

TOLERANCIA DIFERENCIAL DE CULTIVARES DE TRIGO AL ALUMINIO¹

Differential aluminium tolerance among wheat cultivars

Juan A. Jungjohann S.², Luis Longeri S.³ e Iván Vidal P.³

S U M M A R Y

The relative aluminium tolerance of 48 commercial Chilean wheat cultivars was evaluated. Seedlings were grown for 10 days in a 20% strength Steinberg solution containing 0, 3, 6 and 9 mg Al L⁻¹ at pH 4.5 and then removed to measure root length. Four control cultivars, CNT-1 and Maringa (high Al-tolerant), and Jupateco and 7-Cerros (Al-sensitive) were included in the experiment. None of the Chilean cultivars were as high Al-tolerant as CNT-1 and Maringa whose root growth was not reduced at the highest aluminium concentration. Cultivars Dalcahue and Antufén were only affected by 6 and 9 mg Al L⁻¹, and therefore classified as tolerant. Cultivars Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, Onda, SNA 210, Millaleu, Pitufo, Cisne, Likay, Amigo and As did not resist 6 mg Al L⁻¹ and are considered as semi tolerant. Cultivars Kona, Peumo, SNA 220, Unico, Candela, Taita, Laurel, Pukem, Malihue, Chifén, Domo, Collafén, Ciko, Peneca, Lilifén, Saeta, Centrifén, Perquenco, Andifén, Rancofén, Premier, Paleta, SNA 204, SNA 102, Lumaco, Toquifén, Aurifén, Lancero, Quelén, Orofén, Yafén and Naofén did not tolerate 3 mg Al L⁻¹ and were classified as sensitive.

Key words: aluminium tolerance, toxicity, *Triticum aestivum*, root damage, wheat genotypes.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de origen volcánico del sur de Chile (36°15' - 41°45' lat. S), debido a su composición orgánica, mineralógica y a las condiciones climáticas a las que están expuestos, son de naturaleza ácida (Venegas, 1993). Adicionalmente, el uso, cada vez más frecuente, de fertilizantes acidificantes y las altas tasas de extracción de nutrientes, producto del aumento en la intensidad de uso de estos suelos, han acelerado el proceso natural de acidificación (Santander *et al.*, 1993), lo que se ha convertido en un importante factor limitante de los rendimientos de cultivos anuales y praderas (Venegas, 1993).

La fitotoxicidad por aluminio, causada por un aumento del nivel de aluminio de intercambio en el suelo al aumentar la acidez, es reconocida, por investigadores extranjeros (Foy, 1988; Wright, 1989) y nacionales (Mora, 1993; Santander *et al.*, 1993), como uno de los principales factores limitantes en suelos ácidos.

El daño de la toxicidad por aluminio en los cultivos se caracteriza por una reducción del crecimiento y desarrollo de raíces y parte aérea. Sin embargo, se considera a la disminución del crecimiento que experimenta el sistema radicular, como el mejor y más claro índice de sensibilidad de las plantas al aluminio (Foy, 1988).

Varios investigadores en el extranjero, han demostrado, mediante la utilización de suelos ácidos (Foy *et al.*, 1965a) o soluciones nutritivas (Foy *et al.*, 1965b; Kerridge *et al.*, 1971; Mugwira *et al.*, 1976, 1981; Lafever *et al.*, 1977) diferencias en la tolerancia al aluminio entre cultivares de trigo, señalando además, que la tolerancia tiene una base genética (Foy, 1988).

En Chile, se han realizado estudios de tolerancia al Al en un número reducido de cultivares de trigo, en ensayos de campo establecidos en suelos con problemas de acidez. Venegas (1993), basándose en un modelo utilizado en Brasil por el Centro de Investigaciones EMBRAPA, el cual relaciona el rendimiento de grano con el porcentaje de saturación de aluminio en el suelo en la etapa de la floración del trigo, clasifica como tolerante al cultivar Dalcahue, como medianamente tolerantes a Otto y Ufro T-8, a Colono como medianamente sensible y a Perquenco

¹Recepción originales: 25 de junio de 1996.

²Soquimich Comercial S.A., Chillán.

³Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

Email: ividal@rocketmail.com

como sensible, indicando que no debe sembrarse en suelos ácidos. Del Canto (1994), señala a los cultivares Lanco y Dalcahue como tolerantes, a Peneca y Paleta como medianamente tolerantes y como susceptible al cultivar Candela. En tanto, Gallardo *et al.* (1995), indica que de seis variedades de trigo de hábito alternativo estudiadas (Amigo, Paleta, Otto, UFRO T-8, Perquenco y Pankul), la más tolerante resultó ser Amigo y la más sensible, Pankul. Para el caso de trigos primaverales (Pitufo, Naofén, Nobo, Domo y Antilhue), Pitufo fue el más tolerante, seguido de Nobo y el más sensible fue Antilhue. De los trigos invernales (Taita, Kona, Peneca, Pukem), se identificó a Taita como el más tolerante y Pukem, el más sensible.

La tolerancia al aluminio encontrada en algunos cultivares parece ser el resultado del uso y selección de material genético por mucho tiempo en regiones del mundo con problemas de acidez. Foy *et al.* (1965a), determinaron que cultivares de trigo desarrollados en Estados Unidos, son por lo general más tolerantes que aquellos desarrollados en las planicies y oeste del mismo país, además encontraron que los cultivares provenientes del Brasil son altamente tolerantes. Considerando que desde la zona de Biobío al Sur se encuentra la mayoría de los suelos de origen volcánico con problemas de acidez y aluminio (Sierra, 1991; Pinilla, 1993; Del Canto, 1994), los cultivares de trigo recomendados y utilizados en esta zona, probablemente debieran presentar un mayor grado de tolerancia al aluminio que aquellos recomendados para la zona al norte de Biobío.

Con la finalidad de ayudar a solucionar en parte el problema de productividad que presentan los suelos ácidos y/o en riesgo de acidificación, el presente estudio tiene como objetivo: i) determinar el grado de tolerancia al aluminio, de distintos cultivares de trigo chilenos con el propósito de detectar aquellos con una mayor resistencia a esta toxicidad, y ii) comparar la tolerancia al aluminio con la zona de cultivo recomendada para cada uno de ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 48 cultivares de trigos chilenos fueron probados para establecer su tolerancia al aluminio, al ser expuestos a dicho elemento en la solución nutritiva de Steinberg, modificada por Foy *et al.* (1967), al 20%, utilizando una metodología similar a la descrita por Mugwira *et al.* (1981). Cuatro cultivares de tolerancia conocida y contrastante testadas en CIMMYT, México, se incluyeron en el experimento: Maringa y CNT-1 como altamente tolerantes y Jupa-teco y 7-Cerros como sensibles.

Las semillas, previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 2%, se dejaron germinar sobre papel absorbente humedecido con agua destilada, en cápsulas de Petri por 60 horas a 25 °C, en oscuridad. Plántulas de tamaño similar, de cada cultivar, se ubicaron en un diseño de bloques completos al azar compuesto de 4 tratamientos con 4 repeticiones de tres plantas cada una. Los tratamientos fueron niveles de 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ en la solución nutritiva, aportando dicho elemento como AlK(SO₄)₂ · 12H₂O (Lafever *et al.*, 1977).

En recipientes plásticos de 11 litros de capacidad, con 10 litros de solución nutritiva, se ubicaron dos bandejas de plástico (cubetas de hielo modificadas) en cada uno. Las bandejas estaban compuestas de 60 casilleros de 1 x 1 x 1 cm con una malla de plástico en su parte inferior y se suspendieron sobre la solución nutritiva mediante flotadores de poliestireno ubicados en los extremos. En cada casillero se ubicó una plántula. La solución nutritiva fue continuamente oxigenada mediante un burbujeador poroso, usando un flujo de aire de 750 ml min⁻¹, por recipiente.

El pH de la solución se ajustó inicial y diariamente a 4,5, con HCl 0,1 M o NaOH 0,1 M. El nivel de aluminio en la solución nutritiva se midió y ajustó a los niveles originales, en la mitad del período de crecimiento.

Las plántulas crecieron, por 10 días, en el interior de una cámara de crecimiento con un fotoperíodo de 16 horas de luz, aportadas por 4 tubos fluorescentes (Philips TLD 36W/33) montados a 40 cm sobre la solución nutritiva, y a una temperatura de 25 ± 1 °C en el día y de 20 ± 1 °C en la noche. Al término del período de crecimiento, se midió el largo de la raíz más larga de cada planta.

Basado en los largos de raíces, se comparó, mediante análisis de varianza para un diseño completamente al azar, (i) el comportamiento de los distintos cultivares en cada uno de los niveles de aluminio en la solución y (ii) el comportamiento de cada cultivar, en particular, en los distintos niveles de aluminio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período de crecimiento de las plantas en solución nutritiva sin aluminio, los distintos cultivares de trigo presentaron un desarrollo normal sin síntomas de alguna deficiencia o toxicidad nutricional en la parte aérea o raíces. Este desarrollo normal muestra a la solución nutritiva de Steinberg, modificada por Foy *et al.* (1967), al 20%, como un medio de cultivo adecuado.

