

# Acidificación de suelos para cultivo de arándanos y sus efectos sobre la disponibilidad de nutrientes

**JUAN HIRZEL CAMPOS**

Ingeniero Agrónomo M.Sc. Dr.  
INIA Quilamapu

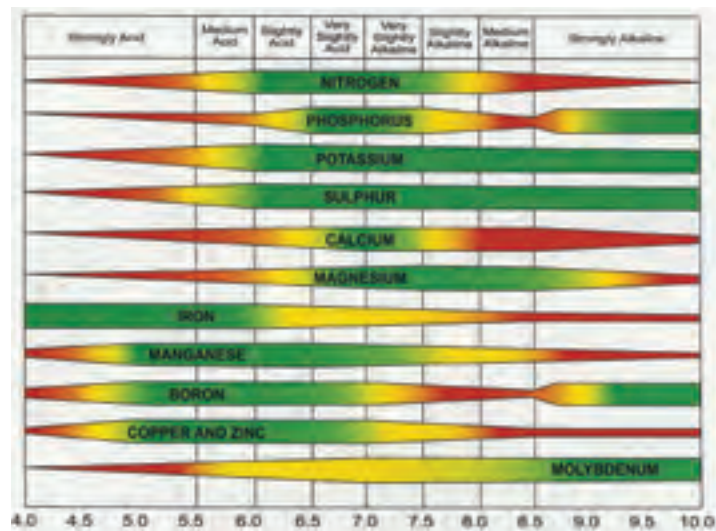
Los suelos usados para agricultura presentan diferentes propiedades relacionadas con la mayor o menor capacidad de producción de diferentes especies de uso agrícola. Estas propiedades se clasifican en físicas, químicas y biológicas, en función de su rol dentro del suelo (estructurarlo, permitir su hidratación, su drenaje, retención y entrega de nutrientes, actividad de microorganismos, etc). Dentro de las propiedades químicas se encuentra la reacción de acidez o alcalinidad del suelo, también llamada pH, que determina la relación de concentración entre el hidrógeno ( $H^+$ ) e hidroxilo ( $OH^-$ ) en un medio acuoso (pH al agua). En términos químicos el pH del suelo se determina como el logaritmo negativo de la concentración de  $H^+$  en solución, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$pH = -\text{Log} [H^+]$$

La escala de pH del suelo se encuentra entre 0 y 14, y entre cada punto dentro de esta escala existe una diferencia de concentración de 10 veces más o menos  $H^+$ , y de manera inversa 10 veces menos o más concentración de  $OH^-$  (Glendinning, 2000).

En términos agronómicos, el pH del suelo afecta directamente la mayor o menor disponibilidad de nutrientes hacia las plantas, como se presenta en la siguiente figura:

How soil pH affects availability of plant nutrients.



De esta forma, si el pH es ácido (menor de 5,5) en general se reduce la disponibilidad de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Boro (B) y Molibdeno (Mo), y se incrementa la disponibilidad de Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Aluminio (Al). En el otro extremo, cuando el pH del suelo es básico (mayor a 8,0) se reduce la disponibilidad de Fe, Zn, Mn, y en muchos casos N, P y K, aumentando también la disponibilidad de Mo y de otros iones que en cierta concentración pueden afectar indirectamente el crecimiento de las plantas como los carbonatos y bicarbonatos. Asimismo, cuando el pH se encuentra entre 6,0 y 7,0 se presenta la mayor disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales (dentro de su fracción disponible o biodisponible) para la mayoría de las plantas cultivadas con fines agrícolas.

Un aspecto de mucha importancia asociado al pH del suelo se refiere a que en condiciones de incremento de la acidez (pH menor a 5,8) se produce también un incremento en la disponibilidad de Al y Mn, dos elementos que en alta concentración son dañinos a las plantas, sobre todo el Al, el cual afecta la capacidad de absorción de nutrientes (principalmente P) por el sistema de raíces, y además provoca intoxicación dentro de los tejidos de la planta (principalmente raíces) (Alcantar *et al.*, 2007; Benton, 1998; Havlin *et al.*, 1999). Por lo tanto, el control de la acidez del suelo permite mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, y también controlar o reducir el riesgo de toxicidad causado por la presencia de Al y eventualmente Mn.

