VARIACIONES DEL CONTENIDO DE Mn DE DOS SUELOS SOMETIDOS A ESTERILIZACIÓN Y SU EFECTO SOBRE LA PUDRICIÓN RADICAL O "MAL DE PIE" DEL TRIGO[1]

Variation on Mn content of sterilized soil and their effect on take-all disease of wheat

Ricardo Campillo[2], Orlando Andrade[2] y Eduardo Contreras[2]

ABSTRACT

The variation on Mn content of a suppressive and a conducive soil on the expression of take-all wheat (*Triticum aestivum* L.) disease, caused by the fungus *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & Olivier var. *tritici* Walker (Ggt), was evaluated under controlled greenhouse conditions. Two soils of the Ninth Region previously determined as: A) naturally suppressive (ultisol) and B) as conducive (andisol) to wheat take-all disease were used. Both soils were seeded with wheat cv. Dalcahue - INIA for 40 days, under natural growing conditions and in autoclave and microwave sterilized soil, to observe the effect of Mn content on the expression of the disease. The Mn content increased after sterilization from 98.2 mg kg^{-1} to 293 mg kg^{-1} in the suppressive soil, and from 2.5 mg kg^{-1} to 295 mg kg^{-1} in the conducive soil. The dry matter was not affected by the Mn variations in the soils. The root infection process of the wheat operated independently of the available Mn content of the soil, be it suppressive or conducive; and the root infection reached levels as high as 89%. The foregoing indicates that the inhibition of the infection observed on transferring 1% of the suppressive soil to a sterile base is not an expression of their manganese content but of biological factors associated with those soils.

Key words: take-all, wheat, suppressive soils, conducive soils, *Gaeumannomyces graminis,* soil sterilization.

RESUMEN

Se evaluó bajo condiciones controladas de invernadero, el efecto de la variación del contenido de Mn de un suelo supresivo y un suelo conducivo, sobre la expresión de la pudrición radical del trigo (*Triticum aestivum* L.) o "mal de pie", causada por el hongo ascomicete *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & Olivier var. *tritici* Walker (Ggt). Se utilizaron dos suelos de la IX Región previamente determinados como: A) naturalmente supresivo (ultisol) y B) como conducivo (andisol) a la pudrición radical del trigo. Se evaluaron ambos suelos sembrados con trigo cv. Dalcahue - INIA durante 40 días, en su condición natural y bajo esterilización con autoclave y microonda, para observar el efecto del contenido de Mn sobre la expresión de la enfermedad. Los valores de Mn del suelo se incrementaron producto de la esterilización, en suelos supresivos desde 98,2 a 293 mg kg^{-1}, y en suelos conducivos de 2,5 a 295 mg kg^{-1}. La MS de las plantas no se vió

[1]Recepción de originales: 17 de agosto de 1999.
Trabajo financiado por el Proyecto FONDECYT N° 1960031.
[2]Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Casilla 58-D, Temuco, Chile.
E-mail: rcampill@carillanca.inia.cl oandrade@carillanca.inia.cl

afectada por las variaciones experimentadas por el Mn en estos suelos. El proceso de infección radical de las plantas de trigo operó en forma totalmente independiente del contenido de Mn disponible del suelo, sea éste supresivo o conducivo; la infección radical llegó a niveles tan altos como un 89%. Lo anterior indica que la inhibición de la infección observada al transferir 1% de suelo supresivo a una base de suelo estéril, no se debe al mayor contenido de Mn del suelo esterilizado, sino a factores bióticos asociados a esos suelos.

Palabras claves: mal del pie, trigo, suelos supresivos, suelos conduvivos, *Gaeumannomyces graminis,* esterilización de suelo.

INTRODUCCIÓN

La pudrición radical del trigo (*Triticum aestivum* L.), causada por el hongo ascomicete *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & Olivier var. *tritici* Walker (Ggt), es una de las enfermedades más importantes de este cereal en el mundo. En Chile, la enfermedad se presenta con particular severidad en suelos de trumao (andisoles), desde la VIII a la X Región. A la fecha no existen métodos de control efectivos de este problema (Hornby, 1998), excepto la rotación de cultivos, la cual, por diversos aspectos técnicos y económicos, no siempre es factible de realizar, y su efecto bajo diversas condiciones de suelo y clima es variable.

La identificación de suelos naturalmente supresivos a la pudrición radical (capaces de transferir factores bióticos inhibitorios de la enfermedad), es considerada de gran relevancia en la búsqueda de organismos con potencial biocontrolador del agente causal (Ryder *et al.*, 1990; Cook, 1990), siendo empleados como estrategia por numerosos investigadores (Hornby, 1998). Esta supresión natural es atribuida principalmente a una microflora antagonista que se desarrolla bajo condiciones de monocultivo de trigo (Shipton *et al.*, 1973; Cook y Rovira, 1976; Cook y Weller, 1987), aun cuando las características y probables formas de desarrollo de los diferentes tipos de supresión observados son variables (Hornby, 1998).