Efectos claros de toxicidad se observaron en un gran número de cultivares al crecer en presencia de aluminio en la solución, presentándose en la mayoría de las plantas afectadas hojas de coloración más clara, con menor crecimiento y más delgadas. Sin embargo, el efecto del aluminio se manifestó más claramente como un menor crecimiento y desarrollo del sistema radicular, el que presentaba escasa presencia de pelos radiculares, una coloración más oscura y raíces engrosadas y quebradizas, síntomas similares a los descritos por Foy (1988) y Taylor (1988). Estos síntomas se vieron aumentados, en la mayoría de las plantas afectadas, al aumentar la concentración de aluminio en la solución nutritiva.

Los cultivares de trigo presentaron distintos largos de raíces ($P \leq 0,05$) al crecer en la solución nutritiva sin aluminio, producto, seguramente, de la influencia genética sobre los parámetros de crecimiento (Cuadro 1). En este caso, se ha propuesto que la forma más adecuada para comparar los cultivares entre sí es utilizando la relación entre el largo de las raíces en presencia de aluminio y el largo de raíces en ausencia de aluminio, definido como largo relativo de raíces (LRR) (Lafever *et al.*, 1977; Mugwira *et al.*, 1976, 1978, 1981). Al analizar de esta manera, los cultivares difieren significativamente ($P \leq 0,05$) en su LRR al crecer en presencia de 3, 6 ó 9 mg Al L⁻¹ en la solución nutritiva (Cuadro 1), mostrando, por lo tanto, que poseen distintos grados de tolerancia al aluminio.

Los cultivares de referencia CNT-1 y Maringa se comportaron como tolerantes y Jupateco y 7-Cerros como sensibles a la presencia de aluminio en el medio de cultivo, comportamiento de acuerdo con su tolerancia conocida.

En cada nivel de Al, se estableció el grado de tolerancia relativa de los cultivares chilenos al compararlos con los cultivares de referencia tolerantes y sensibles. Se consideró como tolerantes a aquellos que no presentaron diferencias significativas en el LRR con los cultivares CNT-1 y Maringa; como sensibles a los que tenían un LRR que no difirió significativamente de los de Jupateco y 7-Cerros, y como medianamente tolerantes a los cultivares con un LRR que se encontraba entre ambos grupos. Los grados de tolerancia, así establecidos, se muestran en el Cuadro 2. Once (22,9%) cultivares (Dalcahue, Antufén, Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, Onda, SNA 210, Millaleu y Pitufu) clasifican como tolerantes a 3 mg Al L⁻¹. Nueve (18,8%) cultivares (Dalcahue, Antufén, Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Cisne, Likay y Peumo) son medianamente tolerantes a 6 mg Al L⁻¹, y siete (14,6%) cultivares (Dalcahue, Antufén, Lancero, Cisne, Likay, Rancofén y Kona) son medianamente tolerantes a una concentración de 9 mg Al L⁻¹.

Existió una asociación altamente significativa ($P \leq 0,01$) entre cultivares y tratamientos de Al, indicando que el grado de tolerancia varía según el nivel de aluminio en la solución nutritiva. Según Sartain y Kamprath (1978), cuando esto sucede es válido analizar separadamente el comportamiento de cada cultivar en los distintos tratamientos, lo que permite utilizar el largo absoluto de raíces. De esta forma, es posible determinar el nivel de aluminio que reduce el largo de raíces, haciéndolo significativamente distinto ($P \leq 0,05$, en este caso) del largo de raíces que presenta el cultivar al crecer en ausencia de aluminio en la solución. En el Cuadro 3 se muestra los resultados de este análisis. Los cultivares Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, Onda, SNA 210, Millaleu, Pitufu, Cisne, Likay, Amigo y As toleran una concentración de 3 mg Al L⁻¹ en la solución nutritiva y solamente los cultivares Dalcahue y Antufén toleran 6 mg Al L⁻¹. El resto de los cultivares fueron sensibles a la presencia de Al (3 mg L⁻¹) en el medio de cultivo. Los cultivares de referencia se comportaron de acuerdo a su tolerancia conocida: CNT-1 y Maringa no fueron afectados por una concentración de 9 mg Al L⁻¹, mientras que 7-Cerros y Jupateco fueron sensibles a la menor concentración de Al empleada.

