $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ],

## 4 RESULTADOS

### 4.1 VARIABLE BIOMASA TOTAL

Factores inter-sujetos		
		N
Fertilizante (kg/ha)	0	12
	60	6
	100	6
	140	28
	180	30
FRACCIÓN	Grano	41
	Paja	41
REP	1	20
	2	24
	3	22
	4	16

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Biomasa comercial (kg/ha)					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	387331007,213(a)	12	32277583,934	14,185	,000
Intersección	1879142807,768	1	1879142807,768	825,851	,000
FERTILIZ	177767610,979	4	44441902,745	19,531	,000
FRACCIÓN	42923496,691	1	42923496,691	18,864	,000
REP	33202407,516	3	11067469,172	4,864	,004
FERTILIZ * FRACCIÓN	36404801,505	4	9101200,376	4,000	,006
Error	157002805,319	69	2275402,976		
Total	4273171155,460	82			
Total corregida	544333812,532	81			

a R cuadrado = ,712 (R cuadrado corregida = ,661)

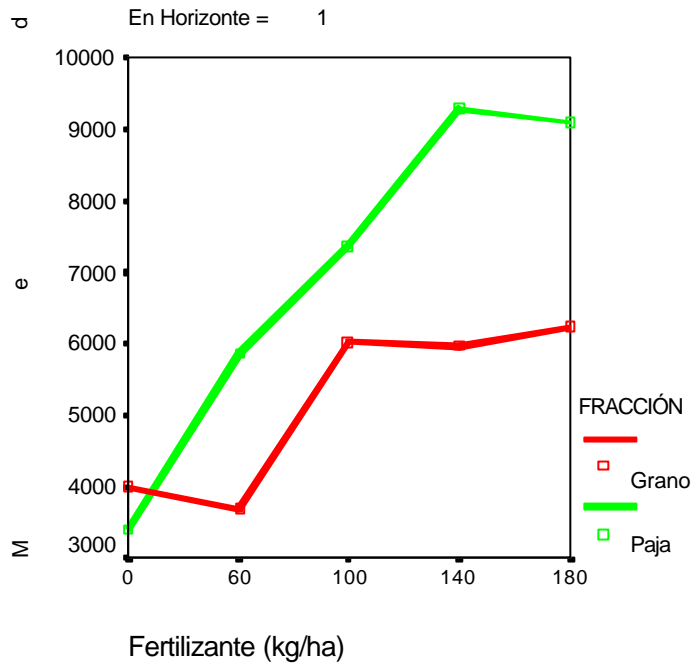


<b>Fertilizante (kg/ha) * FRACCIÓN</b>					
Variable dependiente: Biomasa comercial (kg/ha)					
Fertilizante (kg/ha)	FRACCION	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
				Límite inferior	Límite superior
0	Grano	3993,440	625,407	2745,787	5241,093
	Paja	3394,460	625,407	2146,807	4642,113
60	Grano	3683,236	876,183	1935,298	5431,174
	Paja	5837,974	876,183	4090,036	7585,912
100	Grano	6003,561	876,534	4254,923	7752,199
	Paja	7374,192	876,534	5625,553	9122,830
140	Grano	5953,781	407,079	5141,682	6765,881
	Paja	9288,198	407,079	8476,098	10100,297
180	Grano	6217,589	389,923	5439,714	6995,464
	Paja	9088,828	389,923	8310,953	9866,703

<b>Biomasa comercial (kg/ha)</b>			
Duncan			
Fertilizante (kg/ha)	N	Subconjunto	
		1	2
0	12	3423,2373	
60	6	4645,5506	
100	6		7033,8003
140	28		7570,1302
180	30		7661,3770
<b>Significación</b>		,070	,379
Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III. El término error es la Media cuadrática (Error) = 2275402,976.			
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,294			
b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.			
c Alfa = ,05.			



