

# DISPONIBILIDAD DE HIERRO Y MANGANESO EN SUELOS CON AIREACION RESTRINGIDA<sup>1</sup>

## Iron and manganese availability in restricted aeration soil

Claudio Ciudad B.<sup>2</sup> y Regina Ite D.<sup>2</sup>

### S U M M A R Y

Some relation has been observed between soil aeration and radical absorption of iron and manganese in *Lens culinaris*. A growing and irregular increase of the absorption causes foliar augmentation, a phenomenon called "marea negra".

When marea negra inductive soils are exposed to aqueous suspension (1:5), controlled aeration and constant pH 3, in hermetic seal conditions reversible changes with increase and decrease of redox potential occur that can augment or diminish heavy metals solubility.

In that case, soil oxygen activity would explain solubility, availability and absorption of those metals by changes of redox potential.

**Key words:** soil, redox potential, aeration, nutrition disorder, iron, manganese, *Lens culinaris*, syndrome "marea negra".

### INTRODUCCION

Trabajos realizados por France y Tay (1986) y, posteriormente, por Sepúlveda y Baherle (1986), denunciaron en lenteja (*Lens culinaris*), un síndrome de disfunción nutricional, caracterizado por altos niveles foliares de manganeso y hierro. Cuya presencia es atribuida a un aumento en la absorción radical de los mencionados elementos, por esa única vía de acceso, y cuyo mecanismo fisiológico y bioquímico, en este caso, es desconocido. Todo este anormal proceso de toxicidad se manifiesta en una fuerte desfoliación que, naturalmente, según su intensidad, afecta el rendimiento del cultivo.

De estos fundamentales trabajos se desprende que, el síndrome llamado "marea negra" es un desorden nutricional, cuyas causales directas se originarían en la interfase raíz-suelo-microorganismos, llamada rizósfera. Es, en este espacio, de gran dinámica bioquímica (Marschner y otros, 1986), donde llega la solución del suelo con su carga de nutrientes y cuyas estructuras químicas sufren cambios que afectan su solubilidad y disponibilidad potencial para ser absorbidos por la planta.

Estos cambios se desencadenan bajo determinadas circunstancias ambientales, como, los regímenes

térmico y pluviométrico (Linehan, Sinclair y Mitchell, 1989), junto con otros factores concomitantes en la solubilización del hierro y manganeso, como el potencial de óxido reducción ( $\Delta V_{redox}$ ), controlado por el oxígeno en la aireación. También incide en la solubilidad y movilización de estos iones la acidificación de la rizósfera por desbalance entre la entrada de aniones y cationes (Marschner y Römheld, 1983; Marschner y otros, 1986 y 1986a). Las leguminosas dependen de la fijación simbiótica de nitrógeno y tienden a establecer una relación catión-anión similar a las plantas que utilizan el amonio ( $NH_4$ ), acidificando el medio (Sadzawka y Ciudad, 1987).

Otra variante lo constituyen los exudados radicales, como ácidos orgánicos y aminoácidos que tienen una doble función, bajar el pH y actuar como quelantes, caso del citrato (Gardner, Parbery y Barber, 1982). Además, se ha observado, en algunas plantas, la reducción del ión férrico por acción de sustancias fenólicas (Olsen y otros, 1981).

En este mismo sentido, los microorganismos ubicados en la interfase aportan sustancias quelantes que favorecen la movilización del Fe y Mn (Linehan y otros, 1989).

Todos estos antecedentes experimentales, proyectados y cotejados sobre el síndrome de marea negra, indican que el origen del problema se produciría por anomalías que ocurren al interaccionar

<sup>1</sup>Recepción de originales: 27 de diciembre de 1993.

<sup>2</sup>Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

el suelo y la planta con sus particulares propiedades y que inducen a priorizar estudios relacionados con mecanismos generales para el control bioquímico de la movilidad y disponibilidad potencial del hierro y manganeso en la rizósfera de la lenteja.

Un modelo primario de simulación para estudiar la disponibilidad de estos elementos, bajo condiciones físico-químicas controladas, como pH y potencial redox, en suelos inductores del síndrome, lo constituye un sistema propuesto por Patrick, Williams y Moraghan (1973). Suspensiones acuosas de este suelo, bajo condiciones estándares, son sometidas por largos períodos a aireación y desaireación forzada, para posteriormente, cuantificar el hierro y manganeso soluble.