Utilizando esta forma de análisis y considerando a los cultivares que no toleraron 3 mg Al L⁻¹, como sensibles (S) y a los que toleraron 3, 6 ó 9 mg Al L⁻¹ como medianamente sensibles (MS), tolerantes (T) y muy tolerantes (MT) respectivamente, es posible clasificar a los cultivares Dalcahue y Antufén como tolerantes, a los cultivares Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, Onda, SNA 210, Millaleu, Pitufu, Cisne, Likay, Amigo y As como medianamente tolerantes y al resto de los cultivares como sensibles (Cuadro 4). Ninguno de los cultivares chilenos se mostró tan tolerante al aluminio como los cultivares de referencia Maringa y CNT-1.

Resultados similares se obtienen al analizar el comportamiento de los cultivares de trigo mediante los dos métodos empleados. Sin embargo, para determinar el grado de tolerancia mediante la comparación del LRR de los cultivares en cada uno de los niveles de aluminio, es necesario disponer de cultivares de tolerancia conocida, uno tolerante y otro sensible. Además, se pueden presentar resultados de difícil interpretación, como es el caso de los cultivares Cisne, Likay, Peumo, Rancofén y Kona, que aparecen sensibles a 6 mg Al L⁻¹ y medianamente tolerantes a 9 mg Al L⁻¹ (ver Cuadro 2). Resulta de más fácil interpretación el análisis de cada cultivar, en forma individual, frente a los niveles diferenciales de aluminio en la solución nutritiva.

CUADRO 1. Largo de raíces y largo relativo de raíces (LRR) de cultivares de trigo, al crecer en presencia de 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ en solución nutritiva durante 10 días

TABLE 1. Roots length and roots relative length of wheat varieties growing in nutritive solution with 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ during 10 days

Cultivar	Largo raíces (cm)	Largo relativo de raíces (cm)		
	0	3	6	9
Antufén	15,72 a*	100,87 bcd	67,35 d	47,95 c
Naofén	14,93 ab	32,90 i-o	6,61 o	4,09 w
Saeta	14,67 abc	12,20 o	14,60 j-o	9,30 q-w
Toquifén	14,54 abc	44,69 g-o	9,98 l-o	6,49 uvw
Jupateco	14,38 abc	55,90 g-m	12,78 k-o	9,03 r-w
Orofén	14,08 abc	50,91 g-o	8,25 mno	9,44 q-w
Taita	13,87 abc	65,78 f-j	17,97 j-o	11,19 n-v
Ciko	13,50 a-d	22,37 l-o	15,68 j-o	14,64 h-r
Dalcahue	13,47 a-d	91,62 def	82,09 c	49,75 c
Perquenco	13,25 a-d	25,51 j-o	13,59 j-o	17,29 g-o
Likay	12,84 b-e	63,81 f-k	54,01 de	36,23 d
Peumo	12,47 b-f	66,78 f-j	8,60 efg	16,53 h-q
Aurifén	11,98 c-g	19,71 n-o	9,62 l-o	10,18 p-v
Domo	11,08 d-h	24,46 k-o	16,21 j-o	19,71 f-j
Lucero	10,89 d-h	47,35 g-o	9,29 l-o	6,09 vw
Quelén	10,38 d-h	26,65 j-o	9,07 l-o	10,63 o-v
Millaleu	10,69 e-i	99,18 cde	16,87 j-o	19,50 f-l
Rancofén	10,33 e-j	51,92 g-n	22,28 h-l	27,63 e
SNA 204	10,25 e-j	61,11 f-l	10,88 k-o	12,47 k-t
Antihue	10,16 e-j	39,99 h-o	15,96 j-o	7,99 r-w
Pukem	9,97 e-j	47,38 g-o	16,58 j-o	21,45 e-i
Lumaco	9,87 f-k	37,94 h-o	10,32 l-o	11,04 n-v
Paleta	9,79 f-k	36,52 h-o	11,45 k-o	11,07 n-v
Yafén	9,76 f-k	21,69 mno	7,77 no	6,69 t-w
Malihue	9,98 f-l	69,74 f-i	16,42 j-o	10,73 o-v
Candela	9,52 f-m	72,51 f-i	29,19 g-j	18,90 f-m
Lautaro	9,41 g-n	92,77 def	38,80 e-h	17,86 f-n
Maringa	9,29 g-n	99,69 bcd	99,83 b	76,06 b
Cisne	9,97 g-n	63,65 f-k	41,18 efg	24,58 efg
Amigo	9,14 g-n	80,78 efg	22,22 h-l	10,18 p-v
SNA	9,06 g-n	22,49 l-o	10,79 k-o	11,05 n-v
Laurel	8,74 h-o	36,99 h-o	17,13 j-o	21,08 f-j
Lancero	8,66 h-o	100,97 bcd	57,92 d	25,51 ef
Kona	8,49 h-o	34,90 i-o	21,30 h-n	21,56 e-v
Peneca	8,49 h-o	26,40 j-o	15,54 j-o	11,43 n-v
Premier	8,40 h-o	41,04 g-o	12,26 k-o	12,00 m-u
7-Cerros	8,19 h-o	45,3 g-o	19,78 i-n	13,98 i-s
As	8,15 h-p	76,64 fgh	12,84 k-o	9,46 q-w
Andifén	7,84 i-p	36,86 h-o	13,56 j-o	11,32 q-w
Carahue	7,78 i-p	105,25 abc	52,03 def	18,93 g-m
Onda	7,70 i-p	100,52 bcd	25,17 g-k	12,46 k-t
Pitufo	7,63 i-p	99,70 bcd	18,24 j-o	13,74 j-s
CNT-1	7,41 i-p	111,19 ab	104,00 a	86,99 a
Centrifén	7,25 i-p	69,39 f-i	14,25 j-o	9,43 q-w
Lilifén	7,25 i-p	36,60 h-o	14,83 j-o	14,64 h-r
SNA 220	7,06 j-p	62,89 f-l	21,32 h-m	12,21 l-u
SNA 210	6,84 k-p	100,11 bcd	21,58 h-m	15,71 h-q
Collafén	6,59 l-p	25,62 j-o	16,19 j-o	11,45 n-v
Chifén	6,50 m-p	22,95 k-o	16,23 j-o	9,05 r-w
Unico	6,33 nop	73,10 f-i	18,06 j-o	15,69 h-q
Otto	5,87 op	100,08 bcd	35,23 f-i	19,55 f-k
Colono	5,11 p	121,28 a	40,09 efg	20,09 e-k

