



# RENDIMIENTOS DE MAÍZ REGADÍO

## II. DIAGNÓSTICO FOLIAR EN UN SUELO ALUVIAL DE MENDOZA (ARGENTINA)\*

Soil and foliar indexes related to irrigated corn yields in a typic torrilluvent of Mendoza (Argentina)

León Nijensohn  
José A. Maffei  
Emilio Rearte \*\*

### ABSTRACT

In a fertilizer assay of irrigated corn on an alluvial soil of ca. 60 cm deep over a stony subsoil (pebbles, gravel, etc.) we took advantage of the great variability among replicates of the same treatments in order to establish relationships between foliar composition and grain and stubble yields.

The main conclusions we arrived at were:

I. N leaf content was the most significant index related to yield. A threshold of 20 g N % for grain and stubble yields above 14 t/ha and 25 t/ha, respectively, was established.

II. Single regressions were also found with P and Zn, but none of the multiple regressions which included N and P with Zn and K were better than the one with N as the sole variable.

III. Although K as a single variable in the regression equation vs. yield had no statistical signification, a threshold of 1.6 g K % evidenced for grain yields above 16 t/ha.

IV. Foliar compositions related to the maximum observed yield (21 t/ha grain and 31 t/ha stubble dry matter) compared with the minimum one (4.1 t/ha grain and 8.1 t/ha stubble) are respectively the following:

N 2.54-0.97 g %  
P 0.226-0.152 g %;  
K 1.76-1.48 g % ;  
Ca 0.54-0.39 g %;  
Mg 0.16-0.16 g %;  
Fe 158-109 mg/kg;  
Zn 52-24 mg/kg;  
Mn 88-27 mg/kg  
and Cu 17-5 mg/kg.

### Key words

irrigated corn • foliar composition • replicates variability

\* La primera parte de este trabajo: Parámetros asociados..., fue publicada en Tomo XXX, N° 2, 1998, pág. 101-115 de esta revista.

\*\* Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Alte. Brown 500. (5505) Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.  
e-mail: caifca@uncu.edu.ar

## **INTRODUCCIÓN**

En suelos regadíos de origen aluvial, la heterogeneidad de los materiales depositados durante los procesos de sedimentación en las partes altas y medias de los abanicos fluviales, y los cambios inducidos por los movimientos de tierra provocados por la sistematización de los terrenos para su puesta bajo riego, determinan una notable variabilidad dentro de muy cortas distancias de características edáficas que pueden influir en la productividad de los cultivos. A esa variabilidad originaria se agregan los cambios provocados por aportes diferenciales de sedimentos durante los sucesivos ciclos de cultivo bajo riego superficial. Lo anteriormente señalado explica, en gran parte, los elevados errores experimentales observados en ensayos comparativos de diversos tratamientos culturales (riego, fertilización, abonamiento en verde, etc.) que en más de una ocasión invalidan la significatividad estadística y oscurecen la interpretación de diferencias importantes entre los resultados promediados.

Las diferencias entre los replicados de un mismo tratamiento, constituyentes del "error experimental", pueden transformarse en un factor positivo dentro de las finalidades de la investigación agronómica en general, y edafológica en particular. Una vez constatadas y descartadas las influencias puntuales de factores externos evidentes -manejo del riego, granizo, plagas, fallas de siembra, etc.- las parcelas respectivas son estudiadas individualmente con el objeto de identificar y cuantificar el o los factores que demuestran estar relacionados con las divergencias entre las respuestas obtenidas frente a un mismo tratamiento. Ese enfoque fue empleado exitosamente por primera vez en el discernimiento de la influencia de diferencias puntuales en la lámina de agua almacenada -supuesta igual en todas las parcelas de la experiencia- como causa principal del error experimental en un ensayo de fertilización en tomate regadío (Nijensohn et al., 1965).

En la primera parte de este trabajo se aprovechó la variabilidad observada en los rendimientos de grano y materia seca de rastrojos de los replicados para calibrar índices de disponibilidad de nutrimentos en el suelo, determinados con el método adoptado en la región. Así se establecieron correlaciones y regresiones significativas entre características edáficas y productividad, proponiendo valores umbrales de N, P y K, y los asociados de Zn, Mn, Fe y Cu, para grupos extremos de rendimientos de maíz bajo riego controlado.

El objetivo de la segunda parte fue aprovechar la variabilidad observada en rendimientos de grano y rastrojo de maíz dentro de ese mismo ensayo para verificar sus posibles relaciones con la composición de hojas, extraídas en una posición y fase vegetativa determinadas, e intentar establecer índices de valor predictivo. Este método, conocido como "diagnóstico foliar" o "diagnóstico tisular" -para hacerlo extensivo a otros órganos del vegetal- tiene una amplia difusión mundial en diversos cultivos y puede constituir una valiosa herramienta para identificar deficiencias, excesos y desequilibrios de la nutrición mineral, una vez calibrado para condiciones agroecológicas específicas.

En la zona argentina de agricultura regadía intensiva, el diagnóstico tisular ya ha sido utilizado por investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo) e INTA, en problemas nutricionales de vid, papa, frutales y olivo. Por la posible importancia del maíz de alto rendimiento unitario como alternativa entre extirpación y replante de cultivos permanentes, o electivo dentro de una rotación anual, los objetivos fijados apuntan hacia una práctica guiada de la fertilización para lograr la mayor rentabilidad optimizando su manejo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El material vegetal analizado proviene de un ensayo de respuesta a la fertilización realizado en un suelo Torrifluente típico, franco, sobre cantos rodados, mixta, ligeramente calcáreo, térmico. En su fracción arena predominan los feldespatos y, dentro de ellos, la ortosa con distintos grados de alteración. En cambio, en la arcilla se presentan cantidades aproximadamente equivalentes de montmorillonita, illita y caolinita. El sitio preciso corresponde al campo experimental del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo), Chacras de Coria, Mendoza: 33° 00' 48" S y 68° 53' O, 930 msnm.

