

# RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y AZUFRE EN EL SUR DE SANTA FE

J. Capurro<sup>1</sup>, C. Fiorito<sup>2</sup>, M.C. Gonzalez<sup>3</sup>, E. Casasola<sup>1</sup>, A. Zazzarini<sup>2</sup>, J. Andriani<sup>3</sup> y A. Vernizzi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AER INTA Cañada de Gómez, <sup>2</sup> Asesor Técnico Particular, <sup>3</sup> EEA INTA Oliveros

inta@steelcdg.com.ar

## Introducción

En una extensa zona del sur de la provincia de Santa Fe, es común encontrar lotes que permanecen en agricultura continua desde hace más de 30 años. Pertenecen a establecimientos que desde entonces abandonaron los sistemas mixtos de producción agrícola-ganaderos, y hoy destinan gran parte de la superficie disponible a tres cultivos: soja, trigo y maíz; ya que sorgo y girasol participan sólo en una mínima proporción del área productiva. La relación de superficie entre los tres cultivos de mayor difusión, es variable según campañas pero altamente favorable al cultivo de soja.

En este contexto productivo, el maíz se implanta frecuentemente en suelos deteriorados en sus condiciones físicas y químicas, luego de varios años de soja de primera. Los valores de análisis químicos de esos suelos indican, en muchas situaciones, bajos contenidos de los principales nutrientes, que fueron extraídos por los cultivos.

Ante esta situación, la utilización de fertilizantes que corrijan, aunque sea parcialmente las deficiencias nutricionales, se torna imprescindible a la hora de planificar el manejo del cultivo. Para esta planificación, la existencia de ensayos zonales tiene un gran valor para productores y asesores técnicos, quienes disponen así de una herramienta adicional de diagnóstico para su trabajo.

En el área sur de los Departamentos Belgrano e Iriondo de la provincia de Santa Fe, los suelos se ubican en dos relieves predominantes, ondulados y planos, con presencia de argiudoles típicos y acucos, respectivamente. Una diferencia marcada entre ambos es la disminución del espesor del horizonte superficial en los suelos ondulados, por efectos de la erosión hídrica. Si bien esta pérdida se ha visto atenuada desde la difusión de la siembra directa para los cultivos agrícolas de la región, ha generado diferencias productivas entre ambos relieves, basadas fundamentalmente en la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes, así como en la capacidad de almacenamiento de agua del perfil.

Con el objetivo de proveer información sobre respuesta a la aplicación de fertilizantes en maíz, la AER INTA Cañada de Gómez condujo ensayos en suelos argiudoles típicos desde la campaña 2000/01, y en suelos argiudoles acucos desde la campaña 2005/06, a fin de disponer de información para estos ambientes productivos.

## Metodología de trabajo

En argiudoles típicos se trabajó con la serie Correa y en acucos dentro de la serie Armstrong, en lotes que habían sido manejados en agricultura continua por un período prolongado de años. Se seleccionaron lotes con antecesor soja de primera.

Los tratamientos (Tabla 1) incluían dosis crecientes de nitrógeno (N) (60, 90, 120, 150 y 180 kg/ha) combinadas con fósforo (P) (tratamientos 5 a 9), con P y azufre (S) (tratamientos 10 a 14) y con S (tratamientos 15 a 19).

Las siembras se realizaron, según campañas, en los meses de septiembre u octubre, de acuerdo a la humedad disponible en el perfil del suelo. Se trabajó con densidades de siembra de 75000 plantas por hectárea. Los fertilizantes se incorporaron en el momento de la siembra. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones.

Antes de la siembra se extrajeron muestras de suelo a distintas profundidades (0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm). En las Tablas 2 y 3 se detallan los resultados obtenidos del análisis químico, en los dos ambientes evaluados.

Los valores obtenidos muestran bajos contenidos de nitratos a siembra en todos los sitios evaluados, así como también deficiencias de P muy marcadas en los suelos ondulados. Los valores de materia orgánica presentaron variaciones importantes relacionadas al manejo que habían recibido los lotes en su historia agrícola.