Existen otras teorías como explicación a la inhibición natural de la enfermedad en algunos suelos. Una de ellas se refiere a la mayor disponibilidad de manganeso (Mn) en los suelos por efecto de bajas poblaciones de bacterias oxidativas de este elemento (Huber y McCay-Buis, 1993; Huber, 1998). En estos casos los suelos supresivos a la enfermedad presentan altos niveles de Mn disponible y elevada actividad biológica, lo cual mantendría al Mn en forma disponible para la absorción de las plantas. Lo anterior coincidiría con el hecho que la enfermedad se presenta en otros países, principalmente en suelos alcalinos, de baja fertilidad (Asher y Shipton, 1981; Hornby, 1998), condiciones bajo las cuales el Mn se encuentra normalmente inmovilizado, y por tanto los suelos son deficitarios en este elemento (Graham, 1983; Graham *et al.*, 1991). Sin embargo, Hornby (1998) señaló que no existe suficiente evidencia que permita aseverar o rechazar esta teoría, a lo menos para el caso de Inglaterra, donde la deficiencia de Mn es común en la mayoría de los suelos cultivados con trigo.

La IX Región, así como la zona sur de Chile, posee extensas superficies de suelos derivados de cenizas volcánicas que se caracterizan por tener pH moderado a fuertemente ácido, déficit generalizado de bases, principalmente calcio, niveles limitantes de aluminio de intercambio, y problemas de acidificación de diversa intensidad y magnitud. En estas condiciones, normalmente el Mn no presenta limitaciones de disponibilidad, al menos por las características químicas típicas de estos suelos. Altas concentraciones de Mn^{+2} en la solución del suelo son esperables sólo en suelos ácidos, con altos niveles de Mn fácilmente

reducible en combinación con tenores elevados de materia orgánica, alta actividad microbial y anaerobiosis, tanto temporal como permanente (Katyal y Randhawa, 1986; Marschner, 1990). Se ha establecido que en suelos trumaos y ñadis de la IX y X Región, sobre el 45% de los casos presentan tenores medios a altos de disponibilidad de Mn (Rodríguez, 1993). De acuerdo a lo anterior, se esperaría una baja expresión de la pudrición radical en los suelos del sur de Chile, sin embargo, es precisamente en estos suelos donde se presenta una alta ocurrencia de la enfermedad.

Recientemente, dentro del marco del proyecto FONDECYT N° 1960031, se detectó la presencia de suelos con propiedades supresivas a la pudrición radical del trigo en suelos del sur de Chile, empleando la metodología que considera la transferencia de factores bióticos inhibitorios de la enfermedad, a través de la adición de 1% de suelo natural a una base del mismo suelo previamente esterilizado (Gerlagh, 1968; Shipton *et al.*, 1973; Cook y Rovira, 1976; Rovira y Wildermuth, 1981; Andrade *et al.*, 1994).

Debido a que la esterilización del suelo, sea por métodos físicos o químicos, genera cambios en sus componentes nutricionales, elevando significativamente el contenido de Mn (Martin, 1953; Forsee, 1954; Hodgson, 1963; Martin *et al.*, 1973; Mantylahti e Ylaranta, 1981), se consideró necesario evaluar el posible efecto que el aumento del Mn, generado por este tratamiento del suelo, podría tener sobre la expresión de la pudrición radical, en suelos con propiedades supresivas y conducivas a la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos suelos de la IX Región previamente determinados, suelo A como naturalmente supresivo (SS) (Entic Dystrandept, colectado en la localidad de Victoria), y suelo B como conducivo (SC) (Hydric Dystrandept, colectado en la localidad de Niágara) a la pudrición radical del trigo, en dos evaluaciones independientes. Esta determinación se basó en la transferencia de factores bióticos, en la cual la adición de un 1% de suelo natural a una base del mismo suelo previamente esterilizado, incide inhibiendo la expresión de la enfermedad en el caso de un suelo supresivo, o no afecta esta expresión en el caso de un suelo conducivo. En el Cuadro 1 se presentan los resultados de estas determinaciones.

Se diseñaron dos ensayos: 1) suelo sin inóculo de *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & Olivier var. *tritici* Walker (Ggt), para determinar el efecto sobre la MS del trigo, y 2) suelo con y sin inoculación para observar el efecto del contenido de Mn sobre la expresión de la enfermedad.

I) Efecto del contenido de Mn del suelo sobre la materia seca

Ambos suelos fueron evaluados en su forma natural y en condiciones de esterilización por 30 min en autoclave. Los tratamientos evaluados para cada uno de los dos suelos fueron: 1) suelo natural; 2) suelo esterilizado en autoclave; 3) suelo esterilizado en autoclave + 1% de suelo natural. Los tratamientos consideraron 20 repeticiones y se dispusieron en bloques completos al azar.