De manera natural los suelos agrícolas se acidifican en función del paso del tiempo y de los ciclos de cultivo, y sus principales causas son las siguientes:

- MATERIAL ORIGINAL DEL SUELO (existen suelos de naturaleza más ácida como por ejemplo los graníticos del secano interior o valles interiores).
- LIXIVIACIÓN DE CATIONES ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) por efectos de las lluvias y del riego, que son sustituidos por  $Al^{2+}$  y  $Al^{3+}$  e  $H^+$ .
- CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS QUE GENERA UNA EXTRACCIÓN CONSECUTIVA DE CATIONES DE REACCIÓN BÁSICA ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) que posteriormente son reemplazados por cationes de reacción ácida ( $Al^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $H^+$ ), cuyos mecanismos se denominan Acidificación fisiológica y desbasificación.
- EROSIÓN HÍDRICA Y EÓLICA DEL SUELO (pérdida de Cationes del horizonte superficial).
- USO DE FERTILIZANTES AMONIACALES ( $NH_4^+ \rightarrow NO_3^- + 4 H^+$ ), con especial énfasis en cultivos altamente demandantes de N como el maíz, sobre todo cuando se emplean métodos de dosificación de marco teórico que sobreestiman las necesidades reales de un cultivo.

Cuando los suelos se acidifican se produce la solubilización del Al presente en los sitios de intercambio catiónico del suelo, como también el Al proveniente de los componentes estructurales del suelo, como se observa en la siguiente reacción:



El riesgo de toxicidad de Al para un cultivo agrícola se determina a través de un índice de actividad de este catión de reacción ácida en relación a los cationes de reacción básica (Ca, Mg, K, Na) a través del porcentaje de saturación de Al. Para ello se debe determinar la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) (sumatoria de los miliequivalentes o centimoles de Ca, Mg, K, Na y Al), que constituye una característica química más estable del suelo en función de cambios de pH asociados a la presencia de arcillas de carga variable (Havlin et al., 1999). La CICe se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CICe (meq/100 gr ó cmol}_\pm\text{/kg)} = \sum (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Al})$$

Posteriormente, el porcentaje de saturación de aluminio (%Sat.Al) se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sat.Al} = \frac{(\text{Al de intercambio})}{(\text{CICe})} * 100$$

El valor crítico de %Sat.Al para la mayoría de las especies agrícolas es 5%, lo cual indica que si la %Sat.Al es mayor a este valor hay riesgo de toxicidad de Al, que tendrá un riesgo creciente en la medida que este valor también aumente, afectando negativamente la productividad de las especies agrícolas.

Por su parte, el cultivo de arándano requiere condiciones de acidez de suelo para un óptimo desarrollo (Darnell et al., 1992), para lo cual se sugieren rangos de pH (al agua) desde 4,5 a 5,5 (varios autores), aunque en Chile se ha observado un adecuado desarrollo con niveles de acidez incluso levemente inferiores a pH 6,0. En condiciones de falta de acidez, la planta de arándano reduce su desarrollo y su productividad, además de presentar deficiencias de algunos nutrientes, donde destaca la deficiencia de Fe, por tratarse del elemento con mayor reducción de disponibilidad cuando el pH del suelo comienza a aumentar en valores mayores a 6,0 (**Foto 1**).

Dado que en Chile la mayoría de los suelos cultivados con arándanos presentan niveles de pH mayores al rango óptimo para esta especie, es necesario realizar una acidificación del



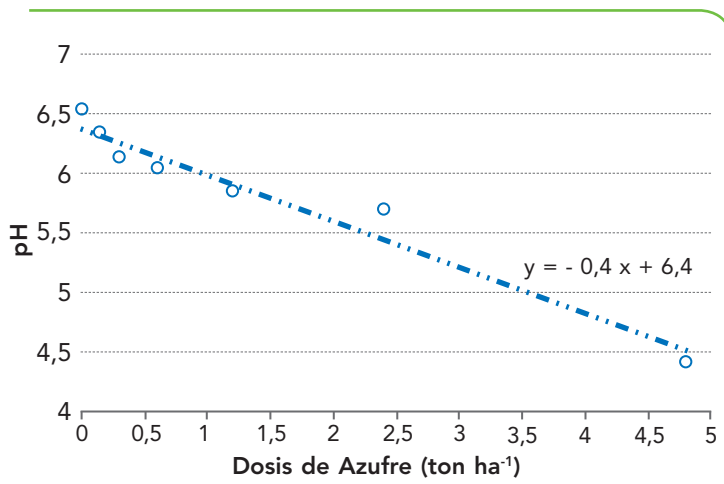
**Foto 1:** Deficiencia de Fe en arándano.