## Resultados y Discusión

En las Tablas 4 y 5 se detallan las precipitaciones registradas durante el ciclo de cultivo, en cada campaña analizada. Si bien, las lluvias totales registraron variaciones según campañas, los rendimientos medios obtenidos tuvieron mayor relación con las precipitaciones ocurridas cerca del momento de floración del cultivo, que con el total registrado. Determinaciones del contenido de agua del suelo realizadas en tratamientos fertilizados y sin fertilizar en 2006/07, demostraron que el cultivo no sufrió estrés hídrico en ningún momento del ciclo durante esa campaña.

## Resultados obtenidos en Argiudoles típicos

En la Figura 1 se detallan los rendimientos obtenidos en los ensayos en suelos argiudoles típicos, como promedio de las campañas 2000/01 a 2004/05. Los tratamientos que no incluyeron N (P20, P20+S17

y S17), no presentaron diferencias significativas con respecto al Testigo.

La respuesta a N fue lineal en el rango de dosis explorado, en los cinco años de ensayos. Los incrementos máximos de rendimientos fueron de 4722 y 4346 kg/ha por sobre el Testigo sin fertilizantes y, correspondieron a los tratamientos N150+ S17 y P20+N150+S17.

No se observaron respuestas a P en los sitios evaluados, a pesar de los bajos niveles de P extractable Bray-1 en el suelo. En la Figura 2, se comparan los rendimientos promedio para distintos niveles de N, con y sin la aplicación de P y S.

La fertilización con S incremento los rendimientos, promediando a través de campañas y dosis de N, en 673 kg/ha (Fig. 2). Esta respuesta se explicaría por la prolongada historia agrícola de los lotes, los bajos niveles de  $S-SO_4$ , y las caídas de materia orgánica respecto a los niveles originales. Las respuestas fueron variables según campañas. Como puede observarse en la Tabla 6, en las campañas 2000/01 y 2001/02 se observó muy buena interacción N-S. Por el contrario, en las campañas 2002/03 a 2004/05, no hubo interacción entre ambos nutrientes. Los lotes que manifestaron interacción con S no tenían antecedentes

**Tabla 1.** Tratamientos evaluados en los ensayos de maíz 2000/01-2006/07.

	Tratamiento	Producto fertilizante
Nº	Dosis en kg nutriente/ha	Dosis en kg fertilizante/ha
1	Testigo absoluto	Sin fertilizante
2	17 kg S /ha	92 kg/ha yeso granulado
3	20 kg P /ha	100 kg/ha SPT
4	20 kg P /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 92 kg/ha yeso granulado
5	20 kg P /ha + 60 kg N /ha	100 kg/ha SPT + 130 kg/ha Urea
6	20 kg P /ha + 90 kg N /ha	100 kg/ha SPT + 196 kg/ha Urea
7	20 kg P /ha + 120 kg N /ha	100 kg/ha SPT + 261 kg/ha Urea
8	20 kg P /ha + 150 kg N /ha	100 kg/ha SPT + 326 kg/ha Urea
9	20 kg P /ha + 180 kg N /ha	100 kg/ha SPT + 391 kg/ha Urea
10	20 kg P /ha + 60 kg N /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 130 kg/ha Urea+92 kg/ha yeso gran.
11	20 kg P /ha + 90 kg N /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 196 kg/ha Urea+92 kg/ha yeso gran.
12	20 kg P /ha + 120 kg N /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 261 kg/ha Urea+92 kg/ha yeso gran.
13	20 kg P /ha + 150 kg N /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 326 kg/ha Urea+92 kg/ha yeso gran.
14	20 kg P /ha + 180 kg N /ha + 17 kg S /ha	100 kg/ha SPT + 391 kg/ha Urea+92 kg/ha yeso gran.
15	60 kg N /ha + 17 kg S /ha	130 kg/ha Urea + 92 kg/ha yeso granulado
16	90 kg N /ha + 17 kg S /ha	196 kg/ha Urea + 92 kg/ha yeso granulado
17	120 kg N /ha + 17 kg S /ha	261 kg/ha Urea + 92 kg/ha yeso granulado
18	150 kg N /ha + 17 kg S /ha	326 kg/ha Urea + 92 kg/ha yeso granulado
19	180 kg N /ha + 17 kg S /ha	391 kg/ha Urea + 92 kg/ha yeso granulado
20	150 kg N /ha	326 kg/ha Urea