*Para cada nivel de aluminio (columna), valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la nueva prueba de rango múltiple de Duncan al nivel de 5%.

CUADRO 2. Grado de tolerancia de los cultivares de trigo a 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ en la solución nutritiva, en relación a los cultivares tolerantes Maringa y CNT-1, y sensibles Jupateco y 7-Cerros

TABLE 2. Differential aluminium tolerance of wheat varieties to 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ in the nutritive solution relative to tolerant varieties Maringa and CNT-1, and sensitives, Jupateco and 7-Cerros

Cultivar	Grado de tolerancia*						
	mg Al L ⁻¹			mg Al L ⁻¹			
	3	6	9	Cultivar	3	6	9
CNT-1	T	T	T	Malihue	S	S	S
Maringa	T	T	T	Chifén	S	S	S
Dalcahue	T	MT	MT	Domo	S	S	S
Antufén	T	MT	MT	Collafén	S	S	S
Lancero	T	MT	MT	Antilhue	S	S	S
Carahue	T	MT	S	Ciko	S	S	S
Colono	T	MT	S	Peneca	S	S	S
Lautaro	T	MT	S	Lilifén	S	S	S
Otto	T	S	S	Saeta	S	S	S
Onda	T	S	S	Centrifén	S	S	S
SNA 210	T	S	S	Perquenco	S	S	S
Millaleu	T	S	S	Andifén	S	S	S
Pitufo	T	S	S	As	S	S	S
Cisne	S	MT	MT	Jupateco	S	S	S
Likay	S	MT	MT	Premier	S	S	S
Peumo	S	MT	S	Paleta	S	S	S
Rancofén	S	S	MT	SNA 204	S	S	S
Kona	S	S	MT	SNA 102	S	S	S
Amigo	S	S	S	Lumaco	S	S	S
SNA 220	S	S	S	Toquifén	S	S	S
7-Cerros	S	S	S	Aurifén	S	S	S
Unico	S	S	S	Lancero	S	S	S
Candela	S	S	S	Quelén	S	S	S
Taita	S	S	S	Orofén	S	S	S
Laurel	S	S	S	Yafén	S	S	S
Pukem	S	S	S	Naofén	S	S	S

*Grado de tolerancia: T: tolerante; MT: medianamente tolerante; S: sensible.

Cabe señalar que la clasificación de los cultivares Dalcahue como tolerantes, Colono como medianamente sensible y Perquenco y Candela como sensibles, es coincidente con los resultados obtenidos por Venegas (1993) y Del Canto (1994), en ensayos de campo. Sin embargo, el presente estudio clasifica a los cultivares Peneca y Paleta como sensibles, mientras que estos autores los consideraron medianamente tolerantes.