El ensayo de fertilización de referencia fue planificado en busca de techos de rendimiento para las condiciones agroecológicas locales (Rearte et al., 1986). Para ello la experiencia se llevó a cabo bajo condiciones que optimizaron el manejo del régimen hídrico a través de riegos de láminas controladas aplicadas a parcelas sin desagüe, adoptándose un umbral mínimo del 30 % del agua disponible en la capa diagnóstica de 0 a 0.60 m (Chambouleyrón y Nijensohn, 1968).

Se utilizaron dos variedades de maíz:

- Dentado Pioneer (D)
- Colorado Contimax RF67 (C)
- y 8 combinaciones de fertilización, con 4 niveles de nitrógeno:  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  correspondientes, respectivamente, a 0, 100, 200 y 400 kg N/ha, aplicados como sulfato de amonio en tres parcialidades, y 2 niveles de fósforo:  $P_0$  y  $P_1$ , correspondientes a 0 y 80 kg P/ha, incorporados -antes de la siembra- como superfosfato de calcio.

Este planteo resultó en un total de 16 tratamientos, distribuidos en 6 bloques al azar. En cada una de las 96 parcelas se determinaron la producción de granos con humedad al 14 % y el peso de materia seca a estufa del rastrojo y se extrajeron muestras de hojas de posición y fase de desarrollo predeterminadas, así como del material vegetal residual luego de la cosecha. Aunque los valores obtenidos en los rendimientos de grano mostraron clara significatividad estadística de la acción favorable del nitrógeno, en ambas variedades, y de la interacción  $N_1P_1$  en el Colorado Duro, la variabilidad entre repeticiones fue muy marcada, lo que determinó un error experimental total elevado: CV de ca. 31 %. Por ejemplo, en el tratamiento testigo,  $N_0P_0$ , el coeficiente de variación para el conjunto de las dos variedades ensayadas (que no difirieron significativamente entre ellas) fue del 45 %, con un rendimiento de

grano de 9 002 kg/ha y un rango parcelario entre 4 441 y 15 650 kg/ha y en materia seca de rastrojos entre 7 748 y 26 630 kg/ha. En la fase de la aparición de la flor masculina, en cada parcela se extrajeron muestras compuestas de hojas opuestas a la mazorca. Éstas, lavadas superficialmente, se secaron en estufa a 60 °C y se molieron a polvo fino. Las determinaciones analíticas efectuadas fueron:

- N total (Kjeldahl, con sulfúrico más salicílico) y, sobre el extracto clorhídrico de las cenizas obtenidas a 400-450 °C,
- P (fotocolorimetría de vanado molibdico),
- K (fotometría de emisión),
- Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu (fotometría de absorción atómica).

Luego de la cosecha manual se extrajeron, también en las 96 parcelas, muestras representativas del material vegetal residual de cada una de ellas, el que fue sometido al mismo tratamiento que el foliar. Los valores obtenidos fueron relacionados con la producción parcelaria de granos y de materia seca de rastrojos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los datos consignados en la tabla 1 caracterizan al ensayo en su totalidad a través de los valores medios, su variabilidad y de los rangos observados de rendimientos de grano y rastrojo y de contenidos foliares de los nutrimentos considerados. Los coeficientes de variación para las producciones son razonables, dado que ellas promedian las correspondientes a los 8 tratamientos de fertilización en la experiencia. Los altos rendimientos medios de granos y rastrojos concuerdan con la respuesta significativa a la fertilización con N, elemento incluido en 6 de los tratamientos ensayados. Las relaciones entre nutrimentos en hojas y su influencia en las producciones se consideran a continuación.

**Tabla 1.** Valores medios y su variabilidad de nutrimentos foliares y producción del ensayo

Variables		Media	CV %	Mín. parcelario	Máx. parcelario
<b>Granos</b>	kg/ha	11 107	32.43	4 154	21 053
<b>Rastrojo</b>	kg/ha	18 680	34.52	5 860	37 723
<b>N</b>	g% ss	2.032	25.24	0.784	2.667
<b>P</b>	g% ss	0.192	17.02	0.095	0.252
<b>K</b>	g% ss	1.502	29.37	0.42	2.32
<b>Ca</b>	g% ss	0.530	16.86	0.34	0.71
<b>Mg</b>	g% ss	0.158	20.49	0.08	0.23
<b>Fe</b>	mg/kg	127.7	21.42	79.40	227
<b>Zn</b>	mg/kg	29.6	37.94	11.30	51.95
<b>Mn</b>	mg/kg	51.3	43.29	20.00	99.40
<b>Cu</b>	mg/kg	10.72	35.81	3.00	20.00

En la zona argentina de agricultura regadía intensiva, el diagnóstico tisular ya ha sido utilizado por investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo) e INTA, en problemas nutricionales de vid, papa, frutales y olivo. Por la posible importancia del maíz de alto rendimiento unitario como alternativa entre extirpación y replante de cultivos permanentes, o electivo dentro de una rotación anual, los objetivos fijados apuntan hacia una práctica guiada de la fertilización para lograr la mayor rentabilidad optimizando su manejo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El material vegetal analizado proviene de un ensayo de respuesta a la fertilización realizado en un suelo Torrifluvente típico, franco, sobre cantos rodados, mixta, ligeramente calcáreo, térmico. En su fracción arena predominan los feldespatos y, dentro de ellos, la ortosa con distintos grados de alteración. En cambio, en la arcilla se presentan cantidades aproximadamente equivalentes de montmorillonita, illita y caolinita. El sitio preciso corresponde al campo experimental del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo), Chacras de Coria, Mendoza: 33° 00' 48" S y 68° 53' O, 930 msnm.