El experimento fue realizado en invernadero bajo condiciones controladas (18 °C y 75% HR). El suelo tratado se colocó en tubos de PVC de 15 cm de largo y una pulgada y media de diámetro. Cada tubo se sembró con una semilla de trigo cv. Dalcahue-INIA, previamente desinfectada en hipoclorito de sodio al 1% por 4 min, y se mantuvo a capacidad de campo con agua destilada a través de un dispensador automático de agua, durante los 40 días de duración de esta evaluación.

Las evaluaciones consistieron en: análisis químico completo inicial de ambos suelos, en su condición natural y estéril (Sadzawka, 1990); análisis químico de Mn del suelo a los 40 días de iniciado el ensayo; evaluación de la MS aérea producida a los 40 días (12 plantas de trigo/

Cuadro 1. Determinación de la propiedad supresiva/conduciva de dos suelos de la IX Región
Table 1. Determination of suppressive/conducive properties of two soils from the IXth Region

Tratamiento	Inóculo	Ensayo 1		Ensayo 2	
	Ggt[a]	Materia seca (mg)[d]	Infección (%)[d]	Materia seca (mg)[d]	Infección (%)[d]
Suelo A (SS)[b]					
1. Suelo estéril	-	46,2 a[c]	0,0 c	40,2 a	0,0 a
2. Suelo estéril	+	22,2 c	78,2 a	21,0 b	78,8 b
3. S. estéril + 1% S. natural	-	41,5 a	0,1 c	39,4 a	0,0 a
4. S. estéril + 1% S. natural	+	32,3 b	21,2 b	38,1 a	1,3 a
Valor de Tukey		4,74 *	5,28*	3,16*	5,68*
Suelo B (SC)[b]					
1. Suelo estéril	-	63,5 a	0,0 c	37,1 a	0,0 b
2. Suelo estéril	+	19,9 c	96,2 a	18,5 c	64,7 a
3. S. estéril+1% S. natural	-	53,4 b	0,0 c	32,7 b	0,0 b
4. S. estéril+1% S. natural	+	22,2 c	78,5 b	16,8 c	64,1 a
Valor de Tukey		6,51*[c]	3,98*	1,64*	3,86*

[a]Inóculo de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, agregado al suelo al 0,1%.
[b]SS : Suelo supresivo; SC: Suelo conducivo a mal del pie.
[c]Valores unidos por igual letra indican que no hay diferencias significativas. Tukey (P > 0,05).
[d]Medido 40 días después de la siembra.

tratamiento); evaluación del porcentaje de infección radical al cabo de los 40 días (12 plantas/tratamiento) (Clarkson y Polley, 1981).

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y cuando hubo diferencias significativas se utilizó la Prueba de Tukey para comparación de medias de tratamientos.

II) Efecto del contenido de Mn del suelo sobre la infección radical

Se utilizaron los mismos suelos del experimento anterior. Ambos suelos fueron evaluados en su condición natural y mediante esterilización en horno microonda. En este caso, los tratamientos incluyeron la inoculación artificial con el hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* Ggt, el cual fue preparado a partir de un aislamiento de Carillanca, IX Región, inoculando matraces con granos de avena esterilizados en autoclave por 20 min, en dos días consecutivos; desarrollados en estas condiciones por 30 días; secados a temperatura ambiente por 48-72 h; molidos en una licuadora industrial; tamizados a tamaño de partícula de 0,5-1 mm; y mantenidos en matraces estériles a 5 °C hasta su uso (Weller y Cook, 1983; Andrade *et al.*, 1994).

La esterilización del suelo se realizó con microonda durante 5 min cada vez, por tres días sucesivos (Rubio *et al.*, 1994), puesto que este método permite esterilizar el suelo sin provocar aumentos exagerados del Mn del suelo.

Los tratamientos para cada uno de los dos suelos fueron los siguientes: 1) suelo natural; 2) suelo natural + Ggt; 3) suelo esterilizado; 4) suelo estéril + Ggt.

Los tratamientos consideraron 15 repeticiones y se dispusieron en bloques completos al azar. El suelo, sólo o mezclado cuidadosamente con un 0,1% con Ggt en un balde previamente desinfec-

tado, se colocó en tubos de PVC de 15 cm de largo y una pulgada y media de diámetro, iguales a los utilizados en el experimento anterior. Cada tubo se sembró con una semilla de trigo cv. Dalcahue-INIA, previamente desinfectada, y se mantuvo a capacidad de campo durante los 40 días de duración de esta evaluación, con agua destilada y riego homogéneo a través de un dispensador automático.

Las evaluaciones se realizaron con la misma metodología antes citada y consideraron: análisis químico completo inicial de ambos suelos, en su condición natural y estéril; análisis químico de Mn del suelo al término del experimento; evaluación de la MS aérea a los 40 días (12 plantas de trigo/tratamiento); evaluación del porcentaje de infección radical al cabo de los 40 días (12 plantas/tratamiento).

