

RESPUESTA AL AGREGADO DE CLORURO DE POTASIO EN TRIGO EN SUELOS ARGIUDOLES DEL NORTE DE BUENOS AIRES Y SUR DE SANTA FE. RESULTADOS DE CUATRO AÑOS DE EXPERIENCIAS.

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris⁽¹⁾ y Lucrecia Couretot⁽¹⁾ y Adolfo Caamaño⁽²⁾

(1) Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino

*(2) Asesor privado, Departamento técnico Cooperativa Agrícola de Ramallo Ltda., Programa Cambio Rural INTA
nferraris@pergamino.inta.gov.ar*

El rendimiento, la calidad comercial y la tolerancia o resistencia a enfermedades son el objetivo central en los programas de mejoramiento genético (Calzolari et al., 1997; Calzolari y Polidoro, 2004). Sin embargo, estos factores son afectados también por el ambiente y por prácticas de manejo (McCaig, 1997) como la nutrición del cultivo. Los nutrientes ejercen efectos indirectos sobre la sanidad del cultivo a través de una mejora de los procesos de crecimiento, y también en algunos casos efectos directos. Este sería el caso de los cloruros, los cuales actúan de manera directa a través de un efecto fungicida y fungistático (Fixen et al., 1986, Fixen, 1993).

En algunos sitios de la Región Pampeana Argentina se determinaron respuesta por el agregado de cloruros en trigo, utilizando como fuente cloruro de potasio. En 9 de Julio (Ventimiglia et al., 2003) y en América-Villegas (Díaz Zorita et al., 2004; Díaz Zorita, 2008) las diferencias de rendimiento fueron independientes del perfil sanitario de la variedad o el uso de fungicidas. En cambio, en otras localidades ubicadas más al norte y sobre suelos del tipo de los Argiudoles como Pergamino (Ferraris y Couretot, 2006, Ferraris et al., 2008) u Oliveros (Salvagiotti et al., 2005, Castellarín et al., 2008) la respuesta fue asociada mayormente a la utilización de variedades susceptibles a Roya anaranjada de la hoja (*Puccinia recóndita*) o manchas foliares. Si bien estos trabajos no han profundizado en explicar los procesos fisiológicos involucrados, de manera indirecta existe evidencia que permitiría atribuir la respuesta a un mejor comportamiento sanitario.

El objetivo de esta experiencia fue generar información respecto de la respuesta del trigo al agregado de cloruros bajo diferentes situaciones de cultivo, y ajustar dosis óptimas de aplicación. Como consecuencia, se plantean las siguientes hipótesis:

1. El trigo responde a la aplicación de Cl en la región pampeana.
2. Dentro del rango evaluado en estas investigaciones, la magnitud de la respuesta es afectada por la dosis. A mayores dosis, se esperan mayores respuestas.
3. El efecto del cloro sobre la producción de trigo se explica por una menor incidencia de enfermedades de hoja.
3. El efecto del cloro depende del cultivar sembrado y de la estrategia de control químico de enfermedades implementada.

Materiales y Métodos

Durante los años 2005, 2006, 2007 y 2008 se condujeron 9 experimentos en el norte de Buenos Aires (8) y Sur de Santa Fe (1). Algunas características salientes de los sitios experimentales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Características salientes de los sitios experimentales. Evaluación de dosis crecientes de cloruro de potasio en trigo. Años 2005, 2006, 2007 y 2008.

Genotipo	Pergamino 2005	Pergamino 2006	Pergamino 2007 CL	Pergamino 2007 CC	Ww 2007
Sitio y partido	Rancagua Pergamino	INTA Perg Pergamino	INTA Perg Pergamino	INTA Perg Pergamino	Wheelwright Gral López
Serie de Suelo	Pergamino	Pergamino	Pergamino	Pergamino	Hughes
Tipo de Suelo	Arg. típico	Arg. típico	Arg. típico	Arg. típico	Arg. típico
Fecha de siembra	11-Junio	22-Julio	13-Junio	26-Junio	1-Julio
Variedad	Baguette 11 P. Gaucho	K. Chajá Baguette 13	Baguette 11	DM Cronox	DM Cronox
Niveles de infección Roya anaranjada	B11: Bajo PGau: Alto	KCh: Bajo B13: Moderado a Alto	Bajo a Moderado	Alto	Alto
Niveles de infección Manchas foliares	B11: Bajo PGau: Moderado	KCh: Alto B13: Bajo a Moderado	Bajo	Moderado	Moderado
Efectos estudiados	Dosis KCl Variedades Fungicidas	Dosis KCl Variedades Fungicidas	Dosis KCl	Dosis KCl	Dosis KCl
Aplicación de fungicida	Ambas situaciones	Ambas situaciones	No	Si	Si

Genotipo	Ramallo 2007	Santa Lucía 2007	Pergamino 2008	La Trinidad 2008
Sitio y partido	Villa Ramallo Ramallo	Santa Lucía San Pedro	INTA Pergamino Pergamino	EAS La Trinidad General Arenales
Serie de Suelo	Ramallo	Portela	Pergamino	Rojas
Tipo de Suelo	Arg. vértico	Arg. vértico	Arg. típico	Arg. Típico
Fecha de siembra	8-Junio	25-Julio	27-Junio	10-Julio
Variedad	K. Escorpión	K. Escorpión	Baguette 11	K. Chajá
Niveles de infección Roya anaranjada	Bajo a Moderado	Bajo a Moderado	No se registró	No se registró
Niveles de infección Manchas foliares	Alto	Alto	Moderado a Alto	Moderado a Alto
Efectos estudiados	Dosis KCl	Dosis KCl	Dosis KCl	Dosis KCl
Aplicación de fungicida	Si	No	No	No