Respecto a la relación entre tolerancia al aluminio con la zona de cultivo (Cuadro 5), y al analizar los cultivares de trigo recomendados desde Biobío al sur, solamente un 33% presenta algún grado de tolerancia y una cifra ligeramente menor de 29% presentaron los cultivares recomendados de Biobío

al norte. Lo anterior nos muestra que no existiría una relación entre la tolerancia al aluminio de los distintos cultivares estudiados con la zona de cultivo recomendada para cada uno de ellos. Ello puede ser consecuencia de que la selección y mejoramiento de trigo, se realiza en suelos sin problemas de aluminio, ya sea porque los suelos no poseen en forma natural niveles de aluminio que provoquen toxicidad, o por que se ha corregido el problema en busca de una mejor expresión del potencial genético de cultivares con mayor potencial de rendimiento. Además de lo anterior, puede tener cierta influencia, en algunos casos, el año de obtención de la variedad, puesto que pueden haberse obtenido, cuando no se manifestaban aún, síntomas evidentes de acidez en los suelos de la zona Sur.

CUADRO 3. Largo de raíces de los distintos cultivares de trigo, al crecer durante 10 días en presencia de 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ en la solución nutritiva

TABLE 3. Root length of the different wheat cultivars growing in nutritive solution with 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹

Cultivar	Niveles de Al, mg L ⁻¹			
	0	3	6	9
	←----- cm ----->			
CNT 1	7,41 a	7,79 a	7,68 a	5,90 a*
Maringa	9,29 a	9,08 a	9,29 a	6,98 a
Antufén	15,72 a	15,62 a	10,59 ab	7,55 b
Dalcahue	13,48 a	11,89 ab	11,09 ab	6,67 b
Lancero	8,66 a	8,46 a	4,76 b	2,16 b
Carahue	7,78 a	8,30 a	4,05 b	1,49 c
Colono	5,11 a	6,40 a	2,12 b	1,03 b
Lautaro	9,41 a	7,89 ab	3,72 bc	1,81 c
Otto	5,87 a	6,00 a	2,02 b	1,11 b
Onda	7,71 a	7,90 a	1,96 b	0,97 b
SNA 210	5,71 a	6,28 a	1,42 b	1,06 b
Millaleu	10,69 a	10,05 a	2,10 b	2,07 b
Pitufo	7,63 a	7,48 a	1,30 b	1,04 b
Cisne	9,17 a	5,87 ab	3,99 b	2,28 b
Likay	12,84 a	8,35 ab	7,06 b	4,53 b
Amigo	9,14 a	7,13 a	2,08 b	0,94 b
As	8,15 a	6,24 a	1,06 b	0,77 b
Kona	8,49 a	2,98 b	1,82 b	1,19 b
Peumo	12,47 a	8,28 b	4,80 c	2,09 d
SNA 220	7,06 a	4,37 b	1,51 c	0,88 c
7-Cerros	8,19 a	3,54 b	1,62 bc	1,18 c
Unico	6,33 a	4,55 b	1,16 c	0,99 c
Candela	9,52 a	6,75 b	2,84 c	1,81 c
Taita	13,87 a	9,14 b	2,59 c	1,57 c
Laurel	8,74 a	3,25 b	1,53 c	1,90 bc
Pukem	9,97 a	4,95 b	1,67 b	2,18 bc
Malihue	9,61 a	6,73 b	1,59 c	1,04 c
Chifén	6,50 a	1,48 b	1,06 b	0,60 b
Domo	11,18 a	2,76 b	1,82 b	2,22 b*
Collafén	6,59 a	1,71 b	1,07 bc	0,77 c
Antilhue	10,16 a	4,19 b	1,68 bc	0,84 c
Ciko	13,50 a	3,04 b	2,12 b	2,05 b
Peneca	8,49 a	2,24 b	1,33 bc	0,97 c
Lilifén	7,19 a	2,49 b	1,00 b	1,00 b
Saeta	14,67 a	1,82 b	2,20 b	1,41 b
Centrifén	7,25 a	4,06 b	1,03 c	0,65 c
Perquenco	13,25 a	3,39 b	1,88 b	2,28 b
Andifén	7,84 a	2,92 b	1,06 c	0,89 c
Rancofén	10,33 a	5,45 b	2,71 b	3,14 b
Jupateco	14,39 a	8,01 b	1,17 c	1,29 c
Premier	8,40 a	3,49 b	1,03 c	1,02 c
Paleta	9,79 a	3,68 b	1,12 b	1,09 b
SNA 204	10,25 a	6,27 b	1,16 c	1,28 c
SNA 102	9,06 a	2,05 b	0,98 b	1,02 b
Lumaco	9,88 a	3,90 b	1,02 c	1,17 c
Toquifén	14,54 a	6,15 b	1,58 c	0,98 c
Aurifén	11,98 a	2,31 b	1,21 b	1,19 b
Lancero	8,66 a	8,46 a	4,76 b	2,16 b
Quelén	10,88 a	2,95 b	1,00 c	1,19 c
Orofén	14,08 a	7,16 b	1,15 c	1,20 c
Yafén	9,76 a	2,13 b	0,76 c	0,75 c
Naofén	14,93 a	4,82 b	1,04 c	0,73 c