El objetivo de la presente investigación fue comprobar que el suelo proveniente del Campo Experimental Santa Rosa era un suelo inductor de marea negra.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio contó de dos etapas: la primera se realizó bajo invernadero, cultivando lentejas en suelo inductor de marea negra, proveniente del Campo Experimental Santa Rosa del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Provincia de Ñuble, VIII Región), cuyo origen es andesítico, basáltico, derivado de piroclastos volcánicos (cenizas), franco arcilloso y rico en materiales ácidos. Algunas características químicas y físicas del suelo aparecen en el Cuadro 1.

#### CUADRO 1. Algunas características químicas y físicas de suelo inductor de marea negra

TABLE 1. Chemical and physical properties of marea negra induction soil

Fe DTPA	96 mg/kg
Mn DTPA	16 mg/kg
Ca intercambiable	7 cmol+/kg
Al intercambiable	12 cmol+/kg
N intercambiable	27 mg/kg
P NaHCO <sub>3</sub>	30 mg/kg
K disponible	160 mg/kg
Materia orgánica	5,5%
pH, relación 1:2,5 (agua)	5,6
Conductividad eléctrica	0,1 ds/m
Arena	38,4%
Limo	25,0%
Arcilla	36,6%
Clase textural	Franco arcilloso
Densidad aparente	1,14 kg/m <sup>3</sup>
Retención humedad	
Capacidad de campo (1/3 atm)	29,58%
Punto de marchitez permanente(15 atm)	15,29%
Humedad aprovechable	14,29%

Debido a que en invernadero se observó síntomas de marea negra en lenteja, se efectuó una segunda etapa en el Laboratorio de Contaminación de la Estación Experimental La Platina (INIA), utilizando este mismo suelo para la medición del potencial redox y el estudio de solubilidad de hierro y manganeso.

El estudio bajo invernadero se realizó durante ocho semanas, con plantas de lentejas (*Lens culinaris*, var. Araucana-INIA) cultivadas en macetas que contenían 2,5 kg de suelo sin fertilización adicional y con riego normal, para lo cual, se utilizaron 8 macetas con tres plantas cada una.

En el laboratorio las mediciones se efectuaron utilizando los siguientes equipos y técnicas.

- Bomba de aire para acuario.
- Cuba de reacción de ambiente controlado (aeróbico y anaeróbico) con entrada de gases (aire y nitrógeno). Dotado de electrodos de platino y calomel con puente de agar, electrodo combinado de pH y trampa de aire (Figura 1).
- Potenciómetro digital (CP30 +700 a -400 mV), dotado de relé para interrumpir el trabajo de la bomba de aire una vez alcanzado el potencial programado.
- pH metro automático.
- Sistema de filtración Millipore con filtro de membrana de celulosa de 0,45 µm.

Respecto a la técnica utilizada, y debido a la imposibilidad de agitar suelos con alto contenido de arena por períodos prolongados (varios días) dentro de la cuba de reacción, consecuencia del extraordinario desgaste del magneto y material de vidrio, ésto obligó a la extracción de la fracción arena del resto de la muestra. Para ello se sometió una suspensión de 1:5 suelo:agua (1:5), a ultra sonido (70W/cm<sup>2</sup>), durante tres minutos, para luego filtrarla por un tamiz de 300 mesh. El filtrado se recibió en una cuba de reacción de 750 ml, en condiciones de absoluta hermeticidad, donde es posible controlar el potencial redox ( $\Delta V$  redox), el pH, el flujo de gases (aire/nitrógeno) y soluciones, la velocidad de agitación y la temperatura.

Dado que la máxima solubilidad para los cationes en estudio corresponde a pH 3, las mediciones del potencial redox se hicieron a esa acidez constante, mediante adiciones de ácido cítrico en cantidades suficientes.