**Tabla 2.** Análisis químico de suelo. Campañas 2000/01 a 2004/05. Ensayos Suelos ondulados. Argiudoles típicos, serie Correa.

Campaña	Nitratos (ppm)			Fósforo (ppm)			Materia orgánica (%)			pH en agua 1:2.5			S-SO <sub>4</sub> (ppm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
	cm			cm			cm			cm			cm		
2000/01	41	12	9	14	7	11	2.6	1.4	-	6.2	6.6	6.7	10	9	5
2001/02	53	27	17	8	5	6	2.1	1.2	0.9	5.8	6.2	6.4	5	0	0
2002/03	53	27	25	6	6	9	2.5	1.1	-	6.0	6.5	6.6	6	4	4
2003/04	56	27	19	14	8	15	3.1	-	-	6.1	6.5	6.7	3	5	5
2004/05	47	33	19	6	6	9	2.7	-	-	6.0	6.2	6.4	6	3	3

**Tabla 3.** Análisis químico de suelo. Campañas 2005/06 y 2006/07. Ensayos Suelos planos. Argiudoles acucios, serie Armstrong.

Campaña	Nitratos (ppm)			Fósforo (ppm)			Materia orgánica (%)			pH en agua 1:2.5			S-SO <sub>4</sub> (ppm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
	cm			cm			cm			cm			cm		
2005/06	43	23	12	17	11	10	2.4	-	-	6.0	6.3	6.4	5	4	1
2006/07	49	28	12	13	11	12	2.9	-	-	6.0	6.3	6.5	1	-	1

de fertilización azufrada. Por el contrario, los lotes que no manifestaron interacción con S, tenían una historia previa de fertilización con este nutriente.

### Resultados obtenidos en Argiudoles acucos

En la Figura 3 se detallan los rendimientos obtenidos en suelos Argiudoles acucos, como promedio de las campañas 2005/06 y 2006/07. Se observa, coincidentemente con los ambientes ondulados, que los tratamientos que no incluyeron N, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al Testigo.

La respuesta a N fue de gran magnitud. En estos ambientes se obtuvieron rendimientos promedio más elevados, así como también respuestas de mayor magnitud para

los mismos aportes de nutrientes. Los incrementos máximos de rendimientos fueron de 4788 y 4649 kg/ha por sobre el Testigo sin fertilizantes y correspondieron a los tratamientos P20+N150 y P20+N180+S17 (Fig. 4). Al igual que en los suelos ondulados, no se observaron respuestas a P en los sitios evaluados (Fig. 4). En estos suelos planos, los niveles de P Bray fueron superiores a los de los suelos ondulados (Tabla 3). La fertilización con S no afectó los rendimientos a pesar de la prolongada historia agrícola de los lotes, los bajos niveles de  $S-SO_4$ , y las caídas de materia orgánica respecto a los niveles originales (Fig. 4). Posiblemente, estos lotes hayan tenido aplicaciones previas de fertilizantes azufrados que resultaron en efectos residuales no determinados en el análisis de  $S-SO_4$  a la siembra.

**Tabla 4.** Precipitaciones registradas en mm. Campañas 2000/01 a 2004/05. Suelos ondulados. Argiudoles típicos serie Correa.