Medias marginales estimadas de Biomasa comerci



4.2 VARIABLE: RENDIMIENTO DE GRANO

Factores inter-sujetos		
		<b>N</b>
<b>Fertilizante (kg/ha)</b>	<b>0</b>	6
	<b>60</b>	3
	<b>100</b>	3
	<b>140</b>	14
	<b>180</b>	15
<b>FRACCIÓN</b>	<b>Grano</b>	41
<b>REP</b>	<b>1</b>	10
	<b>2</b>	12
	<b>3</b>	11
	<b>4</b>	8



Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Biomasa comercial (kg/ha)					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	60618629,322(a)	7	8659804,189	4,516	,001
Intersección	679092592,823	1	679092592,823	354,178	,000
FERTILIZ	33283966,478	4	8320991,619	4,340	,006
FRACCION	,000	0	,	,	,
REP	18303799,543	3	6101266,514	3,182	,037
FERTILIZ * FRACCION	,000	0	,	,	,
Error	63273374,306	33	1917374,979		
Total	1393058615,702	41			
Total corregida	123892003,628	40			

a R cuadrado = ,489 (R cuadrado corregida = ,381)

Biomasa comercial (kg/ha)			
Duncan			
Fertilizante (kg/ha)	N	Subconjunto	
		1	2
60	3	3568,1818	
0	6	3722,7273	
140	14		5902,9221
180	15		6225,7576
100	3		6348,4848
Significación		,859	,631

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III. El término error es la Media cuadrática (Error) = 1917374,979.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,147

b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c Alfa = ,05.



### 4.3 BALANCE DE NITRÓGENO

Factores inter-sujetos		
		N
Fertilizante (kg/ha)	0	6
	140	14
	180	15
REP	1	9
	2	10
	3	10
	4	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Error					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	71066,971(a)	5	14213,394	27,390	,000
Intersección	108952,592	1	108952,592	209,956	,000
Fertilizante (kg/ha)	66948,909	2	33474,455	64,507	,000
REP	5980,054	3	1993,351	3,841	,020
Error	15048,952	29	518,929		
Total	330261,258	35			
Total corregida	86115,922	34			

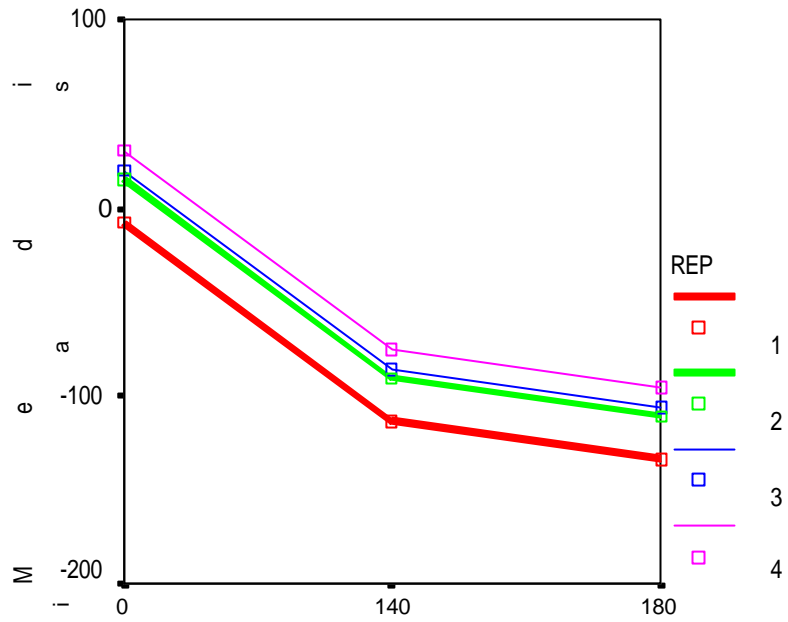
a R cuadrado = ,825 (R cuadrado corregida = ,795)

Error Duncan			
	N	Subconjunto	
Fertilizante (kg/ha)		1	2
180	15	-112,1241	
140	14	-92,6362	
0	6		9,2616
Significación		,068	1,000
Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III. El término error es la Media cuadrática (Error) = 518,929.			
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9,844			
b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.			
c Alfa = ,05.			