El ensayo de fertilización de referencia fue planificado en busca de techos de rendimiento para las condiciones agroecológicas locales (Rearte et al., 1986). Para ello la experiencia se llevó a cabo bajo condiciones que optimizaron el manejo del régimen hídrico a través de riegos de láminas controladas aplicadas a parcelas sin desagüe, adoptándose un umbral mínimo del 30 % del agua disponible en la capa diagnóstica de 0 a 0.60 m (Chambouleyrón y Nijensohn, 1968).

Se utilizaron dos variedades de maíz:

- Dentado Pioneer (D)
- Colorado Contimax RF67 (C)
- y 8 combinaciones de fertilización, con 4 niveles de nitrógeno:  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  correspondientes, respectivamente, a 0, 100, 200 y 400 kg N/ha, aplicados como sulfato de amonio en tres parcialidades, y 2 niveles de fósforo:  $P_0$  y  $P_1$ , correspondientes a 0 y 80 kg P/ha, incorporados -antes de la siembra- como superfosfato de calcio.

Este planteo resultó en un total de 16 tratamientos, distribuidos en 6 bloques al azar. En cada una de las 96 parcelas se determinaron la producción de granos con humedad al 14 % y el peso de materia seca a estufa del rastrojo y se extrajeron muestras de hojas de posición y fase de desarrollo predeterminadas, así como del material vegetal residual luego de la cosecha. Aunque los valores obtenidos en los rendimientos de grano mostraron clara significatividad estadística de la acción favorable del nitrógeno, en ambas variedades, y de la interacción  $N_1P_1$  en el Colorado Duro, la variabilidad entre repeticiones fue muy marcada, lo que determinó un error experimental total elevado: CV de ca. 31 %. Por ejemplo, en el tratamiento testigo,  $N_0P_0$ , el coeficiente de variación para el conjunto de las dos variedades ensayadas (que no difirieron significativamente entre ellas) fue del 45 %, con un rendimiento de

grano de 9 002 kg/ha y un rango parcelario entre 4 441 y 15 650 kg/ha y en materia seca de rastrojos entre 7 748 y 26 630 kg/ha. En la fase de la aparición de la flor masculina, en cada parcela se extrajeron muestras compuestas de hojas opuestas a la mazorca. Éstas, lavadas superficialmente, se secaron en estufa a 60 °C y se molieron a polvo fino. Las determinaciones analíticas efectuadas fueron:

- N total (Kjeldahl, con sulfúrico más salicílico) y, sobre el extracto clorhídrico de las cenizas obtenidas a 400-450 °C,
- P (fotocolorimetría de vanado molibídico),
- K (fotometría de emisión),
- Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu (fotometría de absorción atómica).

Luego de la cosecha manual se extrajeron, también en las 96 parcelas, muestras representativas del material vegetal residual de cada una de ellas, el que fue sometido al mismo tratamiento que el foliar. Los valores obtenidos fueron relacionados con la producción parcelaria de granos y de materia seca de rastrojos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los datos consignados en la tabla 1 caracterizan al ensayo en su totalidad a través de los valores medios, su variabilidad y de los rangos observados de rendimientos de grano y rastrojo y de contenidos foliares de los nutrientes considerados. Los coeficientes de variación para las producciones son razonables, dado que ellas promedian las correspondientes a los 8 tratamientos de fertilización en la experiencia. Los altos rendimientos medios de granos y rastrojos concuerdan con la respuesta significativa a la fertilización con N, elemento incluido en 6 de los tratamientos ensayados. Las relaciones entre nutrientes en hojas y su influencia en las producciones se consideran a continuación.

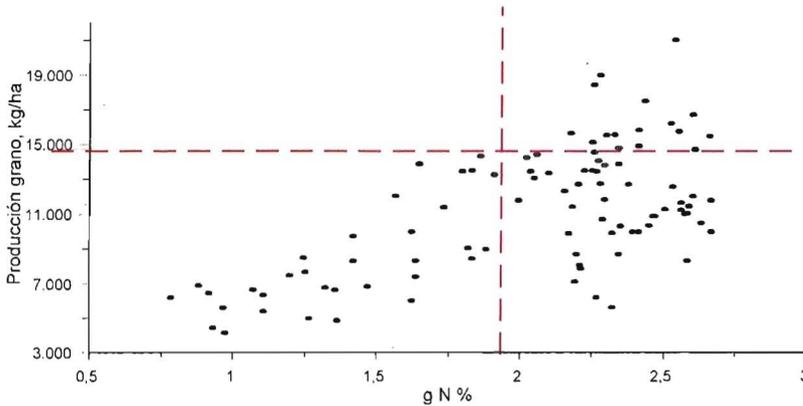
**Tabla 1.** Valores medios y su variabilidad de nutrientes foliares y producción del ensayo

Variables		Media	CV %	Mín. parcelario	Máx. parcelario
<b>Granos</b>	kg/ha	11 107	32.43	4 154	21 053
<b>Rastrojo</b>	kg/ha	18 680	34.52	5 860	37 723
<b>N</b>	g% ss	2.032	25.24	0.784	2.667
<b>P</b>	g% ss	0.192	17.02	0.095	0.252
<b>K</b>	g% ss	1.502	29.37	0.42	2.32
<b>Ca</b>	g% ss	0.530	16.86	0.34	0.71
<b>Mg</b>	g% ss	0.158	20.49	0.08	0.23
<b>Fe</b>	mg/kg	127.7	21.42	79.40	227
<b>Zn</b>	mg/kg	29.6	37.94	11.30	51.95
<b>Mn</b>	mg/kg	51.3	43.29	20.00	99.40
<b>Cu</b>	mg/kg	10.72	35.81	3.00	20.00