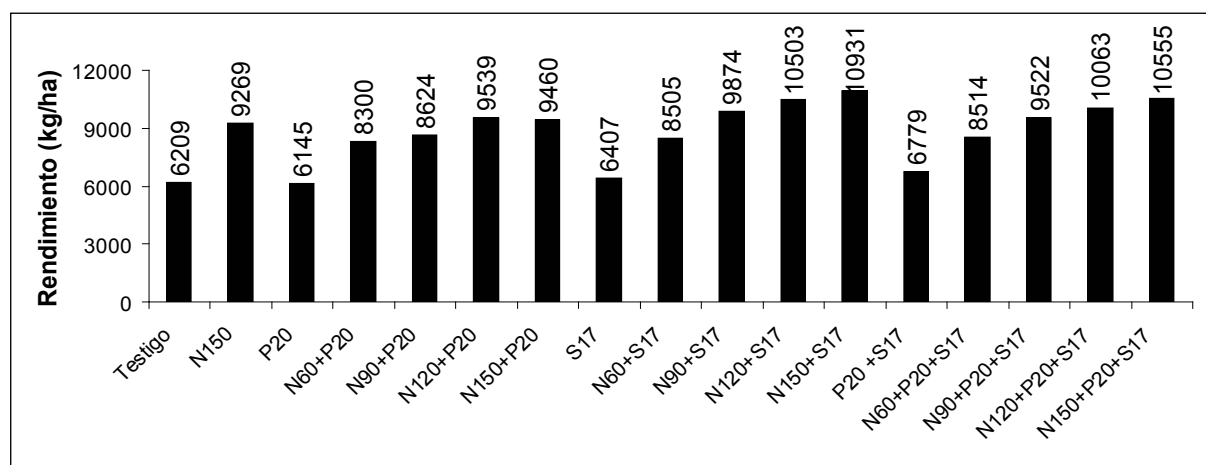
Año	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
2000/01	80	160	332	67	140	57		836
2001/02	84	209	88	203	112	79	196	971
2002/03	45	242	143	218	76	128		852
2003/04	8	77	66	148	92	40	92	523
2004/05	7	71	72	193	205	69	223	840

**Tabla 5.** Precipitaciones registradas en mm. Campañas 2005/06 y 2006/07. Suelos planos. Argiudoles acucos serie Armstrong.

Año	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
2005/06	57	58	79	102	110	170	147	723
2006/07	15	99	136	190	126	142	394	1102

**Tabla 6.** Eficiencia de uso del N aplicado según la dosis de S utilizada.

Campaña	Sin S	Con S
	----- kg grano/kg N -----	
2000/01	8.2	22.2
2001/02	16.0	30.6
2002/03	36.6	36.4
2003/04	26.6	27.6
2004/05	18.8	18.6



**Figura 1.** Rendimientos promedio en los ensayos de las Campañas 2000/01 a 2004/05. Suelos ondulados. Argiudoles típicos, serie Correa.

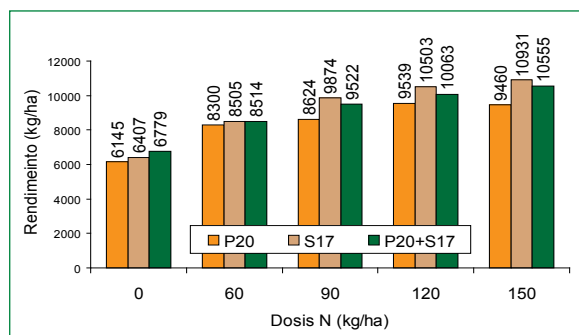
### Observaciones para ambos tipos de suelos

En la Figura 5 se observa el efecto diferencial del estrés hídrico a floración, según el nivel nutricional del cultivo. Las campañas en que el momento de floración coincidió con falta de lluvias y elevadas temperaturas, las parcelas con mejor nivel nutricional conservaron todas sus hojas verdes, a diferencia de las parcelas no fertilizadas que perdieron sus hojas basales anticipadamente. Entre los componentes de rendimiento, las diferencias estuvieron definidas por el número de granos/hilera y, en menor medida, por el peso de mil semillas. En la Figura 6 pueden observarse variaciones en largo de espigas de distintos tratamientos fertilizados con respecto al Testigo sin fertilizantes, en la campaña 2006/07.