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza, y cuando hubo diferencias significativas se utilizó la Prueba de Contrastes Ortogonales para comparación de las medias de tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I) Efecto del contenido de Mn del suelo sobre la materia seca

La caracterización química de ambos suelos utilizados se desglosa en el Cuadro 2. De acuerdo a las características físicas el suelo supresivo A corresponde a un rojo arcilloso (Entic Dystrandept), mientras que el conducivo B es un trumao (Hydric Dystrandept), ambos derivados de cenizas volcánicas.

Cuadro 2. Caracterización química de dos suelos de la IX Región, en su condición natural y bajo esterilización con autoclave
Table 2. Chemical characterization of natural and autoclaved soils from the IXth Region

Análisis químico	Unidad	Supresivo A		Conducivo B	
		Natural	Autoclave	Natural	Autoclave
Nitrógeno disponible	mg kg^{-1}	26	39	56	85
Fósforo disponible	mg kg^{-1}	8	5	8	4
Azufre extractable	mg kg^{-1}	6	7	25	34
M. orgánica	%	7	7	17	16
pH agua	1:2,5	5,6	5,4	5,4	5,4
Calcio intercambio	cmol kg^{-1}	8,43	8,48	3,27	3,35
Magnesio intercambio	cmol kg^{-1}	2,11	2,10	0,57	0,57
Potasio intercambio	cmol kg^{-1}	1,31	1,29	0,40	0,40
Sodio intercambio	cmol kg^{-1}	0,12	0,17	0,21	0,21
Aluminio intercambio	cmol kg^{-1}	0,73	0,61	0,16	0,16
CICE	cmol kg^{-1}	12,70	12,65	4,61	4,69
Saturación de aluminio	%	5,8	4,8	3,5	3,4
Boro extractable	mg kg^{-1}	0,68	0,44	0,44	0,44
Hierro extractable	mg kg^{-1}	44,3	38,0	38,5	44,2
Manganeso extractable	mg kg^{-1}	98,2	293	2,52	295
Cobre extractable	mg kg^{-1}	2,44	2,36	2,20	2,16
Zinc extractable	mg kg^{-1}	0,72	0,92	1,28	1,64

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

De la comparación de ambos suelos en su condición natural (Cuadro 2) se desprende que el supresivo (rojo arcilloso) tiene valores más bajos de N, S y MO que el conducivo (trumao). Esto es lógico, puesto que la disponibilidad de N y S del suelo está condicionada por el tenor de MO que posea. El contenido de P es bajo en ambos suelos. En cambio, las bases de intercambio son más altas en el suelo rojo arcilloso (supresivo) que en el trumao (conducivo), lo cual también es típico de ambos tipos de suelos en la IX Región. Esto determina, a su vez, que la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) también sea más elevada en el rojo arcilloso. El elevado tenor de Al de intercambio del suelo supresivo determina también una mayor saturación de Al y de acidez respecto al suelo trumao.

Respecto a los micronutrientes, el rojo arcilloso (supresivo) exhibe niveles levemente mayores de B, Fe y Cu y más pobres de Zn que el suelo trumao (conducivo). Sin embargo, la mayor diferencia se expresa en el contenido de Mn, el cual es considerablemente superior en el rojo arcilloso (supresivo) respecto del trumao. Esto no es de extrañar puesto que los altos contenidos de MO de los trumaos establecen constantes de estabilidad muy altas que conducen a un nivel relativamente bajo de disponibilidad de Mn (Rodríguez, 1993). Cabe señalar también, que el análisis químico de 5 suelos supresivos y 3 suelos conducivos clasificados en el mismo proyecto, no arrojó ningún patrón definido asociado a las características de uno u otro, observándose entre los suelos supresivos niveles de Mn variables entre 1,7 y 10,3 mg kg^{-1}, y entre los suelos conducivos de 50 a 70 mg kg^{-1} (datos no presentados).

En cuanto al efecto de la esterilización con autoclave sobre ambos suelos (Cuadro 2), se puede observar que en el rojo arcilloso (supresivo) se eleva levemente el tenor de N y baja en pequeña proporción el contenido de P, el pH y la saturación de Al. El resto de los macronutrientes primarios y secundarios y los micronutrientes se mantienen prácticamente inalterados. Sin embargo, el efecto más importante se manifiesta en un significativo incremento del tenor de Mn del suelo supresivo, alcanzando a 293 mg kg^{-1}.

Por otra parte, en el suelo trumao (conducivo) la esterilización produce un incremento importante de N y S derivado de la fuerte mineralización de residuos frescos que provoca este proceso en el suelo, por su mayor contenido de MO (17%). El resto de los macro y micronutrientes se mantienen prácticamente iguales. Nuevamente, el cambio más significativo lo manifiesta el Mn que aumenta de 2,52 a 295 mg kg^{-1}, al igual que en el otro suelo. Es decir, la esterilización del suelo genera una gran liberación de este micronutriente, independientemente del tipo de suelo y a niveles prácticamente idénticos. La esterilización de un suelo tiene muchos efectos indefinidos, entre ellos el incremento en la disponibilidad de micronutrientes (Allison, 1951; Hodgson, 1963). El significativo cambio en los valores de Mn disponible, por efecto de la esterilización de suelo, es coincidente con lo reportado en la literatura (Martin, 1953; Forsee, 1954; Hodgson, 1963).