### 1. Diagnóstico foliar y producción de granos de maíz Nitrógeno foliar y rendimientos en todo el ensayo

En la figura 1 se representan los rendimientos de las 96 parcelas en función de los contenidos de N foliar y, en la tabla 2, su ecuación de regresión, significativa al nivel de  $P = 0.001$ . Puede observarse que hasta un contenido de 2 g N % y una producción de granos de 14 000 kg/ha existe una correlación directa entre N foliar y rendimiento. A partir de ese nivel, y hasta un contenido de ca. 2.5 g N foliar %, se verifica una dispersión en los valores de rendimientos, parte de los cuales, debido probablemente a factores limitantes no identificados, se encuentran por debajo de la tendencia general, la que sigue marcando un progresivo aumento hasta alcanzar producciones entre 15 000 y 21 000 kg/ha.

**Figura 1.** Contenido de N foliar vs. producción de granos en el ensayo total (n = 96)



**Tabla 2.** Producción de granos de maíz (humedad 14 %) en kg/ha (Y) vs. contenidos de N, P, K y Zn foliares, g% (X)

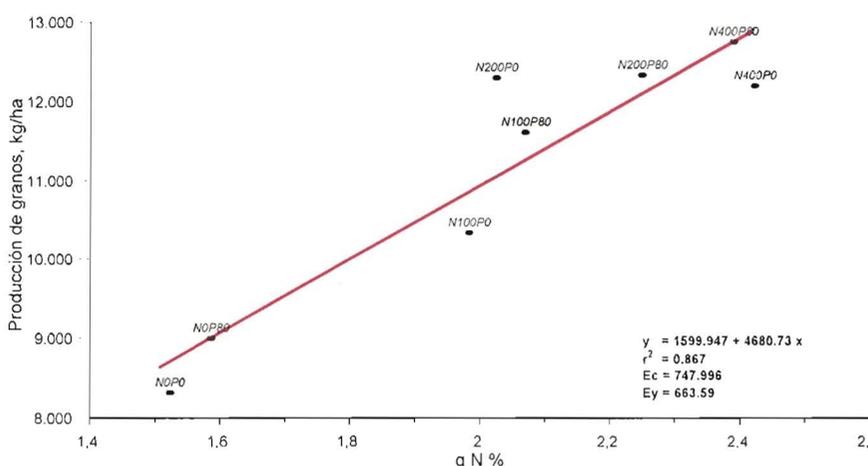
Nutrimiento	Regresión	n = 96	r <sup>2</sup>
N	2 075.878 + 4445.801 X Ec = 561.2251	<b>Ey = 2819.223</b>	<b>0,400326 ***</b>
P	1453.181 + 50 286 X Ec = 10 121.95	<b>Ey = 3239.987</b>	<b>0,207967 ***</b>
K	<b>no significativa</b>		<b>0,010515</b>
Zn	8545.005 + 86.70292 X Ec = 32.2735	<b>Ey = 3508.392</b>	<b>0,071305 *</b>

Ec: Error estándar del coeficiente. Ey: Error estándar de estimación  
\* P = 0.05 ; \*\* P = 0.01; \*\*\* P = 0.001

### 1.1 Nitrógeno foliar, rendimientos medios de tratamientos y efectos de las dosis de nitrógeno incorporadas al suelo

Como puede apreciarse en la figura 2 la correlación existente entre N foliar y producción de granos se hace más evidente cuando se promedian los rendimientos correspondientes a cada uno de los 8 tratamientos, todos con dosis crecientes de N (0, 100, 200 y 400 kg/ha), de los cuales cuatro estuvieron acompañados por una dosis única de P (80 kg/ha). Eso se confirma con los datos de la respectiva ecuación de regresión:  $r^2 = 0.867136$  (tabla 3, pág. 68).

**Figura 2.** Relación entre contenido de N foliar vs. producción de granos de los tratamientos de fertilización (valores medio)

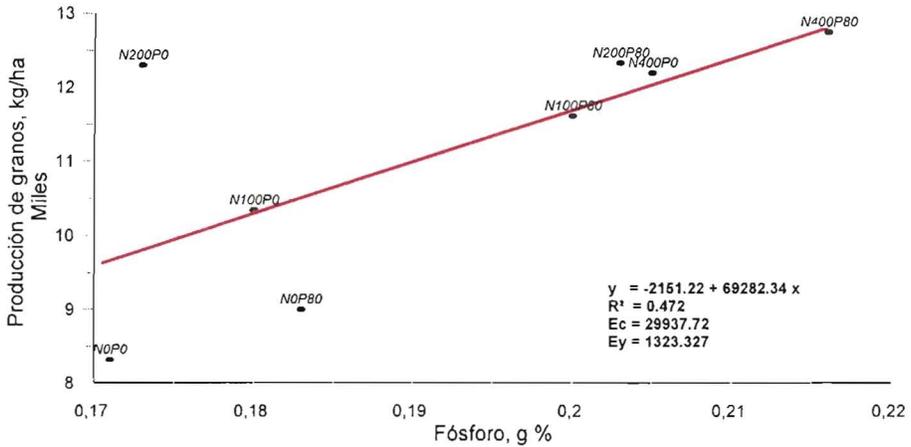


Del análisis estadístico realizado con el método SAS.REG (1983) (tabla 4, pág 68) surgen diferencias significativas entre los contenidos de nitrógeno foliar de los tratamientos que no recibieron N ( $N_0P_0$  y  $N_0P_{80}$ ) y los fertilizados con N 100 kg/ha sin P. Éstos, a su vez, se diferencian de los fertilizados con 400 Kg/ha de N, ya sea con o sin agregado de P. De ello se deduce que la fertilización nitrogenada se refleja en el contenido de N foliar y con cierta proporcionalidad de acuerdo con la dosis agregada.