### Conclusiones

#### Suelos ondulados (Argiudoles típicos)

- Los tratamientos que no incluyeron N, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al Testigo.

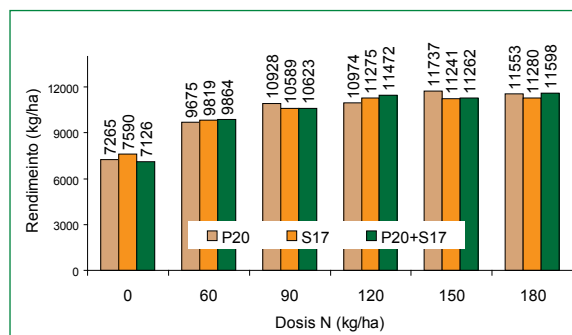


**Figura 2.** Rendimientos promedio, con y sin aplicación de P y S, para tratamientos con distintas dosis de N en los ensayos de las Campañas 2000/01 a 2004/05. Suelos ondulados. Argiudoles típicos, serie Correa.

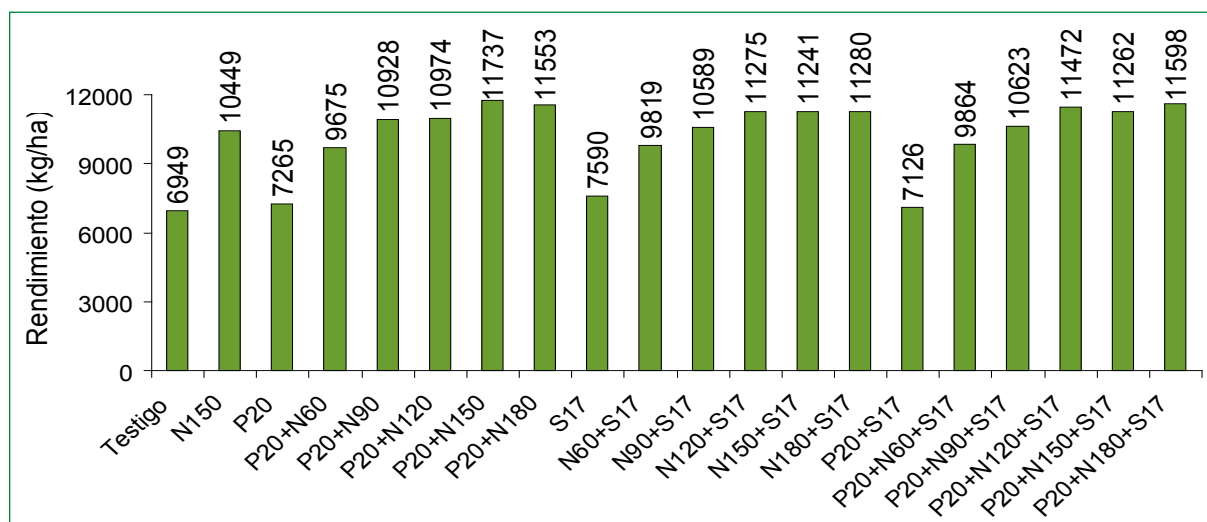
- La respuesta a N fue lineal en el rango de dosis explorado, en los cinco años de ensayos.
- No se observó respuesta a P en los sitios evaluados, a pesar de los bajos niveles de P Bray en el suelo.
- La fertilización con S presentó respuestas variables según campañas. En las campañas 2000/01 y 2001/02, se observó muy buena interacción N-S. Estos sitios no habían recibido aplicaciones de S con anterioridad. Por el contrario, en las campañas 2002/03 a 2004/05, en sitios que habían recibido S con anterioridad, no hubo interacción entre ambos nutrientes.