Respecto de los tenores de Mn, al cabo de 40 días desde la siembra de trigo (Cuadro 3), se observa que los valores aumentan significativamente en los tratamientos esterilizados. Estos resultados son coincidentes con lo descrito por Martin (1953), Forsee (1954) y Hodgson (1963).

Por otro lado, se observó que los tenores de Mn disminuyeron levemente en los tratamientos en que se adicionó 1% de suelo natural al suelo esterilizado. Esta última respuesta es idéntica en ambos suelos, pero aún así todos los valores de Mn siguen siendo muy altos. Estas oscilaciones muy probablemente se relacionan con las poblaciones microbianas incorporadas a través del suelo natural, lo cual les permite un rápido desarrollo al encontrar un ambiente estéril. Respecto de la diferente magnitud de esta fluctuación del Mn entre ambos suelos, por efecto de la esterilización (muy superior en el suelo B), probablemente esté relacionada con la apreciable diferencia de MO entre ambos suelos. Se ha establecido que parte importante del Mn^{+2} se asocia con

Cuadro 3. Contenido de Mn de dos suelos de la IX Región esterilizados en autoclave, a los 40 días de desarrollo de plantas de trigo cv. Dalcahue-INIA

Table 3. Mn content of two autoclave sterilized soils from the IX Region, 40 days after sowing with wheat cv. Dalcahue-INIA

Suelo	Tratamiento	Contenido de Mn
Supresivo A	Suelo natural	35 e
Supresivo A	Suelo estéril	156 a
Supresivo A	Suelo estéril + 1% suelo natural	118 b
Conducivo B	Suelo natural	3,3 f
Conducivo B	Suelo estéril	69,6 c
Conducivo B	Suelo estéril + 1% suelo natural	65,6 d
	Valor de Tukey	2,04 *

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según prueba de Tukey.

la MO (Katyal y Randhawa, 1986) formando quelatos a través de los ácidos húmicos y fúlvicos existentes en ella (Fassbender, 1975).

Respecto del peso total de la MS de la parte aérea y de raíces, las variaciones en el contenido de Mn no afectaron en forma significativa ninguno de los dos parámetros (Cuadro 4). Tampoco se apreciaron diferencias en MS aérea y radical en cada suelo, a pesar de la variación existente en el contenido de Mn. Lo anterior es un indicador de que los altos tenores de este micronutriente, en ambos suelos, no resultaron restrictivos para el desarrollo de las plantas. Este antecedente reviste especial importancia para efecto de la metodología empleada en la determinación de las características supresivas/conducivas de los suelos, toda vez que la expresión de la inhibición natural es determinada a través del incremento en la MS de las plantas, además de la infección radical. Con estos resultados se descartaría el efecto del Mn sobre el incremento de la MS observada en suelos supresivos, al ser éstos mezclados con un 1% de suelo natural.

Cuadro 4. Materia seca de parte aérea y de raíces de trigo cv. Dalcahue-INIA, a los 40 días de la siembra en suelo natural y suelo esterilizado en autoclave

Table 4. Leaf and root dry matter of wheat cv. Dalcahue-INIA, 40 days after sowing in natural and autoclaved soils

Suelo	Tratamiento	MS parte aérea/planta (g)	MS raíz/planta (g)
Supresivo A	Suelo natural	0,0265	0,0144
Supresivo A	Suelo estéril	0,0267	0,0130
Supresivo A	Suelo estéril + 1% suelo natural	0,0283	0,0154
Conducivo B	Suelo natural	0,0276	0,0159
Conducivo B	Suelo estéril	0,0277	0,0143
Conducivo B	Suelo estéril + 1% suelo natural	0,0316	0,0163
	Valor F Tratamiento	1,73 NS	1,60 NS
	C.V. %	17,6	21,9

C.V.: coeficiente de variación.
NS: no significativo.

II) Efecto del contenido de Mn del suelo sobre la infección radical

En este experimento los cambios químicos generados por el proceso de esterilización con microonda fueron considerablemente menores a los provocados con la esterilización en autoclave (Cuadros 2 y 5). Prácticamente no hubo cambios en los tenores de N y S, elementos que se mineralizan fácilmente en suelos con alto contenido de MO como es el suelo trumao (conducivo). El único cambio significativo derivado de la esterilización de ambos suelos fue nuevamente el contenido de Mn disponible, aunque ahora el incremento fue menor que en el experimento anterior. El suelo rojo arcilloso (supresivo) alcanzó el mayor valor (53,8 mg kg^{-1}), mientras que el trumao (conducivo) llegó a 29,0 mg kg^{-1}. El resto de los parámetros químicos no varió significativamente. Cabe señalar que si bien los suelos utilizados en este experimento provienen del mismo sitio que aquellos empleados en el primero, éstos fueron colectados en una fecha posterior. Ello puede explicar algunas variaciones en los tenores de Mn inicial, derivados del contenido de humedad específico del suelo.