### 1.2 Fósforo foliar: rendimiento de todo el ensayo de medias de tratamientos y efectos de la fertilización.

La correlación entre el contenido de P en las hojas y el rendimiento de todas las parcelas es menos significativa que la del N, como indica el bajo valor de  $r^2$  en su ecuación de regresión (tabla 2, pág. 65). Por otra parte, es destacable la interacción del P con la primera dosis de N (rendimiento de  $N_{100}P_{80} > N_{100}P_0$ ), tal como se aprecia en la figura 3 (pág. 67) y se evidencia en un mayor valor de  $r^2$  en su ecuación de regresión (tabla 3, pág. 67). El efecto de la fertilización con P sobre su proporción en la hoja sólo se pone de manifiesto cuando es acompañado por la máxima dosis de N (tabla 4, pág. 68).

**Figura 3.** Relación entre contenidos de P foliar vs. producción de granos de los tratamientos de fertilización (valores medios)



**Tabla 3.** Producción de granos de maíz (humedad 14%) en kg/ha (Y) vs. contenidos de N, P y K foliares, g% (X). Promedios por tratamiento

Nutrimentos		Regresión	N = 8 y t/ha	r <sup>2</sup>
<b>N</b>	X <sub>1</sub> %g	1 599.947 + 4 680.734 X <sub>1</sub> Ec = 747.996	Ey = 663.5915	0.867136***
<b>P</b>	X <sub>2</sub> %g	-2 151.22 + 69 282.34 X <sub>2</sub> Ec = 29 937.716	Ey = 1 323.3266	0.471626**
<b>K</b>	X <sub>3</sub> %g	no significativa		0.010515
<b>Zn</b>	X <sub>4</sub> mg/kg	2651.556 + 286.127 X <sub>4</sub> Ec = 121.813	Ey = 1314.00	0.479046*
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	3 730.01 + 5 466.64 X <sub>1</sub> - 19 466 X <sub>2</sub> EcX <sub>1</sub> = 1 325.1405 ; EcX <sub>2</sub> = 26 594.301	Ey = 690.6875	0.880028**
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	64.885 + 5391.775 X <sub>1</sub> - 13184 X <sub>2</sub> + 1 745.582 X <sub>3</sub> EcX <sub>1</sub> = 1 404.213 ; EcX <sub>2</sub> = 29 526.236 ; EcX <sub>3</sub> = 2 522.124	Ey = 729.914	0.8928**
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	3 407.246 + 5 236.107 X <sub>1</sub> - 19 447 X <sub>2</sub> + 26.609 X <sub>3</sub> EcX <sub>1</sub> = 1 707.075 ; EcX <sub>2</sub> = 29 474.582 ; EcX <sub>4</sub> = 100.607	Ey = 765.7164	0.8821**
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	-12 761 + 7 831.272 X <sub>1</sub> + 15 248 X <sub>2</sub> + 9 711 X <sub>3</sub> - 321.389 X <sub>4</sub> EcX <sub>1</sub> = 2 477.339 ; EcX <sub>2</sub> = 37 229.892 ; EcX <sub>3</sub> = 7 212.659 ; EcX <sub>4</sub> = 274.258	Ey = 698.07199	0.92655**

Ec: Error estándar del coeficiente Ey: Error estándar de estimación.  
\* P = 0,05 ; \*\* P = 0,01 ; \*\*\* P = 0,001

**Tabla 4.** Significatividades estadísticas de las proporciones de nutrientes en hoja en función de los tratamientos de fertilización. SAS, P = 0.05 (Test de Tuckey)

Tratamientos	N	P g % sust. seca	K	Zn mg/kg
P <sub>0</sub>	1.524 c	0.171 c	1.626 a	28.07 ab
N <sub>0</sub> P <sub>80</sub>	1.587 c	0.183 cb	1.506 a	24.60 b
N <sub>100</sub> P <sub>0</sub>	1.983 b	0.180 cb	1.403 a	27.03 ab
N <sub>100</sub> P <sub>80</sub>	2.070 b	0.200 ab	1.300 a	25.44 b
N <sub>200</sub> P <sub>0</sub>	2.025 b	0.173 c	1.655 a	31.03 ab
N <sub>200</sub> P <sub>80</sub>	2.250 ab	0.203 ab	1.525 a	31.94 ab
N <sub>400</sub> P <sub>0</sub>	2.422 a	0.205 ab	1.411 a	31.33 ab
N <sub>400</sub> P <sub>80</sub>	2.3887 a	0.216 a	1.554 a	36.99 a

### 1.3 K foliar y rendimientos

La proporción de K en hojas no aparece correlacionada significativamente con los rendimientos de todo el ensayo ni con las medias de los tratamientos (tablas 1, pág. 64 y 2, pág. 65). Sin embargo, en la figura 4 (pág. 69) aparece un umbral de 1,5 g K %, como relacionado con las 5 parcelas cuyo rendimiento excede las 16,5 t/ha de grano.

### 1.4 Zn foliar y rendimiento medio de tratamientos

En las 96 parcelas que corresponden al total del ensayo, la dispersión de puntos es tal que aparentemente no existiría ningún grado de asociación entre contenidos de Zn foliar y rendimientos en grano. Pero si se consideran los rendimientos medios de cada uno de los ocho tratamientos de fertilización el análisis de regresión muestra un coeficiente de determinación similar al del P (tabla 3, pág. 67). El examen de la distribución de los puntos respectivos en la figura 5 (pág. 69) sugiere un umbral de ca. 30 mg/kg para rendimientos superiores a 12 000 kg/ha.