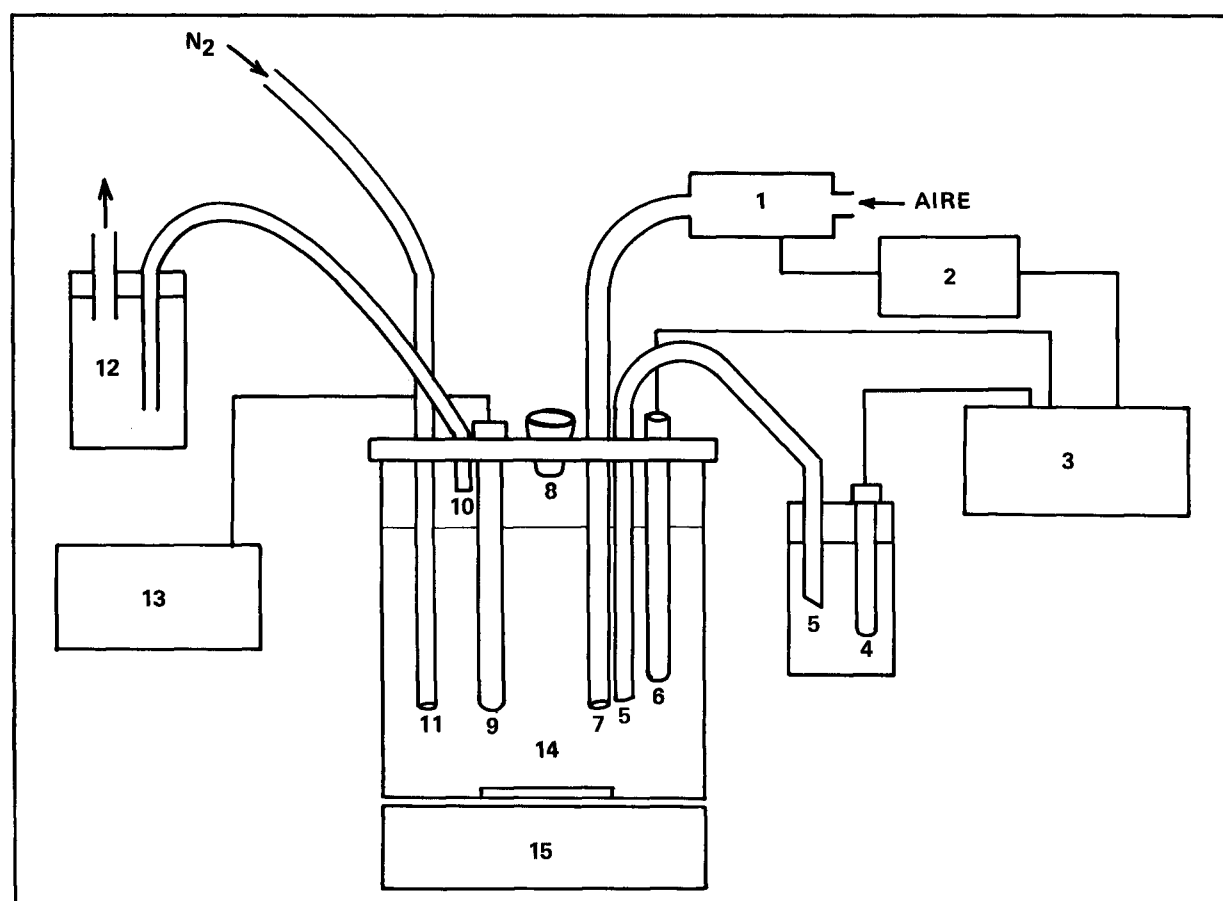


FIGURA 1. Cuba de reacción. 1: Bomba de aire, 2: Controlador de Eh, 3: Potenciómetro (Eh), 4: Electrodo de calomelano, 5: Puente salino, 6: Electrodo de platino, 7: Entrada de aire, 8: Tapón de goma, 9: Electrodo combinado pH, 10: Salida de gases, 11: Entrada de N<sub>2</sub>, 12: Trampa de gases, 13: Potenciómetro (pH), 14: Barra magnética, 15: Agitador magnético.

FIGURE 1. Reaction flask. 1: Air pump, 2: Meter relay, 3: Millivolt meter, 4: Calomel electrode, 5: Salt bridge, 6: Platinum electrodes, 7: Air inlet, 8: Serum cap, 9: Combination ph electrode, 10: Gas outlet, 11: Nitrogen inlet, 12: Gas trap, 13: pH meter, 14: Stirring bar, 15: Magnetic stirrer.

Una vez ajustado el pH de la suspensión, se determinaron las condiciones iniciales de potencial redox, para proceder a la aireación de la cuba y con ello obtener el máximo estado de oxidación (medio aeróbico). En este estado de oxidación del sistema, se tomó una alícuota, la cual se filtró a través de una membrana Millipore de 0,45  $\mu\text{m}$ . En el filtrado se cuantificaron los niveles de Fe y Mn por espectrofotometría de absorción atómica, y se expresaron como gramos de elemento disponible por kilogramo de suelo seco sin arena (g/kg).