La evolución del tenor de Mn del suelo al cabo de los 40 días se presenta en el Cuadro 6. Al igual que en el experimento anterior, se observó un incremento importante del Mn producto de la esterilización del suelo, y esta vez el aumento también fue proporcionalmente mayor en el suelo B. Con excepción del tratamiento con suelo B natural, todos los valores de Mn califican en la categoría alto (Rodríguez, 1993), independientemente del tratamiento evaluado.

Cuadro 5. Caracterización química de dos suelos de la IX Región, en su condición natural y sometido a esterilización con microonda

Table 5. Chemical characterization of two woils from the IXth Region, in its natural condition and sterilized by microwave

Análisis químico	Unidad	Supresivo A		Conducivo B	
		Natural	Estéril	Natural	Estéril
Nitrógeno disponible	mg kg^{-1}	37	31	74	82
Fósforo disponible	mg kg^{-1}	9	8	10	7
Azufre extractable	mg kg^{-1}	8	8	32	35
M. orgánica	%	9	8	16	17
pH agua	1:2,5	5,2	5,2	5,2	5,2
Calcio intercambio	cmol kg^{-1}	7,52	8,30	3,44	3,14
Magnesio intercambio	cmol kg^{-1}	1,84	2,02	0,57	0,52
Potasio intercambio	cmol kg^{-1}	1,06	1,14	0,40	0,40
Sodio intercambio	cmol kg^{-1}	0,11	0,14	0,16	0,15
Aluminio intercambio	cmol kg^{-1}	0,73	0,67	0,07	0,10
CICE	cmol kg^{-1}	11,26	12,27	4,64	4,31
Saturación de aluminio	%	6,5	5,5	1,5	2,3
Boro extractable	mg kg^{-1}	0,44	0,36	0,36	0,36
Hierro extractable	mg kg^{-1}	41,76	41,00	37,52	40,32
Manganeso extractable	mg kg^{-1}	10,80	53,84	2,76	29,04
Cobre extractable	mg kg^{-1}	2,32	2,36	2,24	2,20
Zinc extractable	mg kg^{-1}	0,52	0,56	0,48	0,80

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

De la comparación del contenido final de Mn de los suelos con y sin Ggt (Cuadro 7), se desprende que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, en ambos suelos, excepto en el caso del suelo B entre los tratamientos suelo estéril y suelo estéril + Ggt. Sin embargo, incluso en este mismo caso, esta variación está asociada a valores de rango alto de disponibilidad de Mn.

Cuadro 6. Contenido de Mn en los suelos A y B, al cabo de 40 días de desarrollo del trigo cv. Dalcahue-INIA

Table 6. Mn content of soils A and B 40 days after sowing wheat cv. Dalcahue-INIA

Suelo	Tratamiento	Contenido de Mn (mg kg^{-1})
Supresivo A	Suelo natural	10,71
Supresivo A	Suelo natural + Ggt	10,98
Supresivo A	Suelo estéril	62,08
Supresivo A	Suelo estéril + Ggt	61,96
Conducivo B	Suelo natural	2,47
Conducivo B	Suelo natural + Ggt	2,59
Conducivo B	Suelo estéril	27,51
Conducivo B	Suelo estéril + Ggt	19,91
	Valor F Tratamiento	1.956,94**
	CV: %	6,6

C.V.: Coeficiente de variación.
**($P \leq 0,01$).

Respecto del posible efecto del Mn sobre la infección radical, los resultados se presentan en el Cuadro 8. En ellos se puede observar que la infección radical en las plantas de trigo se expresó en forma muy similar en ambos suelos, independientemente del contenido de Mn. Se puede observar que mientras la infección en los tratamientos de suelo estéril sin Ggt era prácticamente cero, en los tratamientos de suelo estéril + Ggt, ésta era superior al 87%. Lo anterior indica que el alto contenido de Mn no se tradujo en una disminución de la infección, aun cuando este micronutriente aumentó en forma muy significativa por efecto de la esterilización de los suelos. Estos resultados descartarían el posible efecto del Mn en la disminución de la enfermedad en estos suelos, contrariamente a lo observado por varios autores (Wilhelm *et al.*, 1988; Lucas y Sarniguet, 1990; Huber y McCay-Buis, 1993, citados por Hornby, 1998) en otros lugares del mundo. Por tanto, la disminución de la infección observada en los suelos supresivos, al adicionar un 1% de suelo natural a suelo esterilizado, no estaría influenciada por el aumento en el contenido de Mn producto del proceso de esterilización.