### 1.5 Regresiones múltiples con N, P, K y Zn

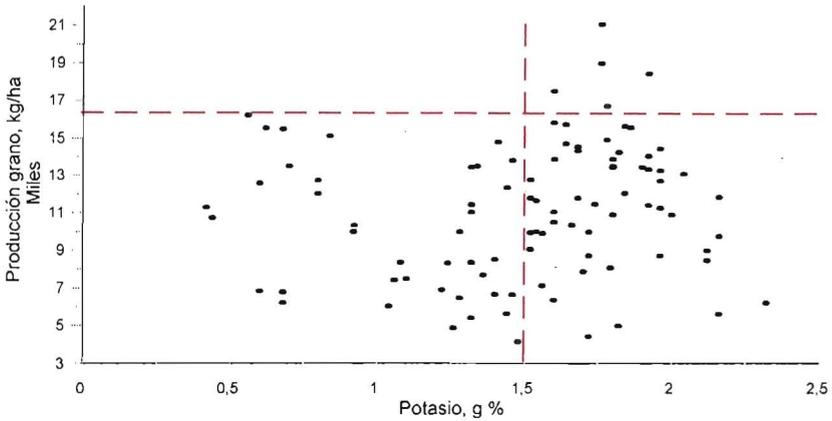
Conservando siempre al N y al P por ser las variables de mayor significatividad individual, se establecieron regresiones múltiples NP, NPK, NPZn y NPKZn, cuyas respectivas ecuaciones y coeficientes se muestran en la tabla 3 (pág. 67). Del examen de los respectivos valores surge que ninguna de esas regresiones supera en valor predictivo a la del N solo.

## 2. Diagnóstico foliar y producción de materia seca de rastrojos

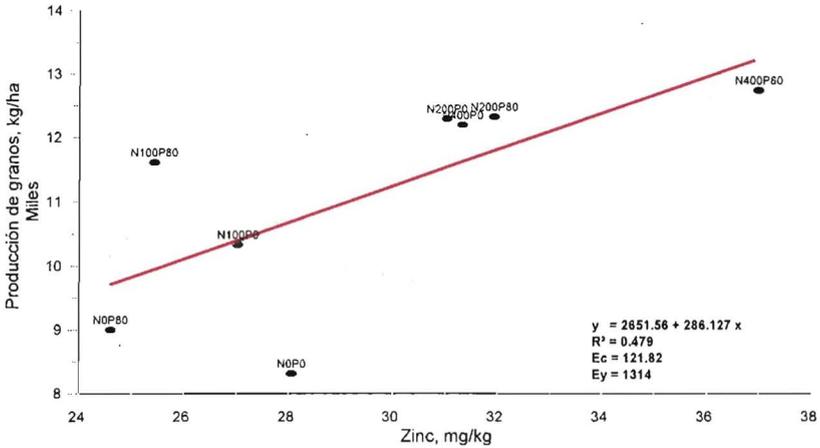
Del examen de las figuras 6 (pág. 69) y 7 (pág. 70) y las ecuaciones consignadas en la tabla 5 (pág. 70) surgen las siguientes consideraciones:

- En comparación con las regresiones establecidas con la producción de granos, se verifica un ligero aumento de los coeficientes de determinación individuales de N, P y Zn, manteniéndose el K como desprovisto de correlación de nivel significativo.

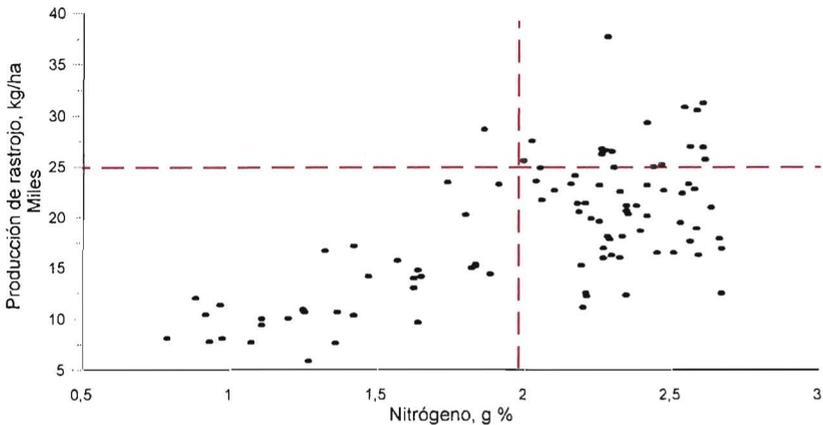
**Figura 4.** Contenido de K foliar vs. producción de granos en el total del ensayo (n = 96)

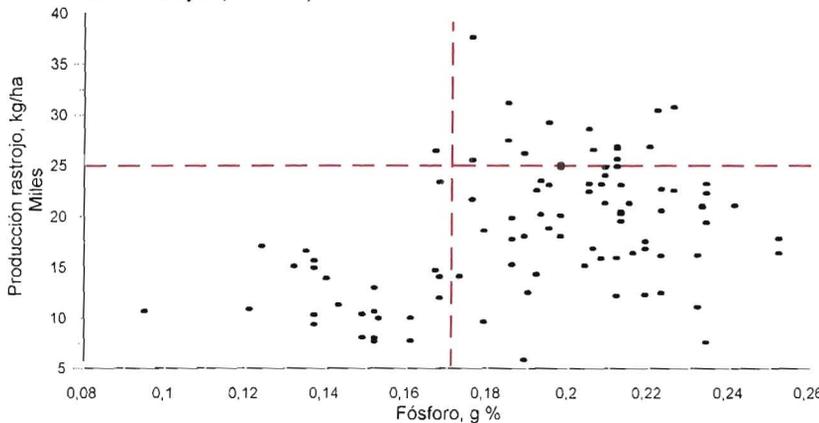


**Figura 5.** Relación entre contenido Zn foliar vs. producción de grano de los tratamientos de fertilización (valores medios)