CL= Ciclo largo CC=Ciclo corto

Los ensayos fueron conducidos con un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos comunes a todos los sitios se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2: Tratamientos evaluados en el ensayo

No.	Dosis KCl
T1	KCl 0 kg ha ⁻¹
T2	KCl 50 kg ha ⁻¹
T3	KCl 100 kg ha ⁻¹
T4	KCl 150 kg ha ⁻¹

Como fuente se utilizó Cloruro de Potasio (0-0-0- K50–Cl 46) aplicado al voleo al momento de la siembra. Previamente, se realizaron análisis de suelo, y los ensayos fueron fertilizados con N, P y S de modo de no limitar los rendimientos del cultivo (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis de suelo y dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) aplicadas como fertilizante al momento de la siembra para las localidades de ensayo. Datos promedio de tres repeticiones. Años 2005, 2006, 2007 y 2008.

Genotipo	Pergamino 2005	Pergamino 2006	Pergamino 2007 CL	Pergamino 2007 CC	Ww 2007	Ramallo 2007	Santa Lucía 2007	Pergamino 2008	La Trinidad 2008
MO (%)	2,9	3,1	2,8	2,7	3,7	2,7	2,9	3,5	3,3
P Bray (mg kg ⁻¹)	12	18	24	24	69	7,1	4,8	31,2	8,1
N suelo+ fert	134	151	180	151	187	125	125	173	157
Dosis aplicada de P (kg ha ⁻¹)	20	20	28	18	23	40	40	30	15
Dosis aplicada de S (kg ha ⁻¹)	20	20	19	13	10	20	20	7	18
Cl- (mg kg ⁻¹ 0-20 cm)	8,2	8,0	8,3	9,7	6,2	6,6	9,2	7,9	7,1
Cl- (mg kg ⁻¹ 20-40 cm)	8,2		8,0	12,1	6,5	6,2	7,7	7,0	6,5
Cl- (mg kg ⁻¹ 40-60 cm)	8,2		9,9	12,7	7,1	6,5	9,3	7,1	6,3
pH	6,2	5,7	5,9	5,7	5,6	6,2	6,0	6,1	6,0
Almacenaje de agua a la siembra	bueno	bueno	excelente	muy bueno	excelente	muy bueno	muy bueno	Escaso	Muy escaso
Condición física del suelo	regular	muy buena	muy buena	muy buena	excelente	bueno	regular	bueno	muy buena

En los ensayos de 2005 y 2006, además de la respuesta a dosis de KCl, se estudió su interacción con genotipos caracterizados por su diferente perfil sanitario, y con la aplicación o no de fungicidas en el estado de hoja bandera expandida (Zadoks 39, Zadoks et al, 1974). Entre las determinaciones efectuadas, se realizó una evaluación de enfermedades, determinado como área ocupada por cada una de ellas y área verde remanente, expresado en porcentaje. En la evaluación se consideró la hoja bandera y prebandera. Mediante cosecha manual y trilla estacionaria se determinó el rendimiento, el cual fue corregido a humedad uniforme del 13%. Para el análisis de los resultados se utilizaron procedimientos de regresión y análisis de la varianza.

Resultados y discusión:

A) Caracterización agroclimática

Los ciclos 2005, 2006 y 2007 se caracterizaron por ser buenas campañas agrícolas, con un elevado coeficiente fototermal y ausencia de limitantes severas a la productividad, como la fusariosis de la espiga y el arrebato por altas temperaturas durante el llenado de los granos (Tabla 4). Las precipitaciones (Figura 1) si bien no abundantes, no limitaron los rendimientos ya que el almacenaje de agua a la siembra fue siempre entre normal y bueno. En cambio, el ciclo 2008 fue extremadamente seco, lo cual sumado al pobre almacenaje inicial a causa de las escasísimas lluvias otoñales previas, desencadenó una situación de déficit hídrico que perjudicó severamente los rendimientos.