Cuadro 7. Contrastes ortogonales del contenido de Mn del suelo, a los 40 días desde la siembra de trigo cv. Dalcahue

Table 7. Orthogonal contrasts of Mn content of soils A and B, 40 days after sowing wheat cv. Dalcahue-INIA

Tratamiento	Mn (mg kg^{-1})	Tratamiento	Mn (mg kg^{-1})	Prueba de F
Suelo Supresivo A				
Suelo natural	10,71	Suelo natural + Ggt	10,98	0,20 NS
Suelo esterilizado	62,08	Suelo estéril + Ggt	61,96	0,04 NS
Suelo Conducivo B				
Suelo natural	2,47	Suelo natural + Ggt	2,59	0,04 NS
Suelo esterilizado	27,51	Suelo estéril + Ggt	19,91	144,38**

NS: no significativo.
**($P \leq 0,01$).

Cuadro 8. Materia seca aérea e infección radical de trigo cv. Dalcahue-INIA, al cabo de 40 días desde la siembra

Table 8. Leaf dry matter and root infection of wheat cv. Dalcahue-INIA, 40 days after sowing

Suelo	Tratamiento	MS aérea/ planta (g)	Infección de raíces (%)
Supresivo A	Suelo natural	0,0553	6,7
Supresivo A	Suelo natural + Ggt	0,0626	0,2
Supresivo A	Suelo estéril	0,0707	0,2
Supresivo A	Suelo estéril + Ggt	0,0259	87,1
Conducivo B	Suelo natural	0,0677	5,1
Conducivo B	Suelo natural + Ggt	0,0654	0,6
Conducivo B	Suelo estéril	0,0880	0,5
Conducivo B	Suelo estéril + Ggt	0,0341	89,1
	Valor de F	36,13**	137,43**
	CV: %	18,6	46,3

C.V.: Coeficiente de variación.
**($P \leq 0,01$).

La MS foliar de las plantas de trigo, como era de esperar, respondió en forma inversamente proporcional a la infección radical, siendo significativamente afectada por la enfermedad (Cuadro 8). En ambos suelos tratados por esterilización, ésta disminuyó en cerca de 3 veces cuando se inoculó con Ggt. También se pudo apreciar que la respuesta fue muy similar en ambos suelos, independientemente del contenido de Mn alcanzado (Cuadro 6).

Los contrastes ortogonales efectuados para infección y MS (Cuadros 9 y 10, respectivamente), reflejan que las diferencias observadas en porcentaje de infección y peso de MS fueron altamente significativas. Ello ocurrió a pesar de incrementarse significativamente el Mn en los tratamientos con suelo esterilizado (Cuadro 6), descartando así el posible efecto del Mn en la disminución de la enfermedad.

Cuadro 9. Contrastes ortogonales de la infección radical (%) de trigo var. Dalcahue-INIA, a los 40 días desde la siembra

Table 9. Orthogonal contrasts of root infection of wheat cv. Dalcahue-INIA, 40 days after seeding

Tratamiento	Infección (%)	Tratamiento	Infección (%)	Prueba de F
Supresivo A				
Suelo natural	6,7	Suelo natural + Ggt	0,2	2,15 NS
Suelo estéril	0,2	Suelo estéril + Ggt	87,1	457,28**
Conducivo B				
Suelo natural	5,1	Suelo natural + Ggt	0,6	1,08 NS
Suelo estéril	0,5	Suelo estéril + Ggt	89,1	430,93**

NS: No significativo.
**($P \leq 0,01$).

Cuadro 10. Contrastes ortogonales de la materia seca foliar de trigo cv. Dalcahue-INIA, a los 40 días desde la siembra

Table 10. Orthogonal contrasts of leaf dry matter of wheat cv. Dalcahue-INIA, 40 days after seeding

Tratamiento	MS foliar (g)	Tratamiento	MS foliar (g)	Prueba de F
Supresivo A				
Suelo natural	0,0553	Suelo natural + Ggt	0,0626	3,22 NS
Suelo estéril	0,0707	Suelo estéril + Ggt	0,0259	84,62**
Conducivo B				
Suelo natural	0,0677	Suelo natural + Ggt	0,0654	0,12 NS
Suelo estéril	0,0880	Suelo estéril + Ggt	0,0341	117,13**

NS: No significativo.
**($P \leq 0,01$).

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados presentan niveles relativamente altos de Mn disponible. Estos valores tienden a incrementarse producto de la esterilización, principalmente con autoclave y, en menor medida con microonda, independientemente que se trate de suelos calificados como supresivos o conducivos a la pudrición radical.

La MS de las plantas no se ve afectada por las variaciones experimentadas por el Mn en estos suelos, al tratarlos con esterilización.

El proceso de infección radical de las plantas de trigo, por efecto de la inoculación con el hongo causal, opera en forma totalmente independiente del contenido de Mn disponible del suelo, sea éste supresivo o conducivo. La infección radical llegó a niveles tan altos como un 89%, a pesar de los valores significativamente altos de disponibilidad de Mn. Lo anterior indica que la inhibición de la infección observada al transferir 1% de suelo supresivo a una base de suelo estéril, no se debe al mayor contenido de Mn del suelo esterilizado, sino a factores bióticos asociados a esos suelos.