### Medias marginales estimadas de Error

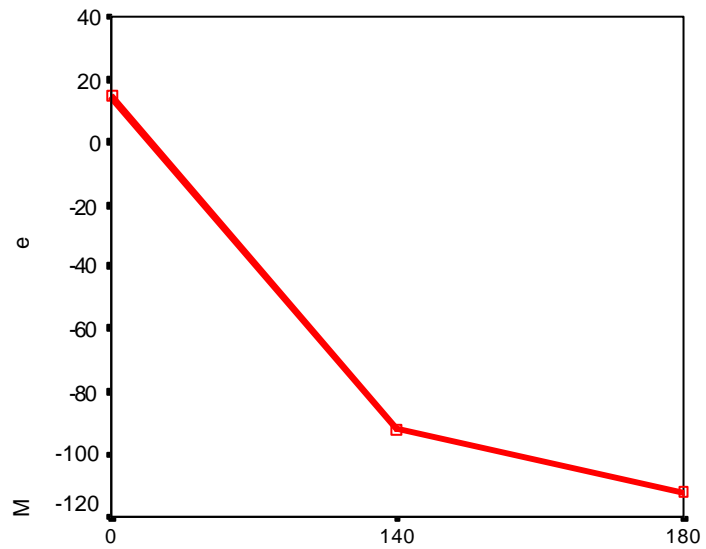
En Horizonte = 1



NFi

### Medias marginales estimadas de Error

En Horizonte = 1



NFi



#### 4.4 VARIABLE: EXPORTACIONES DE NITRÓGENO (NCI)

Factores inter-sujetos		
		N
Fertilizante (kg/ha)	0	6
	140	14
	180	15
REP	1	9
	2	10
	3	10
	4	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: NCi					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	26243,266(a)	5	5248,653	10,114	,000
Intersección	286854,348	1	286854,348	552,781	,000
Fertilizante (kg/ha)	16281,102	2	8140,551	15,687	,000
REP	5980,054	3	1993,351	3,841	,020
Error	15048,952	29	518,929		
Total	470749,243	35			
Total corregida	41292,218	34			

a R cuadrado = ,636 (R cuadrado corregida = ,573)

NCi Duncan			
	N	Subconjunto	
Fertilizante (kg/ha)		1	2
0	6	59,5390	
140	14		114,5567
180	15		127,7303
Significación		1,000	,210

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III. El término error es la Media cuadrática (Error) = 518,929.

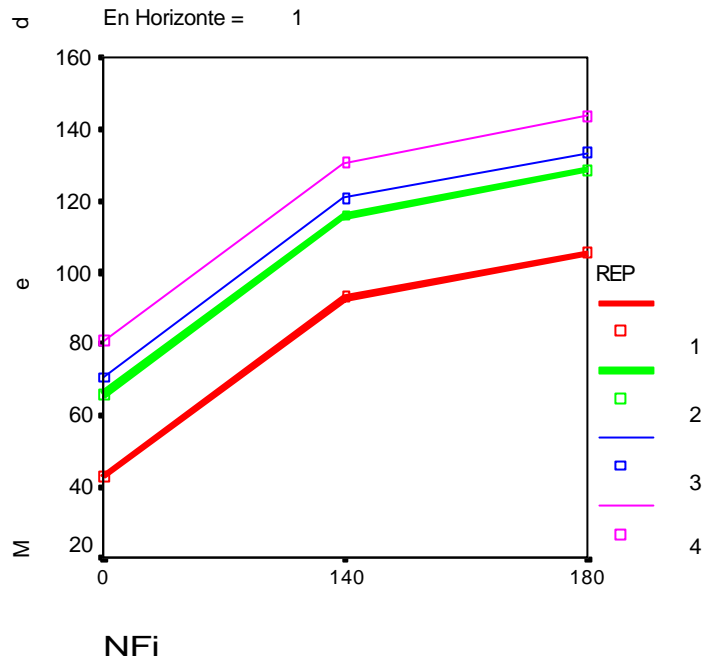
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9,844

b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c Alfa = ,05.



### Medias marginales estimadas de NCI





## 5 CONCLUSIONES

1. Aportaciones de fertilizante nitrogenado superiores a 100 UF no suponen incrementos de rendimiento de grano. Sin embargo, aportaciones de hasta 140 UF suponen un mayor rendimiento en paja, a partir de la cual ya no se manifiestan incrementos de rendimiento de ningún tipo.
2. El balance de nitrógeno es correcto para el tratamiento sin fertilizar (0 UF). El resto de tratamientos con aporte de fertilizante nitrogenado presentan descuadres al contemplar los distintos componentes del balance. Estos descuadres son mayores conforme aumentan los aportes de fertilizante.
3. No existen diferencias significativas entre las exportaciones de nitrógeno de los tratamientos de 140 UF y 180 UF.
4. En el balance no se ha contemplado la posible volatilización de fertilizante, por la dificultad de su medición. Esta pudiera ser una de las causas de las desviaciones observadas en el balance.
5. La recomendación básica de fertilización nitrogenada de cebada que el ITAP realiza a través de su Servicio de Asesoramiento a la Fertilización parece ser coherente con estos resultados.