*En cada cultivar (línea horizontal), los valores con igual letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey al nivel de 5%.

CUADRO 4. Grado de tolerancia al aluminio de cada uno de los cultivares de trigo al comparar el largo de raíces en los diferentes niveles de aluminio en la solución nutritiva

TABLE 4. Degree of aluminium tolerance among wheat varieties in relation with root length in the different aluminium levels

Cultivar	Grado de tolerancia	Cultivar	Grado de tolerancia
CNT-1	MT*	Malihue	S
Maringa	MT	Chifén	S
Dalcahue	T	Domo	S
Antufén	T	Collafén	S
Lancero	MS	Antilhue	S
Carahue	MS	Ciko	S
Colono	MS	Peneca	S
Lautaro	MS	Lilifén	S
Otto	MS	Saeta	S
Onda	MS	Centrifén	S
SNA 210	MS	Perquenco	S
Millaleu	MS	Andifén	S
Pitufo	MS	Rancofén	S
Cisne	MS	Jupateco	S
Likay	MS	Premier	S
Amigo	MS	Paleta	S
As	MS	SNA 204	S
Kona	S	SNA 102	S
Peumo	S	Lumaco	S
SNA 220	S	Toquifén	S
7-Cerros	S	Aurifén	S
Unico	S	Lancero	S
Candela	S	Quelén	S
Taita	S	Orofén	S
Laurel	S	Yafén	S
Pukem	S	Naofén	S

*Grado de tolerancia: MT = muy tolerante; T = tolerante; MS = medianamente sensible; S = sensible.

CUADRO 5. Grados de tolerancia al aluminio encontrados en cultivares de trigo sembrados en diferentes zonas donde se recomienda su cultivo, de norte a sur del país

TABLE 5. Degree of aluminium tolerance among wheat varieties developed in different regions, from north to south of the country

Zona recomendada	Número de cultivares	% de cultivares		
		T	MS	S
Biobío al Norte	24	4,2	25,0	70,8
Biobío al Sur	24	4,2	29,2	66,6

CONCLUSIONES

Los cultivares que mostraron mayor grado de tolerancia al aluminio fueron Dalcahue y Antufén, seguidos por Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, SNA 210, Millaleu, Pitufo, Cisne, Likay, Onda, Amigo y As. El resto de los cultivares se mostró sensible a la presencia de aluminio en la solución nutritiva.

Ninguno de los cultivares de trigo chilenos evaluados fue tan tolerante al aluminio como los cultivares de referencia Maringa y CNT-1 (originados en Brasil), por lo que existe la posibilidad de incorporar mayor grado de tolerancia a los cultivares nacionales en los programas de mejoramiento.

Los grados de tolerancia encontrados en los cultivares Dalcahue, Otto, Colono, Perquenco, Peneca y Paleta, en solución nutritiva, son similares a los descritos en otros estudios basados en ensayos de campo en suelos con problemas de acidez. Por lo tanto, la metodología de selección en solución nutritiva permite evaluar, en un corto tiempo, la tolerancia de un amplio número de cultivares.

La tolerancia al aluminio de los distintos cultivares no presentó relación con la zona de cultivo recomendada para cada uno de ellos.

RESUMEN

Se evaluó la tolerancia al aluminio de 48 cultivares comerciales de trigo chilenos. Se cultivaron plántulas por 10 días en la solución nutritiva de Steinberg al 20%, pH 4,5, conteniendo 0, 3, 6 y 9 mg Al L⁻¹ y después se removieron con el fin de medir su largo de raíz. Como control, se incluyeron en el experimento cuatro cultivares de comportamiento conocido, CNT-1 y Maringa (muy tolerantes al aluminio)

y Jupateco y 7-Cerros (sensibles). Ninguno de los cultivares chilenos fue tan tolerante al aluminio como CNT-1 y Maringa, cuyos crecimientos radiculares no disminuyeron en la concentración más alta de aluminio. Los cultivares Dalcahue y Antufén fueron afectados por 6 y 9 mg Al L⁻¹ y se clasificaron como tolerantes. Cultivares Lancero, Carahue, Colono, Lautaro, Otto, Onda, SNA 210, Millaleu, Pitufo,