#### Suelos planos (Argiudoles acuícos)

- Coincidentemente con los ambientes ondulados, los tratamientos que no incluyeron N no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al Testigo.
- La respuesta a N fue de gran magnitud. Se obtuvieron rendimientos promedio más elevados que en los ambientes ondulados, así como también respuestas de mayor magnitud para los mismos aportes de nutrientes.
- No se observaron respuestas a P y/o a S.



**Figura 4.** Rendimientos promedio con y sin aplicación de P y S, para tratamientos con distintas dosis de N en los ensayos de las Campañas 2005/06 y 2006/07. Suelos planos. Argiudoles acuícos, serie Armstrong.



**Figura 3.** Rendimientos promedio en los ensayos de las campañas 2005/06 y 2006/07. Suelos planos. Argiudoles acuícos, serie Armstrong.

### En ambos tipos de suelos

- Ante situaciones de nutrición balanceada, se observó una mayor tolerancia del cultivo en períodos de deficiencia hídrica.
- El componente de rendimiento que mayor incremento registró fue el número de granos/hilera y, en menor medida, el peso de mil semillas.

**Agradecimientos:** los autores desean agradecer especialmente al Sr. Enrique Marconatto de Cañada

de Gómez por el tiempo y esfuerzo dedicado a la realización de estos trabajos. También desean expresar su reconocimiento a los siguientes productores: David Marconatto, Fabián Marconatto, Mariano Mach, José Carlini, Diego Ferreira, Daniel y Sergio Pochettino, Gerardo y Adhemar Beltramone y sus familias. Por último las siguientes empresas colaboraron en la provisión de los insumos necesarios: Agroquímicos del Sur S.R.L., PETROBRAS S.A., Monsanto Argentina, ASP Casilda, y Cooperativa Agropecuaria de Armstrong. <