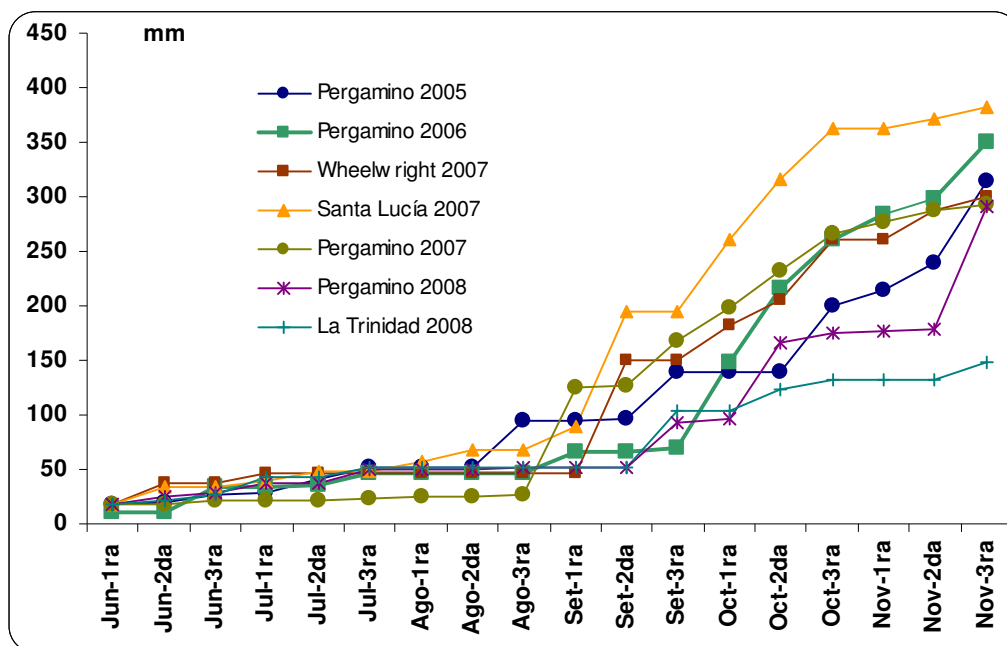


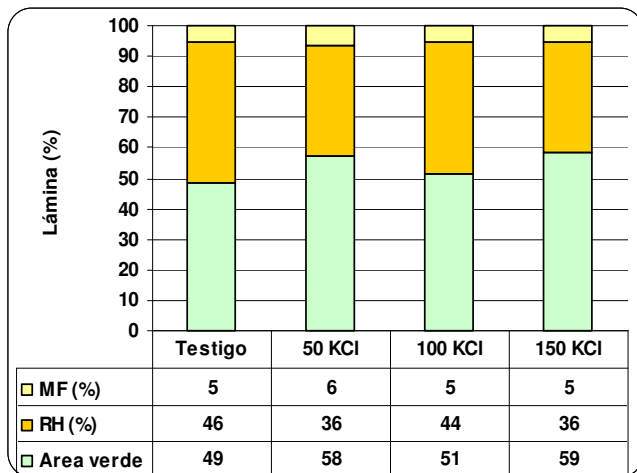
Figura 1: Precipitaciones decádicas para las localidades de ensayo durante los años 2005, 2006, 2007 y 2008.

Tabla 4: Insolación efectiva (hs), temperatura media (C°) y cociente fototermal Q (T base 0°C) para el período de 15 de setiembre al 15 de Octubre en la localidad de Pergamino durante los años 2005 a 2008.

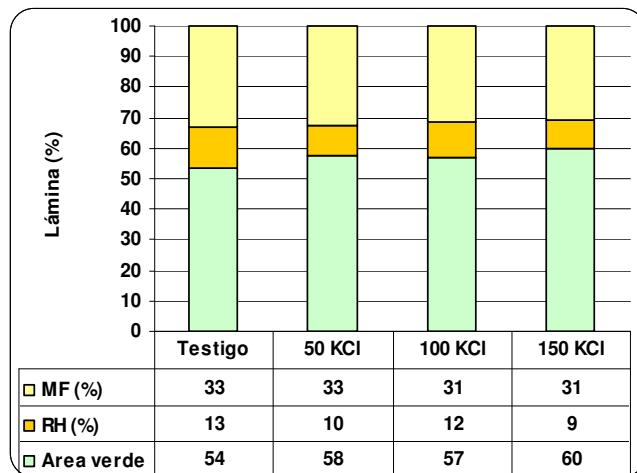
Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9
T media del período °C	15,1	17,1	15,0	16,4
Cociente fototermal (Q) (Mj m ⁻² día ⁻¹ °C ⁻¹)	1,24	1,10	1,12	1,10

B) Comportamiento a enfermedades

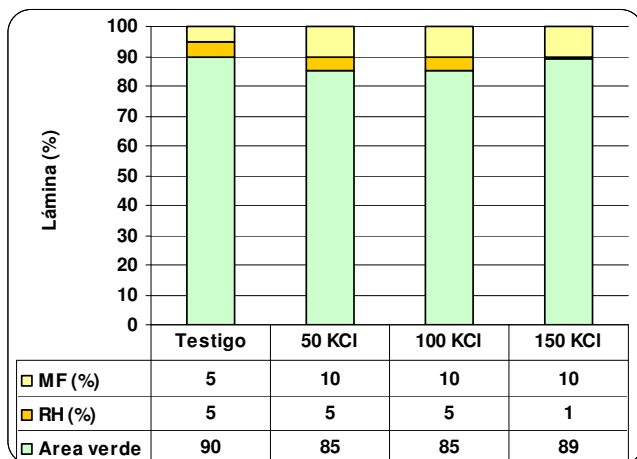
La aplicación de cloruro de potasio mejoró el comportamiento sanitario, lo cual se manifestó en un ligero incremento del porcentaje de área foliar libre de enfermedades. Este comportamiento fue puesto en evidencia anteriormente por otros investigadores (Fixen et al., 1987; Christensen et al., 1990). En los cultivares susceptibles a algunas de las enfermedades más severas i.e. Roya anaranjada de la hoja, la mejora en la sanidad fue insuficiente como para justificar la no aplicación de fungicidas, pero permitiría al cultivo llegar en un mejor estado al momento óptimo de control. Asimismo, el efecto positivo sobre la sanidad fue de menor impacto al logrado con la selección de variedades tolerantes o el uso de fungicidas, cuando estos efectos fueron analizados.