A continuación, sobre la misma cuba, se revirtió el proceso, burbujeando nitrógeno y desplazando el oxígeno residual (medio anaeróbico). En condiciones de un potencial inalterable y constante se extrajo una alícuota en la misma forma anterior.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Ensayo en invernadero

Todos los cultivos de lenteja desarrollaron el síndrome de marea negra, corroborando los antecedentes que se tenían de las observaciones de campo (France y Tay, 1986; Sepúlveda y Baherle, 1986).

### Ensayo en laboratorio

El comportamiento inicial del potencial redox en el tiempo, es muy rápido, ya que se parte con un  $\Delta V$  redox de 226 mV, y aproximadamente, en una hora de aireación, se obtiene un  $\Delta V$  redox de 254 mV, el que se mantiene por 19 días (Figura 2). Ello estaría indicando que cuando se alcanza el máximo potencial en el plató, éste se mantiene inalterable (máximo estado de oxidación), siempre que el ambiente sea aeróbico.

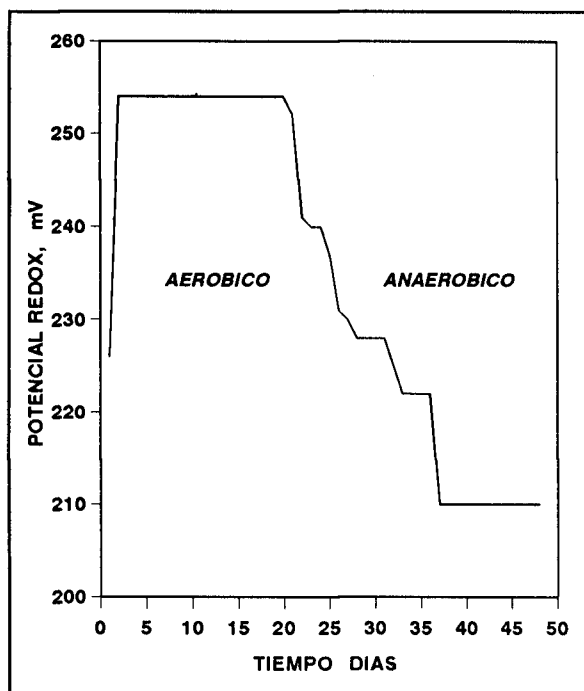


FIGURA 2. Dinámica del potencial redox ( $\Delta V_{redox}$ ) de una suspensión de suelo en medios aeróbicos y anaeróbicos, a pH 3 constante. Suelo inductor marea negra. Dilución 1:5.

FIGURE 2. Potential redox dynamic ( $\Delta V_{redox}$ ) in aerobic and anaerobic media soil suspension, at constant pH 3.

Por otra parte, al décimo noveno día, cuando al sistema se le insufla nitrógeno, en medio anaeróbico, comienza un paulatino descenso del  $\Delta V_{redox}$ , por desplazamiento del oxígeno, para llegar al día trigésimo sexto a un  $\Delta V_{redox}$  de 210 mV, que también se mantiene inalterable y constante en una especie de plató (210 mV), por un período de 11 días.

El análisis del hierro y manganeso soluble indicó que la solubilidad de ellos en la suspensión del suelo inductor de marea negra, a pH 3 constante, se ve afectada en función de los cambios del potencial redox, como consecuencia de la aireación.

Es así como en el caso del hierro, con un  $\Delta V_{redox}$  de 210 mV, se obtiene una solubilidad equivalente 17,20 g/kg de Fe, el que disminuye a 0,47 g/kg de Fe por aireación cuando el  $\Delta V_{redox}$  es de 254 mV, lo que representa una caída en la disponibilidad potencial del elemento de un 97,27%.

Para manganeso, a 210 mV se tiene una solubilidad de 3,44 g/kg de Mn que decae a 0,17 g/kg de Mn, por aireación a 254 mV. La caída de disponibilidad potencial para Mn representa un 95,06%.

Estos cambios reversibles de solubilidad, son, en definitiva, variaciones de la disponibilidad potencial del hierro y manganeso en la solución del suelo, cuando se ve afectado el fenómeno de aireación por impedimentos mecánicos, físicos y químicos, y cuya dinámica es potenciada o atenuada, según la situación imperante en la rizósfera, como pueden ser la acidez, exudados radiculares, fenoles, sustancias quelantes, microorganismos, restos de proteínas y aminoácidos, y las condiciones ambientales (temperatura y humedad).