**Figura 6.** Contenido de N foliar vs. producción de materia seca de rastrojos en el total del ensayo (n= 96)



**Figura 7.** Contenido de P foliar vs. producción de materia seca de rastrojos en el total del ensayo ( n = 96)

- b. El menor error de estimación se logra con la regresión que incluye al N y al P como variables independientes.
- c. La figura 6 (pág. 69), sugiere un umbral de contenido foliar de 2 g N % para rendimientos de rastrojo por encima de 25 000 kg/ha (14 kg/parcela) ; la figura 7 (pág. 70) insinúa un umbral de ca. 0.17 g P % para esa misma producción unitaria, mientras que, en el caso del K, la gran dispersión de puntos no permite deducir ningún valor crítico.

### 3. Valores de composición foliar asociados con máximos y mínimos rendimientos de granos y materia seca de rastrojos

Resumiendo resultados observados y discutidos en los apartados anteriores, (tabla 6, pág. 71) se consignan los valores de los nutrimentos asociados a los rendimientos máximos y mínimos de grano y materia seca de rastrojo y su comparación con datos de la bibliografía.

**Tabla 5.** Producción de materia seca de rastrojo de maíz kg/ha (Y) vs. contenidos de N, P, K y Zn foliares, g % (X)

Nutrimento	Regresión n = 96	r <sup>2</sup>
N	1.001055 + 4445.801 X Ec = 0.5451 Ey = 2.7380	0,437056 ***
P	1.74138 + 45.41524 X Ec = 10.3938 Ey = 3.3270	0,168819 ***
K	no significativa	0,017516
Zn	12 487 + 209.5048 X Ec = 55.915 Ey = 6078.422	0,129942 ***

Ec: Error estándar del coeficiente  
\* P = 0.05      \*\* P = 0.01

Ey: Error estándar de estimación  
\*\*\* P = 0.001

**Tabla 6.** Índices de composición foliar asociados a rendimientos máximos y mínimos observados en el ensayo de respuesta a la fertilización de maíz con riego optimizado en suelo Torrifluente típico

Elementos	Rendimiento		Melsted (1969)	Flannery (1982)
	máximo <sup>1</sup>	mínimo <sup>2</sup>	95 % del máximo	límites críticos
N g %	2.54	0.97	3.00	2.75
P g %	0.226	0.152	0.25	0.25
K g %	1.760	1.480	1.90	2.13
Ca g %	0.540	0.390	0.40	
Mg g %	0.160	0.160	0.2525	
Fe mg/ kg	158	109	15	
Zn mg/ kg	52	24	15	
Mn mg/ kg	88	27	5	
Cu mg /kg	17	5		
Relaciones			Walworth et al. (1983)	
P / N	0,089	0,1567	0.076 - 0.164	
N / K	1,628	0,655	1.053 - 1.873	
K / P	7,788	9,737	4.69 - 11.80	

1. Máximo: 21 t/ha de grano y 37.7 t/ha de sustancia seca de rastrojo.  
 2. Mínimo: 4.1 t/ha de grano y 5.9 t/ha de sustancia seca de rastrojo.

- Del examen de la tabla anterior surgen las siguientes consideraciones:
- Todos los nutrientes considerados, salvo el Mg de la parcela de máximo rendimiento, superan en valor absoluto a los correspondientes de la parcela de mínima producción. Dentro de los macronutrientes la diferencia relativa subraya la importancia del N (262 %), seguida por el P (149 %) y el K (119 %).
  - La comparación con los valores publicados por Melsted et al. (1969), citado por Gamboa (1980) que corresponderían al 95 % de la producción máxima, muestra que los obtenidos en este trabajo para la máxima producción son algo menores en cuanto a N, P, K y Mg, pero superiores en Ca y, notablemente, en todos los micronutrientes analizados. La misma diferencia se observa en la comparación con los límites críticos establecidos por Flannery (1982).
  - Es interesante consignar que Dara et al. (1992) concluyeron que para rendimientos superiores a 11 t/ha el valor correspondiente de concentración de N fue de 2.52 g %, prácticamente igual al encontrado por nosotros 2.54 g % en los máximos.
  - En cuanto a P, el óptimo encontrado por nosotros 0.226 g % (tabla 6, pág. 71) es muy similar al citado por Mallarino (1996) quien para una producción relativa por encima del 90 % de la potencialidad encontró un valor de 0.240 g P %.
  - En la comparación con los valores de relaciones nutricionales para hojas de maíz establecidos por Walworth et al. (1986), después de examinar alrededor de 8 500 muestras de todas las zonas productoras del mundo, surge que las relaciones P/N y P/K de nuestro ensayo, y en ambos extremos de rendimiento, están dentro de los rangos señalados por los autores citados, mientras que la relación N/K es menor que el límite inferior del rango correspondiente en la parcela de mínima productividad. Esto concuerda con la identificación del N como factor principal de la variabilidad de rendimientos analizada en este trabajo.