Cisne, Likay, Amigo y As no crecieron con 6 mg Al L⁻¹ y son semi tolerantes. Cultivares Kona, Peumo, SNA 220, Unico, Candela, Taita, Laurel, Pukem, Malihue, Chifén, Domo, Collafén, Ciko, Peneca, Lilifén, Saeta, Centrifén, Perquenco, Andifén, Rancofén, Premier, Paleta, SNA 204, SNA 102, Lumaco, Toquifén, Aurifén, Lancero, Quelén, Orofén, Yafén, y Naofén fueron afectados por 3 mg

Al L⁻¹ y clasifican como sensibles. La tolerancia al aluminio de los distintos cultivares no presentó relación con la zona de cultivo recomendada para cada uno de ellos.

Palabras claves: Tolerancia aluminio, toxicidad, trigo aestivum, raíz desnuda, genotipo trigo.

LITERATURA CITADA

- DEL CANTO, P. 1994. Alternativas de manejo en suelos con riesgo de acidificación. Manejo de cereales en suelos con riesgo de acidificación. Boletín Nº 1 FONDEF 2-88.
- FOY, C.D., ARMIGER, W.H., BRIGGLE, L.W. and REID, D.A. 1965a. Differential aluminium tolerances of wheat and barley varieties in acid soil. *Agron. J.* 57: 413-417.
- FOY, C.D., BURNS, G.R., BROWN, J.C. and FLEMING, A.L. 1965b. Differential aluminium tolerance of two wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 64-67.
- FOY, C.D., FLEMING, A.L., BURNS, G.R. and ARMIGER, W.H. 1967. Characterization of differential aluminium tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 513-521.
- FOY, C.D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminium-toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19: 959-987.
- GALLARDO, F.; RIQUELME, C.; BORIE, F. y SANTANDER, J. 1995. Selección de especies y cultivares tolerantes a aluminio. *Frontera Agrícola Año 3 Nº 1.* p.: 4-12.
- KERRIDGE, P.C., M.D. DAWSON and MOORE, D.P. 1971. Separation of degrees of aluminium tolerance in wheat. *Agron. J.* 63: 586-591.
- LAFEVER, H.N., CAMPBELL, L.G. and FOY, C.D. 1977. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agron. J.* 69: 563-568.
- MORA, M. 1993. Nivel de fertilidad de los suelos de la IX Región y su relación con la acidificación. *Frontera Agrícola 1:* 5-12.
- MUGWIRA, L.M., ELGAWHARY, S.M. and PATEL, K.I. 1976. Differential tolerances of triticale, wheat, rye, and barley to aluminium in nutrient solution. *Agron. J.* 68: 782-786.
- MUGWIRA, L.M., ELGAWHARY, S.M. and PATEL, S.U. 1978. Aluminium tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminium concentration. *Plant and soil* 50: 681-690.
- MUGWIRA, L.M., SAPRA, V.T. PATEL, S.U. and CHOUDRY, M.A. 1981. Aluminium tolerance of triticale and wheat cultivars developed in different regions. *Agron. J.* 73: 470-475.
- PINILLA, H. 1993. Efecto del uso sucesivo de nitrógeno amoniacal y nítrico en la acidificación de suelos trumaos. *Frontera Agrícola 1:* 18-22.
- SANTANDER, J., KOEBRICH, A. y MORA, M. 1993. Alternativas de fertilización en suelos acidificados; Uso de enmiendas calcáreas. *Frontera Agrícola 1:* 28-33.
- SARTAIN, J.B. and KAMPRATH, E.J. 1978. Aluminium tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. *Agron. J.* 70: 17-20.
- SIERRA, C. 1991. Nutrición de las plantas en suelos trumaos de la zona sur. *Agroeconómico Fundación Chile* 8(2): 23-27.
- TAYLOR, G.J. 1988. The physiology of aluminium phytotoxicity. *In:* H. Sigel (ed.) *Metal ions in biological systems.* Vol. 24. Aluminium and its role in biology. Marcel Dekker, Inc., N.Y. p.: 123-163.
- VENEGAS, C. 1993. Tolerancia de los cultivos a la acidez del suelo. *Frontera Agrícola 1:* 23-27.
- WRIGHT, R.J. 1989. Soil aluminium toxicity and plant growth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20: 1479-1497.