### CONCLUSIONES

- Bajo condiciones de invernadero se reproduce el síndrome de marea negra, en macetas de lentejas cultivadas en suelos que desencadenan este desorden nutricional, confirmando, con ello, las observaciones a nivel de campo.
- Suspensiones acuosas de este suelo (1:5), desprovisto de la fracción arena, a pH 3 constante, sometido convenientemente a una aireación controlada por tiempos prolongados, presenta cambios sustanciales del potencial redox. Altos para aireación máxima (medio aeróbico) y bajos en ausencia de aire (medio anaeróbico).
- La disponibilidad potencial o solubilidad del hierro y manganeso en la suspensión del suelo sin arena, disminuye o aumenta en forma reversible al aumentar o disminuir el potencial redox en función de la aireación.
- En definitiva, el oxígeno es el principal regulador natural de disponibilidad del Fe y Mn en el suelo, y su presencia y actividad va a depender de las dificultades que impidan su difusión en ese medio.
- Estos antecedentes permiten explicar, en parte, la absorción radical de Fe y Mn en lentejas, mediante un mecanismo anaeróbico reductor, que ocurre en la rizósfera.

## RESUMEN

Se ha observado cierta relación entre la falta de aireación de un suelo y la absorción radical en *Lens culinaris*, de algunos metales, como hierro y manganeso, en forma creciente e irregular aumentando sus niveles foliares, síndrome llamado marea negra.

Al someter estos suelos inductores del síndrome en suspensión acuosa (1:5) a aireación y pH=3 controlados, en cubas herméticas se producen cambios reversibles con aumento o disminución del potencial redox, que redundan en descenso o aumento de la solubilidad de ambos microelementos.

Situación que explicaría en parte la participación del oxígeno en el control de la solubilidad, disponibilidad y absorción de dichos elementos, por cambio en su estado de oxidación.

**Palabras claves:** suelo, potencial redox, aireación, desorden nutricional, hierro, manganeso.

## LITERATURA CITADA

- FRANCE I., ANDRES y TAY U., JUAN. 1986. Problema nutricional en lentejas (*Lens culinaris*) asociado a altos contenidos de manganeso y hierro. Agricultura Técnica (Chile) 46: 379-383.
- GARNER, W.K., PARBERY, D.G. and BARBER, D.A. 1982. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. II. The effect of varying supply and soil type on some characteristic of the soil/root interfase. Plant and Soil 68: 33-41.
- LINEHAN, D.J., SINCLAIR, A.H. and MITCHELL, M.C. 1989. Seasonal changes in Cu, Mn, Zn and Co concentrations in soil in the root zone of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Soil Science 40: 103-115.
- MARSCHNER, H. and ROMHELD, V. 1983. *In vivo* measurement of root induced pH changes at the soil-root interfase: Effect of plant species and nitrogen source. Z. Pflanzenphysiol. 111: 241-251.
- MARSCHNER, H., ROMHELD, V., KISSEL, M. and MULLER, CH. 1986. Mobilization of iron and manganese in the rhizosphere. Society of Soil Science. XIII Congress of the International Society of Soil Science. Hamburgo, Germany. Volume V: 193-200.
- MARSCHNER, H., ROMHELD, V. and KISSEL, M. 1986a. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. J. Plant Nutr. 9: 695-613.
- OLSEN, R.A., BENNET, J.H., BLUME, D. and BROWN, J.C. 1981. Chemical aspects of the Fe stress response mechanism in tomatoes. J. Plant Nutr. 3: 905-921
- PATRICK, W.H. JR., WILLIAMS, B.G. and MORAGHAN, J.T. 1973. A simple method for controlling redox potential and pH in soil suspensions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 331-332.
- SADZAWKA R., ANGELICA y CIUDAD B., CLAUDIO. 1987. Efecto del pH de la rizósfera sobre toxicidad de manganeso en lentejas y frejoles. Sociedad de la Ciencia del Suelo. V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. 26 al 28 de octubre, Valparaíso, Chile. p.: 157-159.
- SEPULVEDA R., PAULINA y BAHERLE V., PEDRO. 1986. "Marea negra" en lenteja. Una enfermedad provocada por un desorden nutricional. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina 36: 20-23.