## CONCLUSIONES

En un ensayo de respuesta a la fertilización de maíz con riego optimizado se aprovechó esa variabilidad, ocurrida simultáneamente dentro de un mismo ambiente agroecológico, para establecer índices cuantitativos de valor diagnóstico relacionados con la composición foliar, así como la influencia de la fertilización sobre ésta. De acuerdo con este objetivo se analizaron hojas de las 96 parcelas componentes del ensayo, extraídas en una posición y fase vegetativa determinada las que se relacionaron en su composición química con las producciones de grano y de materia seca de rastrojo.

Las principales conclusiones a las que se arribó fueron:

- El factor más significativamente correlacionado con los rendimientos fue el N, observándose un umbral de 2 g N % para los rendimientos máximos. La fertilización nitrogenada se reflejó estadísticamente en la proporción de N en hoja.
- La influencia del tenor de P en hojas es menos significativa que la del N, pero manifiesta una interacción positiva con la primera dosis de N (100 kg/ha). La fertilización con P sólo se evidencia en su proporción en la hoja cuando se aplica conjuntamente con la máxima dosis de N.
- La proporción de K en hojas no se correlaciona significativamente ni con los rendimientos de todo el ensayo ni con las medias de los tratamientos, pero muestra un umbral de 1.6 g % en las 5 parcelas cuyo rendimiento excede las 16 t/ha de grano.
- El coeficiente de determinación de Zn en las ecuaciones de regresión vs. rendimiento es similar al del P, pero para producciones superiores a 12 t/ha se observa un umbral de ca. 30 mg/kg.
- Ninguna de las regresiones múltiples establecidas introduciendo P, Zn y K supera en valor predictivo a la del N solo.
- Se compararon los valores de nutrimentos asociados a los rendimientos máximos y mínimos de grano y materia seca de rastrojo con datos de la literatura, de lo que surgen las siguientes consideraciones:
  - En esta experiencia los nutrimentos considerados, salvo el Mg, de la parcela de máximo rendimiento, superan en valor absoluto a los correspondientes de la parcela de mínima producción. Dentro de los macronutrimentos la diferencia relativa entre ambas situaciones (262 %) subraya la importancia del N, seguida por el P (149 %) y el K (119 %).
  - La comparación con otros valores publicados muestra que los obtenidos en este trabajo para la máxima producción son algo menores en cuanto a N, P, K y Mg, pero superiores en Ca y en todos los micronutrimentos analizados.
  - En la comparación con los valores de relaciones nutricionales para hojas de maíz surge que las relaciones P/N y P/K de nuestro ensayo, y en ambos extremos de rendimiento, están dentro de los rangos señalados por otros autores, mientras que la relación N/K es menor que el límite inferior en la parcela de mínima productividad.

- La composición foliar asociada con los máximos rendimientos de grano (ca. 21 t/ha) y de materia seca de rastrojos (37.7 t/ha) y con los mínimos (4.1 t grano/ha y 5.9 t rastrojo/ha) fue, respectivamente:
- |                         |                          |                         |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <b>N</b> 2.54-0.97 g %  | <b>P</b> 0.226-0.152 g % | <b>K</b> 1.76-1.48 g %  |
| <b>Ca</b> 0.54-0.39 g % | <b>Mg</b> 0.16-0.16 g %  | <b>Fe</b> 158-109 mg/kg |
| <b>Zn</b> 52-24 mg/kg   | <b>Mn</b> 88-27 mg/kg    | <b>Cu</b> 17-5 mg/kg    |

## REFERENCIAS

- Chambouleyrón, J. y Nijensohn L. 1968. Respuesta del maíz a diferentes regimenes de riego en suelo franco de Chacras de Coria, Luján, Mendoza. Actas del III Congreso Nacional del Agua, separata 294-310, San Juan.
- Dara Sted, T., P. E. Fixen y R. H. Gelderman. 1992. Sufficient level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. Vol. 84. N° 6: 1006 -1010.
- Flannery, R. L. 1982. Maximum yield research with corn and soybeans Ney Jersey in 1980. Phosphorus in Agriculture. ISMA Ltd, Paris. 36th year. March (82): 23-30.
- Gamboa, A. 1980. Maíz: Fertilización-rendimientos elevados. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. Boletín 1-5, 72 pp.
- Jones, B. J. and Eck, H. V. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizin corn and grain sorghum. In Leo M. Walsh and James D. Beato (editors). *Soil Testing and Plant Analysis*. Revised Edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison, USA. p.165.
- Mallarino, Antonio P. 1996. Evaluation of optimum and above - optimum phosphorus supplies for corn by analysis of plant parts. *Agronomy Journal*. Vol. 88. N° 3: 376 - 380.
- Nijensohn, L., Olmos, F. S. y Pizarro, O. C. 1965. The concept of "Actual Field Capacity" and its applications of fertilizers experiments under irrigation. *Transaction of the VII International Congress of Soil Science*, Comm. I & VI, II:463-469, Bucarest, Rumania.
- Rearte, E., Ciancaglini, N., Nijensohn, L. y Maffei, J. A. 1986. Respuesta a la fertilización y riego controlado de maíces dentados y colorado duros. In Libro de resúmenes de trabajos expuestos en las X Jornadas de Investigación de la Universidad Nacional de Cuyo, Resumen N° 138, editado por CIUNC, Mendoza.
- Walworth, J. L., Letzsch, W. S. and Sumner, M. E. 1986. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 123-128.

No se consignan otras citas bibliográficas para no extender el texto.



### **Estadísticas vitivinícolas de la provincia de Mendoza, Argentina**

Superficie cultivada:	150 000 ha
Cantidad de bodegas:	1 221
Producción anual de vino:	10 000 000 hl

Mendoza produce el 70 % de las uvas finas del país. Dado la diversidad de suelos y microclimas se obtienen excelentes productos varietales, para consumo interno y exportación.