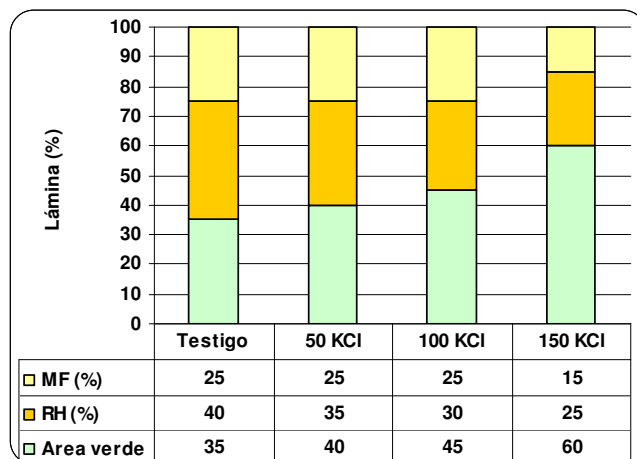
Pergamino 2005 Zadoks 71- 75



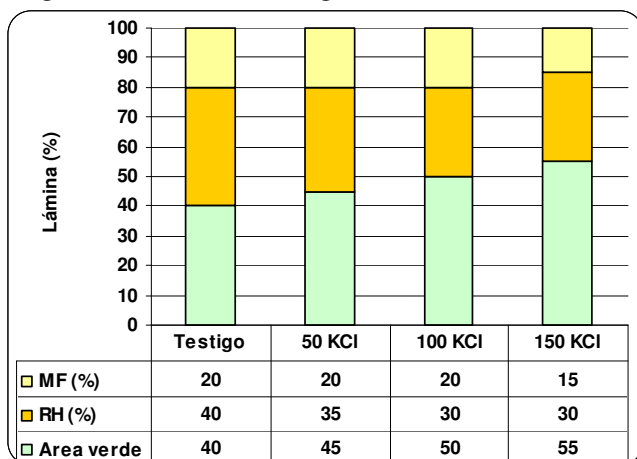
Pergamino 2006 Zadoks 71



Pergamino 2007 Ciclo largo Zadoks 71



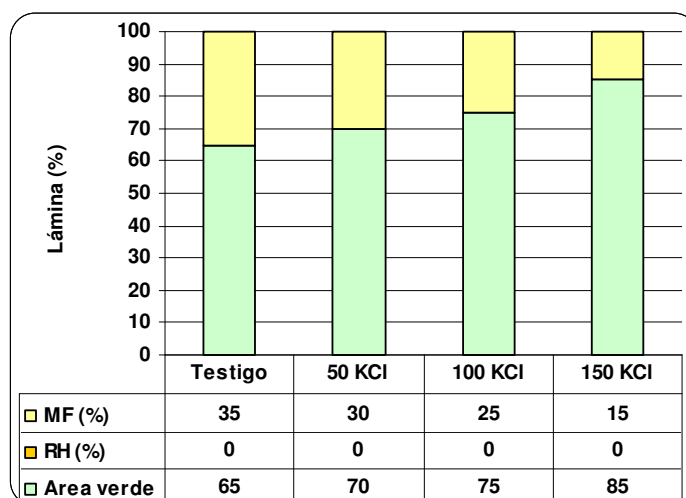
Pergamino 2007 Ciclo corto Zadoks 75



Wheelwright 2007 Zadoks 65



Pergamino 2008 Zadoks 65



La Trinidad 2008 Zadoks 65

Figura 2: Área foliar remanente (área verde) y ocupada por manchas foliares (MF: *Drechslera tritici* *repentis* y *Septoti tritici*) y Roya anaranjada de la hoja (RH *Puccinia recóndita*) entre los estados Zadoks 65 (antes) a Zadoks 75 (grano lechoso) en trigo. Para Pergamino 2005 y 2006, los resultados son promedio de dos variedades, con o sin aplicación de fungicida.

C) Efecto sobre los rendimientos

Durante las campañas 2005 y 2006 (Tabla 5), se determinó efecto significativo de variedad y dosis de cloruros sobre los rendimientos ($P < 0,05$). En 2006 se registró además, efecto del uso de fungicida. No se observó en cambio interacción significativa entre el uso de cloruros y el resto de las variables.

Tabla 5: Análisis estadístico (ANOVA) para rendimiento del uso de cloruros y su interacción con el genotipo y el uso de fungicidas.

Fertilización	Pergamino 2005	Pergamino 2006
Variedad	0,000	0,001
Fungicida	0,000	0,466 n.s.
Dosis KCl	0,006	0,010
Variedad x Fungicida	0,632 n.s.	0,035
Fungicida x Dosis KCl	0,660 n.s.	0,810 n.s.
Variedad x Dosis KCl	0,276 n.s.	0,100 n.s.
Variedad x Fungicida x Dosis KCl	0,632 n.s.	0,888 n.s.
Coef de variación	8,5	8,2

Tomando el conjunto de los ensayos se puede estudiar la interacción sitio por tratamiento. Para realizar este análisis, en los ensayos de Pergamino 2005 y 2006 se tuvo en cuenta la dosis de cloruros pero no el efecto variedad o fungicida, al no presentar interacción con la respuesta a cloruros (Tabla 6). Del análisis se desprende que hubo efecto de sitio y dosis de cloruros sobre los rendimientos. La interacción sitio x tratamiento estuvo en el límite de la significancia estadística.

Tabla 6: Análisis estadístico (ANOVA) para rendimiento de la interacción sitio de ensayo y dosis de cloruros. Años 2005, 2006, 2007 y 2008.

Variables en estudio	Valor de P=
Sitio	0,000
Dosis KCl	0,000
Sitio x Dosis KCl	0,0905
Coef de variación	8,79 %

El análisis de rendimiento por sitio por sitio indica que en los experimentos de Pergamino 2005, Pergamino 2006, Pergamino 2007 CC y Wheelwright 2007 se determinaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 7). En Pergamino 2005 y Wheelwright 2007 la dosis de 50 kg ha⁻¹ de fertilizante permitió alcanzar un rendimiento que no difirió del máximo (Figuras 3.a y 3.e). El análisis conjunto de la red arrojó un resultado similar (Figura 3.j). En cambio, en Pergamino 2006 se observó respuesta a dosis alcanzando el máximo estadístico las dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ (Figura 3.b). Esta última superó los rendimientos de la dosis de 50 kg de KCl. El ensayo Pergamino 2007CC fue el de mayor respuesta relativa y a la vez significativa (Tabla 7), siendo la dosis de 150 kg superior al testigo (Figura 3.d). En 2008, la escasez de humedad disminuyó e introdujo variabilidad en los rendimientos. Si bien los tratamientos fertilizados rindieron más que los testigos, esta variabilidad hizo que la respuesta no fuese significativa (Figura 3.h,i).