suelo, ya sea antes de plantar, como también durante el cultivo. Para ello, normalmente se emplea el Azufre elemental (S) como una enmienda que permite reducir la acidez, dado que la reacción del S con el agua y el oxígeno del suelo, en presencia de microorganismos quimioautotróficos especializados (*Thiobacillus* y otras especies), genera ácido sulfúrico como reacción intermedia y finalmente liberación de protones ( $\text{H}^+$ ) que acidifican el suelo (Navarro y Navarro, 2003). En otras ocasiones se realizan aplicaciones consecutivas de ácidos (sulfúrico y fosfórico principalmente) para reducir o mantener el pH del suelo dentro de un rango óptimo para el cultivo de arándano, como también fertilizantes de reacción ácida (sulfato de amonio, sulfato de potasio, fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, entre otros). Como ejemplo, en la figura 1 se presenta la reducción de pH de un suelo volcánico de la VII región frente a la adición de S elemental. En esta figura se puede observar una reducción de 0,4 unidades de pH por cada 1 tonelada de S elemental aplicado.

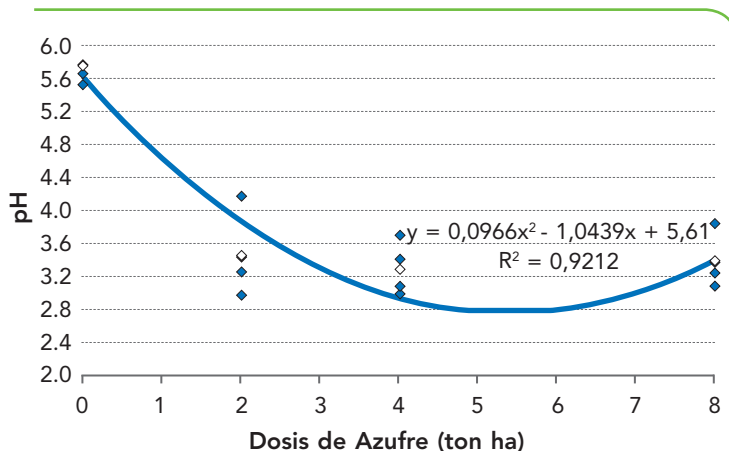
Dado que el cambio de pH generado en el suelo modifica la disponibilidad de nutrientes, en las figuras 2 a la 13 se presenta las modificaciones de pH, N, P, K, Ca, Mg, Al, saturación de Al, Fe, Mn, B y S generadas después de un año de haber aplicado dosis crecientes de S elemental en un suelo volcánico de la VIII región. De esta forma, algunos nutrientes presentarán un incremento en su disponibilidad y otros una reducción de dicha disponibilidad.

Las dosis crecientes de S (acidificación del suelo), además de generar una reducción en el pH del suelo, afectan la disponibilidad de nutrientes, como ha sido señalado por diversos autores incluso desde antaño (Truog, 1948; Havlin et al., 1999). La disponibilidad de algunos nutrientes presenta un ajuste lineal como el S, Mn y B, en tanto que el pH del suelo y los otros nutrientes (P, K, Ca, Mg, Al, Saturación de Al, Fe, S) presentan ajuste cuadrático frente a las dosis crecientes de S. El pH del suelo presenta una reducción frente al aumento

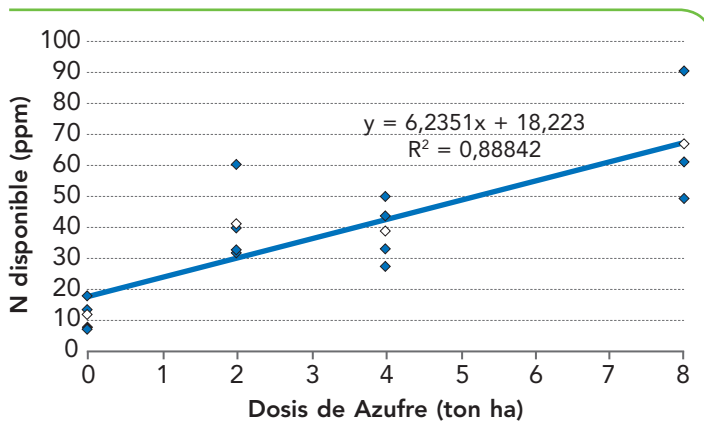
**Figura 1.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la reducción de pH de un suelo volcánico después de un periodo de 30 días de incubación en condiciones controladas de temperatura y humedad. Fuente: Hirzel (2008).