La metodología que contempla la esterilización de los suelos y la transferencia de factores bióticos, para la determinación de la naturaleza supresiva o conduciva a la pudrición radical, no está afectada por las variaciones experimentadas en los contenidos de Mn de estos suelos, y aparentemente tampoco por el estado nutricional de los mismos, lo cual permitiría reafirmar el carácter biológico del fenómeno de supresividad.

LITERATURA CITADA

Allison, L.E. 1951. Vapor–phase sterilization of soil with ethylene oxide. Soil Sci. 72:341-35.

Andrade, O., D.E Mathre, and D.C. Sands. 1994. Suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in Montana soils and its transferability between soils. Soil Biol. Biochem. 26:397-402.

Asher, M.J.C., and P.J. Shipton. 1981. Biology and control of take-all. 538 p. Academic Press, London, England.

Clarkson, J.D., and R.W. Polley. 1981. Diagnosis, assessment, crop-loss appraisal and forecasting. p. 251-269. *In* M.J.C. Asher and P.J. Shipton (eds.) Biology and control of take-all. Academic Press, London, England.

Cook, R.J. 1990. Twenty five years of progress towards biological control. p. 131-142. *In* D. Hornby (ed.) Biological control of soil-borne plant pathogens. C.A.B. International, Wallingford, England.

Cook, R.J., and A.D. Rovira. 1976. The role of bacteria in the biological control of *Gaeumannomyces graminis* by supressive soils. Soil Biol. Biochem. 8:268-273.

Cook, R.J., and D.M. Weller. 1987. Management of take-all in consecutive crops of wheat or barley. p. 41-76. *In* I. Chet (ed.) Innovatives approaches to plant disease control. John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

Fassbender, H.W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 398 p. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA), Turrialba, Costa Rica.

Forsee, W.T. Jr. 1954. Conditions affecting the availability of residual and applied manganese in the organic soils of the Florida Everglades. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18:475-478.

Gerlagh, M. 1968. Introduction of *Ophiobolus graminis* into new polders and its decline. Neth. J. Plant Pathol. 74:1-97.

Graham, R.D. 1983. Effect of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. Adv. Bot. Res. 10:221-276.

Graham, R.D., R.J. Hannam, and N.C. Uren. 1991. Manganese in Soils and Plants. 455 p. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Hodgson, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. Adv. Agron. 15:119-159.

Hornby, D. 1998. Take-all disease of cereals; a regional perspective. 384 p. C.A.B. International, Wallingford, England.

Huber, D.M. 1998. Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de las plantas. p. 12-13. Informaciones Agronómicas N° 32. INPOFOS A.S., Quito, Ecuador.

Huber, D.M., and T.S. McCay-Buis. 1993. A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. Plant Dis. 77:437-447.

Katyal, J.C., y N.S. Randhawa. 1986. Micronutrientes. 93 p. Boletín FAO. Fertilizantes y Nutrición Vegetal N° 7. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Mantylahti, V., and T. Ylaranta. 1981. The effect of heat treatment and ionizing irradiation on the extractability of some macro and micronutrients in soils. Ann. Agriculturae Fenniae 20:253-260.

Marschner, H. 1990. Adaptation of plants to adverse chemical soil conditions. p. 477-542. *In* Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, England.

Martin, J.P. 1953. Soil fumigation of citrus replants. American Fruit Grower 73(10):7-18.

Martin J.P., W.J. Farmer, and J.O. Ervin. 1973. Influence of steam treatment and fumigation of soil on growth and elemental composition of avocado seedlings. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:56-60.

Rodríguez, S.J. 1993. Manual de fertilización. 362 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Rovira, A.D., and G.B. Wildermuth. 1981. The nature and mechanisms of suppression. p. 385-415. *In* Asher, M.J.C. and Shipton, P.J. (eds.). Biology and control of take-all. Academic Press, London, England.

Rubio, R., R. Uribe, F. Borie, E. Moraga, y A. Contreras. 1994. Micorrizas VA en horticultura. Velocidad de infección en lechuga y tomate y su incidencia sobre el desarrollo del cultivo. Agricultura Técnica (Chile) 54:7-14.

Ryder, M.H., P.G. Brisbane, and A.D. Rovira. 1990. Mechanisms in the biological control of take-all of wheat rhizosphere bacteria. p. 123-130. *In* Hornby, D. (ed.) Biological control of soil-borne plant pathogens. C.A.B. International, Wallingford, England.

Sadzawka, M.A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina N° 16. 130 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Shipton, P.J., R.J. Cook, and J.W. Sitton. 1973. Occurrence and transfer of biological factor in soil that suppresses take-all of wheat in Eastern Washington. Phytopathology 63:511-517.

Weller, D.M., and R.J. Cook. 1983. Suppression of take-all of wheat by seed treatments with fluorescent Pseudomonads. Phytopathology 73:463-469.