La respuesta media del conjunto de los sitios fue de un 8 % (Rendimiento Relativo de KCl 0=0,92), siendo el rango de respuesta entre 0 y 20 % (Tabla 7 y Figura 3.j).

Tabla 7: Rendimientos medios y análisis estadístico por sitio (ANOVA) del efecto de dosis crecientes de cloruros en trigo. Años 2005, 2006, 2007 y 2008.

Dosis KCl	Pergamino 2005	Pergamino 2006	Pergamino 2007 CL	Pergamino 2007 CC	Ww 2007	Ramallo 2007	Santa Lucía 2007	Pergamino 2008	La Trinidad 2008	Media
KCl 0	4479	3316	4974	4995	4837	4944	4250	1334	2450	4141
KCl 50	4955	3497	4801	5638	5767	4889	4217	1719	2820	4435
KCl 100	5036	3574	5350	5577	4785	5000	4233	1595	2517	4394
KCl 150	5045	3744	5157	6263	4970	5033	4267	1723	2711	4525
Valor de P=	0,048	0,01	0,10	0,04	0,01	0,23	0,86	0,52	0,41	0,05
CV (%)=	11,2	8,3	5,6	9,1	5,2	1,6	1,8	21,7	10,6	2,7
RR (Kl 0 /maximo)	0,89	0,89	0,93	0,80	0,84	1,00	0,98	0,77	0,87	0,92
Rend Máximo	KCl 150	KCl 150	KCl 100	KCl 150	KCl 50	KCl 150	KCl 150	KCl 150	KCl 50	KCl 150