**Figura 2.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la reducción de pH de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.

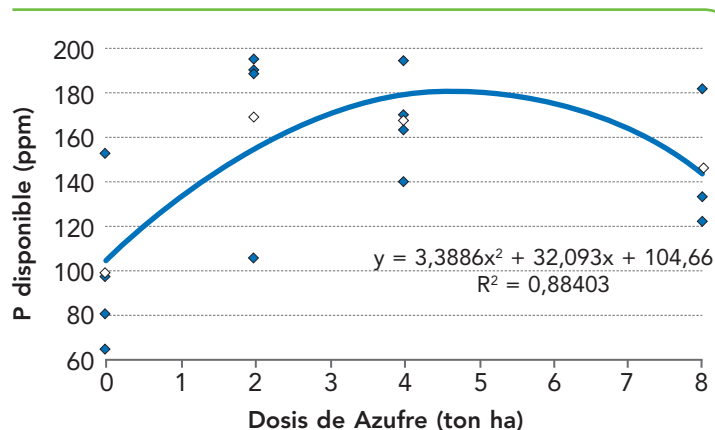


**Figura 3.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Nitrógeno disponible ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.

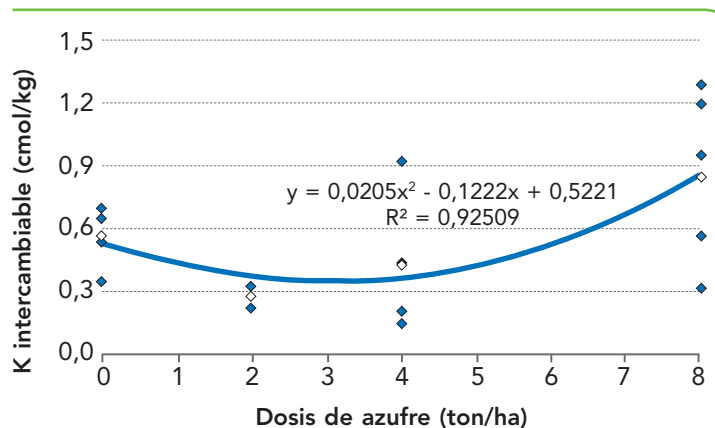


en la dosis de S, hasta alcanzar una valor de estabilidad que representa la capacidad tampón del suelo, y que está explicada por procesos físico-químicos, los cuales generan esta estabilización del pH (Navarro y Navarro, 2003) (Fig.2). El N disponible por su parte presenta un incremento de disponibilidad directamente proporcional a la dosis de S, dado que la formación de ácido sulfúrico que se genera después de la reacción del S en el suelo, afecta negativamente la biomasa del suelo (muerte de biomasa microbiana) y los compuestos orgánicos-nitrogenados de corta cadena (Fig.3). El P disponible presenta un incremento de disponibilidad asociado a procesos químicos que afectan negativamente a la biomasa del suelo (liberación de P por la muerte de biomasa microbiana) y procesos de solubilización de P desde fosfatos de calcio, entre otros (Fig.4). Los elementos K, Ca y Mg intercambiable (Fig. 5, 6 y 7, respectivamente) presentan una reducción de disponibilidad hasta pH cercano a 3, explicado por fenómenos de intercambio catiónico donde comienza a incrementar la

**Figura 4.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Fósforo disponible (Olsen) de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.

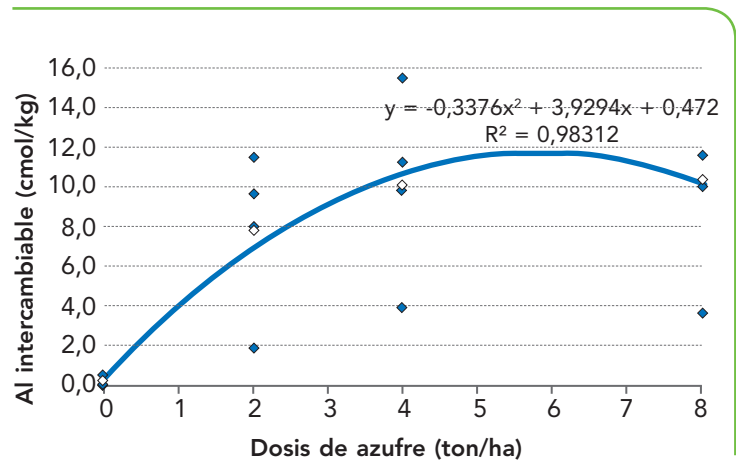


**Figura 5.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Potasio intercambiable de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.