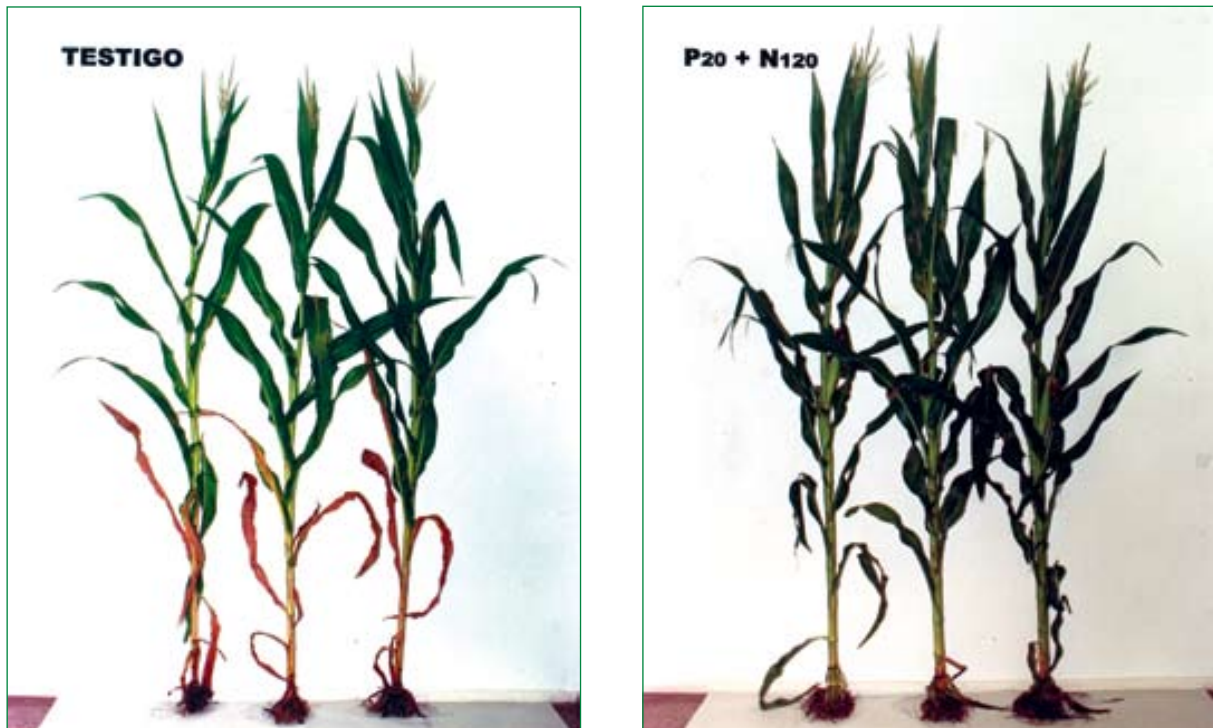


Figura 5. Estrés hídrico en floración. Campaña 2004/05.

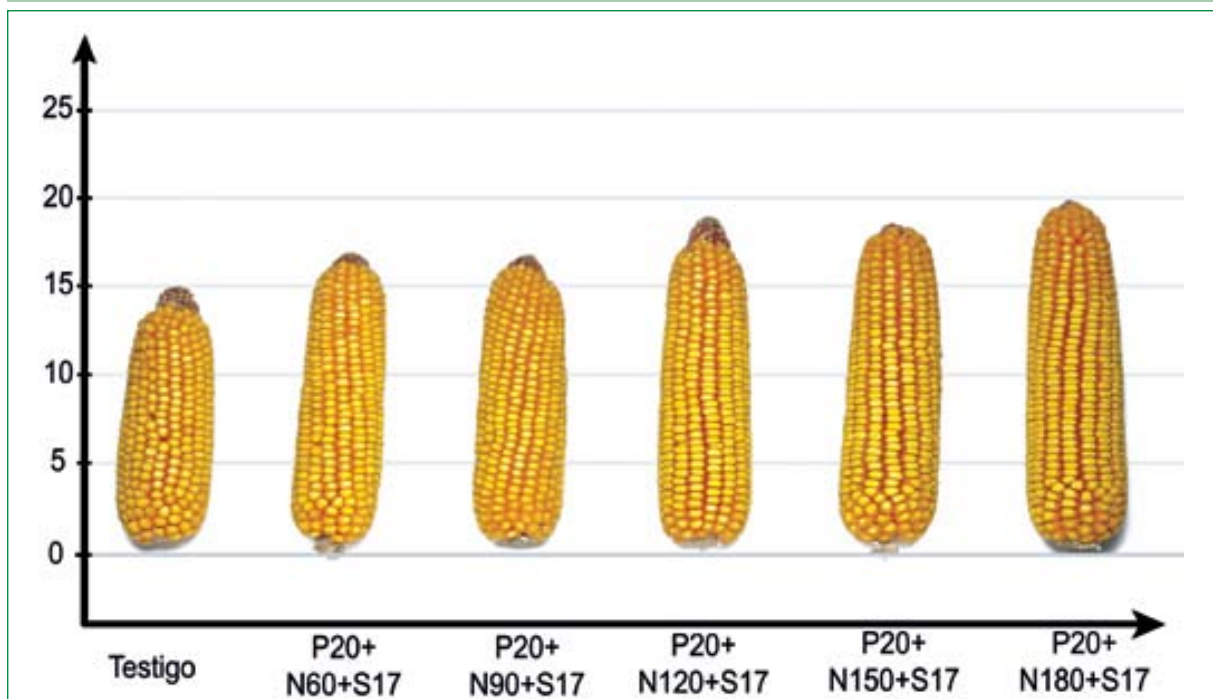


Figura 6. Diferencias en largo de espigas según nivel nutricional. Campaña 2006/07.