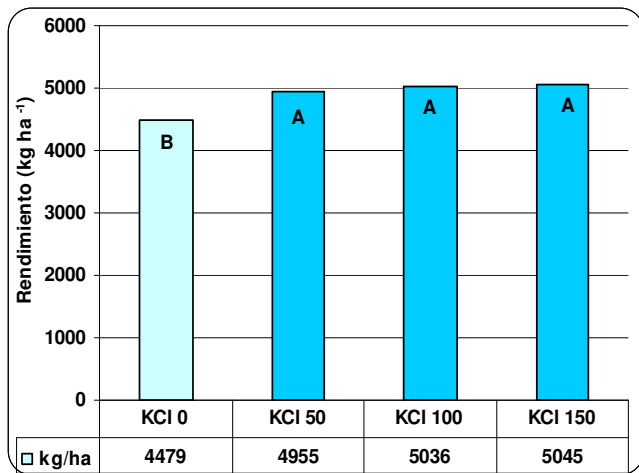


Figura 3.a Pergamino 2005

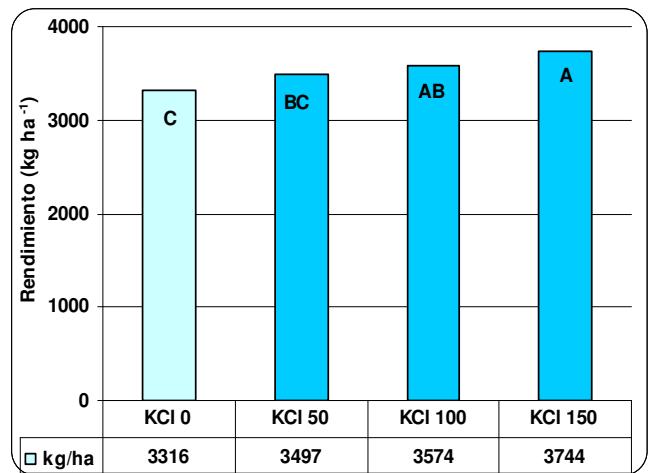


Figura 3.b Pergamino 2006

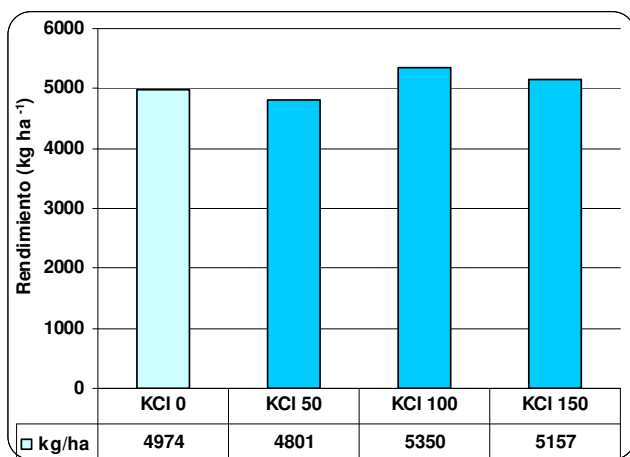


Figura 3.c Pergamino 2007 ciclo largo

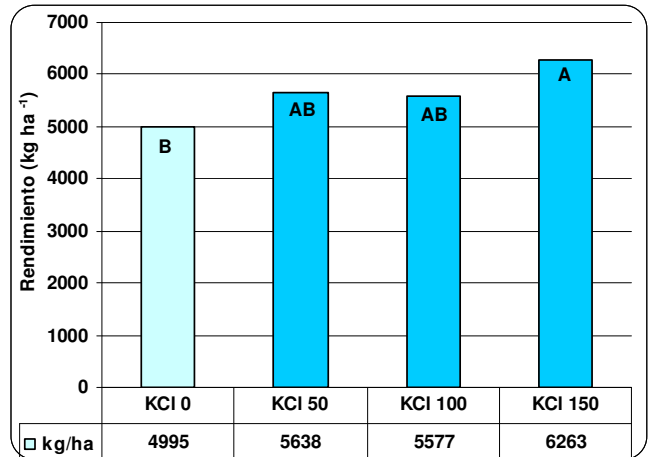


Figura 3.d Pergamino 2007 ciclo corto

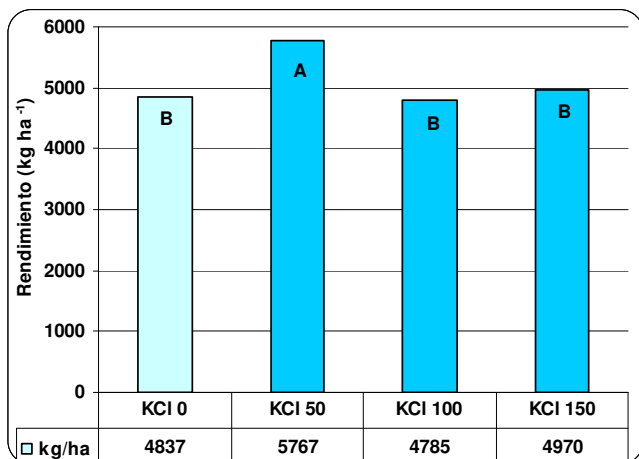


Figura 3.e Wheelwright 2007

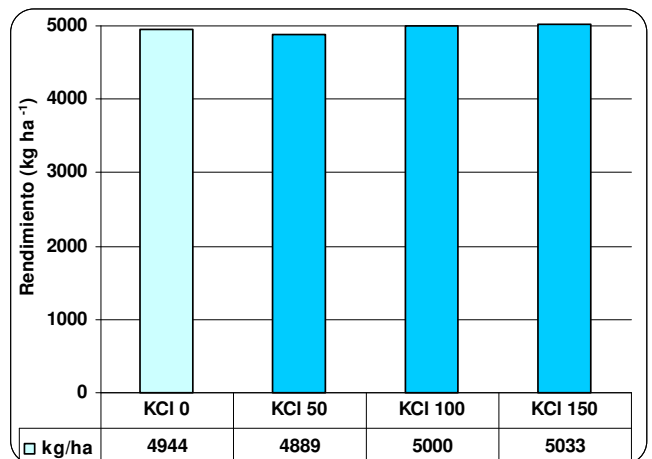


Figura 3.f Ramallo 2007

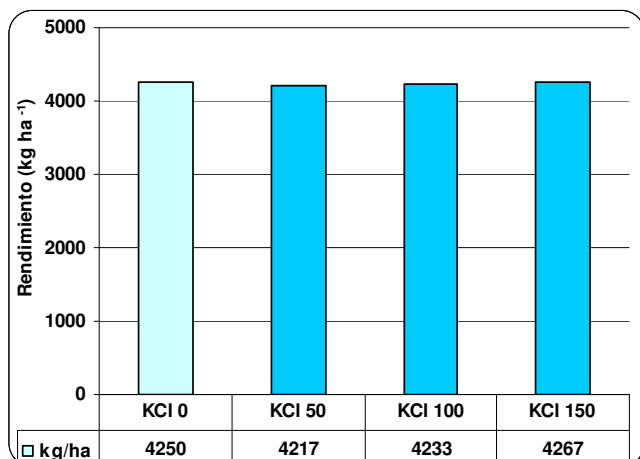


Figura 3.g Santa Lucía 2007

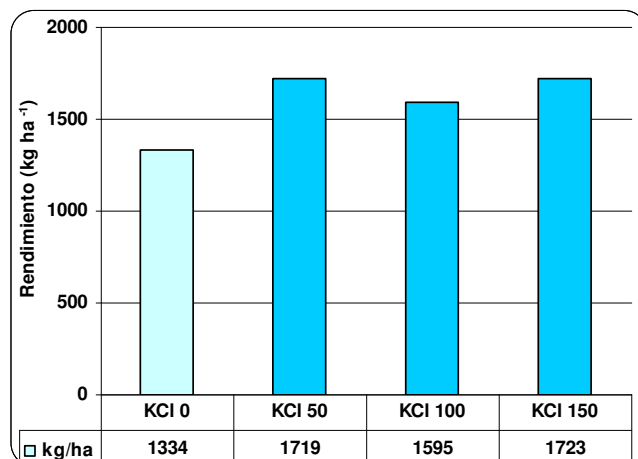


Figura 3.h Pergamino 2008.

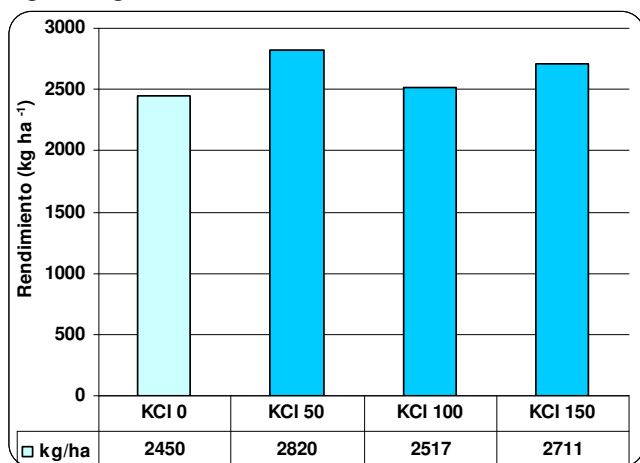


Figura 3.i La Trinidad 2008

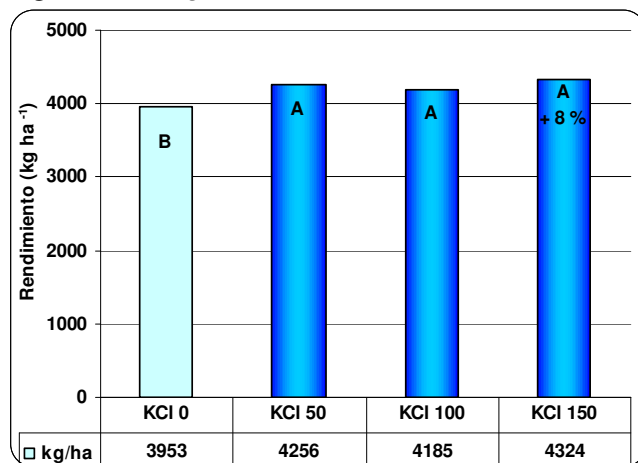


Figura 3.j Promedio todos los sitios.

Figura 3: Rendimiento de grano por sitio como resultado de la aplicación de diferentes dosis de cloruro de potasio en Trigo. Letras diferentes en las columnas indican, para ese sitio, diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$).

Si se establece una relación entre rendimiento relativo y dosis de cloruros, se observa que aquellos se incrementan hasta la dosis máxima evaluada en estos experimentos (Figura 4). Díaz Zorita (2008) describió una función similar para el Oeste bonaerense, con máximos rendimientos para la dosis de 100 kg KCl ha⁻¹. De igual manera, se pudo determinar una tendencia positiva de bajo ajuste entre rendimiento y la disponibilidad de cloruros, sumando los contenidos en el suelo y la dosis agregada por fertilización (Figura 5). Los ensayos de 2008 (círculos vacíos) salen de esta tendencia y alcanzan rendimientos menores a los esperados para la dotación de cloruros determinada en el ensayo.

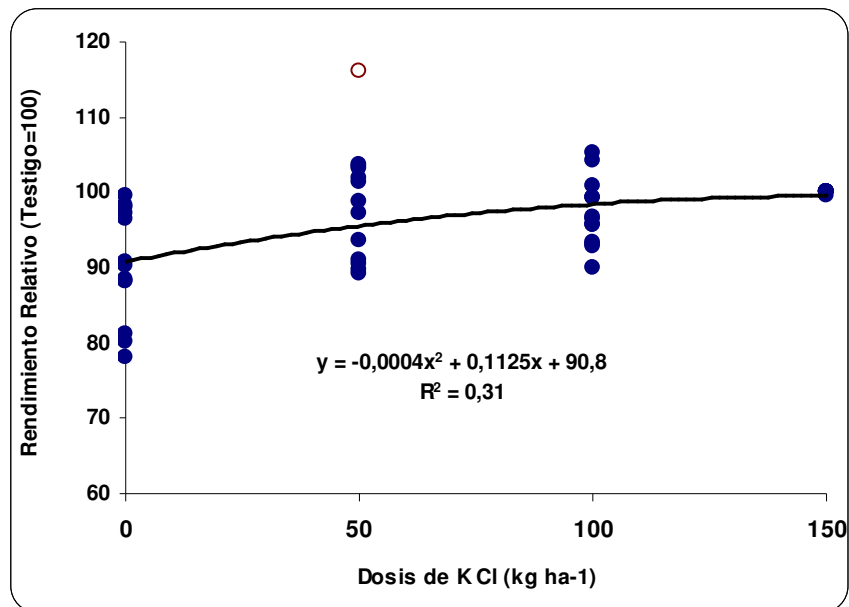


Figura 4: Relación entre los rendimientos relativos ($[\text{Rendimiento dosis} / \text{rendimiento dosis máxima}] * 100$) y la dosis empleada de Cloruro de Potasio. Cada punto es media de 3-4 repeticiones. El círculo vacío no fue incluido en el análisis por considerarse estadísticamente fuera de tendencia. La reducción de la escala sobre las ordenadas es a fin de visualizar la pendiente de la relación ajustada.

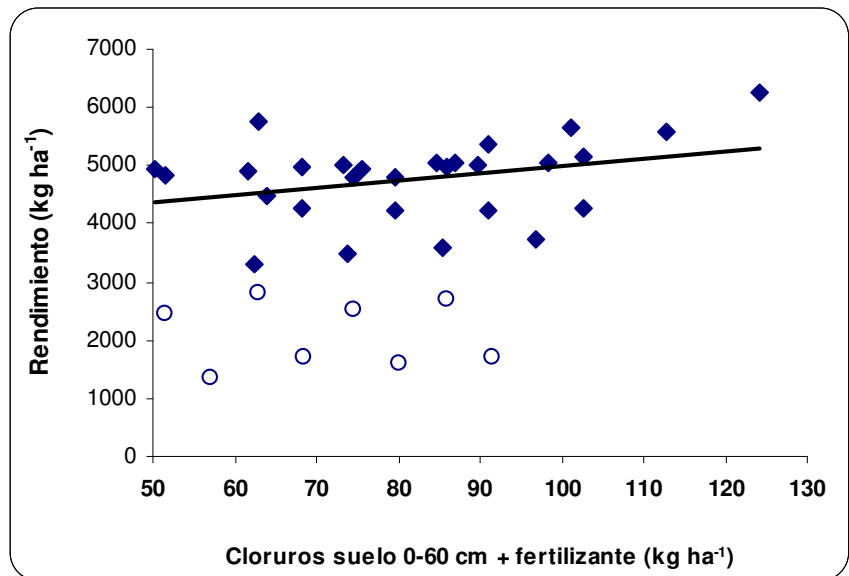


Figura 5: Rendimiento de trigo y disponibilidad de cloruros (suelo 0-60 cm + fertilizante) en trigo. Cada punto es media de 3-4 repeticiones. Símbolos llenos corresponden a los años 2005, 2006 y 2007, símbolos vacíos a 2008. La pendiente de la recta representa la tendencia de los tres primeros años.

Conclusiones:

*La aplicación de cloruro de potasio aumentó el porcentaje de área foliar libre de enfermedades, sin que el efecto alcanzara para suprimir el uso de fungicidas en cultivares susceptibles.

*En cuatro de nueve ensayos el uso de cloruros incrementó los rendimientos significativamente. En tres de estos experimentos, se alcanzó el rendimiento máximo con la dosis de 150 kg ha^{-1} .

*No se determinó interacción entre la respuesta a cloruros y el genotipo sembrado o el uso de fungicidas, lo que sugiere la posibilidad de identificar ambientes de respuesta en una amplia variedad de situaciones.

*Los resultados obtenidos en cuatro años de investigaciones permiten **aceptar parcialmente** las hipótesis 1 –existe respuesta a cloruros- y 3-respuesta positiva explicada en un mejor comportamiento sanitario-, **aceptar** la hipótesis 2 –la magnitud de la respuesta es afectada por la dosis, y 2 En cambio, la hipótesis 3 – la respuesta depende del cultivar y el uso de fungicida- **no pudo ser demostrada**.

Bibliografía:

***Calzolari, A., O. Polidoro y H. Conta.** 1997. La evaluación de la producción de trigo en la EEA Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA EEA Pergamino. II (4): 45-48.

***Calzolari, A. y O. Polidoro.** 2004. La calidad del trigo en Argentina. Sus características en las diferentes regiones trigueras. Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA EEA Pergamino. IX (26): 31-32.

***Castellarín, J., F. Ferraguti, H. Pedrol y F. Salvagiotti.** 2008. Fertilización con cloro y potasio en el cultivo de trigo en el sur de Santa Fe. En: Seminario “El cloruro de potasio en la agricultura de Argentina y Uruguay” IPNI Cono Sur-Canpotex. Campana, Julio de 2008. disponible on line: www.ppi-far.org

***Christensen N., M. Brett, J. Hart y D. Weller.** 1990. Disease dynamics and yield of wheat as affected by take all, N sources, and fluorescent Pseudomonas. Trans. Int. Congr. Soil Sci., 14 (3):10-15.

***Ferraris G. y L. Couretot.** 2006. Estudio de la interacción entre variedades y prácticas de manejo de enfermedades. Sitio Pergamino. En: “Fertilidad 2007. Bases para el Manejo de la Nutrición de los cultivos y los suelos”. IPNI-Fertilizar Asoc. Civil, Rosario 10 y 11 de Mayo, 2007. 160 pp.

***Ferraris, G., L. Couretot y A. Caamaño.** 2008. “Fertilización con Cloruros en el norte de Bs As. Efectos sobre la sanidad y los rendimientos de los cultivos”. En: Seminario “El cloruro de potasio en la agricultura de Argentina y Uruguay” IPNI Cono Sur-Canpotex. Campana, Julio de 2008. disponible on line: www.ppi-far.org

***Fixen P.E., G.W. Buchenau, R.H. Gelderman, T.E. Schumacher, J.R. Gerwing, F.A. Cholick y B.G. Farber.** 1986. Influence of soil and applied chloride on several wheat parameters. Agron. J. 78:736-740.

***Fixen P., R. Gelderman, J. Gerwing y B. Farber.** 1987. Calibration and implementation of a soil Cl test. J.Fert. Issues 4:91-94.

***Fixen P.E.** 1993. Crop responses to chloride. Advances in Agronomy. 50: 107-150.

***Díaz Zorita M., G. Duarte y M. Barraco.** 2004. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy pampas region, Argentina. Agronomy Journal, 96:839-844.

* **Díaz Zorita.** 2008. Cloro en trigo en el oeste de la región pampeana. En: Seminario “El cloruro de potasio en la agricultura de Argentina y Uruguay” IPNI Cono Sur-Canpotex. Campana, Julio de 2008. disponible on line: www.ppi-far.org

Mc Caig, T. 1997. Temperatura and precipitación effects on durum wheat grown in southern Saskatchewan for fifty years. Canadian Journal of Plant Science. 77 (2): 215-223.

***Salvagiotti F., J. Castellarín, H. Pedrol, M. González y M. Incremona.** 2005. Efecto de la fertilización con potasio y cloro sobre el rendimiento y la severidad de las enfermedades foliares en trigo. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur, INPOFOS. 26: 16-19.

***Ventimiglia L., S. Rillo, H. Carta y P. Richmond.** 2003. Evaluación de la fertilización con cloro y potasio sobre el rendimiento de trigo en 9 de Julio. En: Experimentación en campo de productores. Resultados campaña 2002/2003: 53-58. UEEA 9 de Julio, INTA

***Zadoks J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak.** 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.

Agradecimientos

A IPNI Cono Sur (Instituto Internacional de Nutrición de Plantas - Programa Latinoamérica Cono Sur), y a sus miembros regionales, el Dr. Fernando García y el Ing Ignacio Ciampitti, por su invaluable apoyo al desarrollo de esta experiencia.