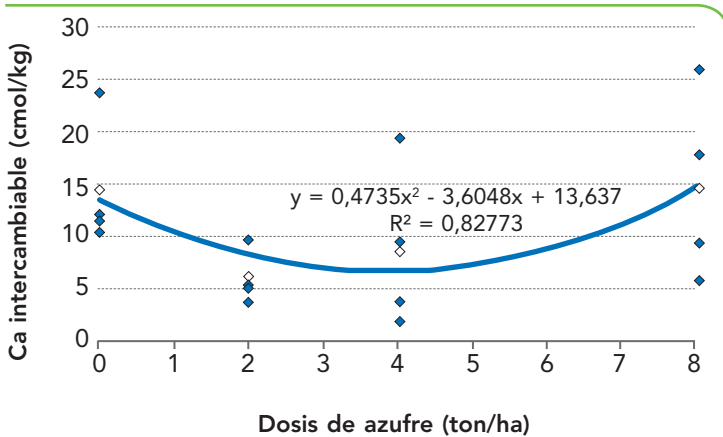


concentración de Al e H intercambiable. El Al intercambiable y la saturación de Al, presentan un incremento directamente proporcional a la dosis de S hasta que se alcanza pH cercano a 3 (liberación de Al desde óxidos e hidróxidos de Al, y procesos de sustitución isomórfica). Posteriormente la capacidad tampón del suelo estabiliza la concentración de Al intercambiable, y por tanto la saturación de Al del suelo (Fig. 8 y 9, respectivamente). El Fe disponible presenta un incremento directamente proporcional a la dosis de S empleada (liberación de Fe desde óxidos e hidróxidos de Fe derivado de reacciones de óxido-reducción) hasta que se alcanza un pH cercano a 3, lo cual, en condiciones de cultivo de arándanos en suelos con pH mayor a 6, se traduce en un reverdecimiento de las hojas nuevas (Fig. 10). El Mn disponible también presenta un incremento de disponibilidad directamente proporcional a la dosis de S (reacciones redox), dentro de todo el rango de dosis de S evaluadas (Fig.11). Por su parte, el B disponible también al igual que el Mn presenta un incremento de disponibilidad

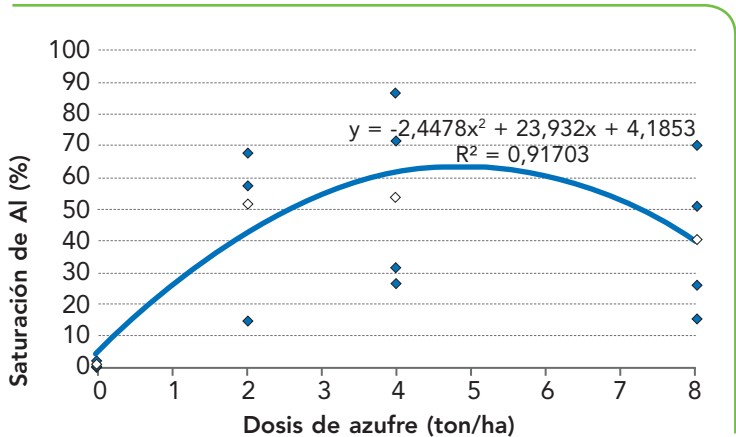
**Figura 8.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Aluminio intercambiable de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



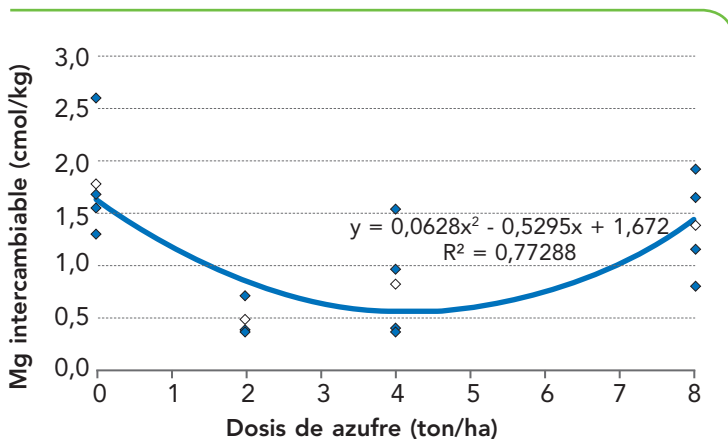
**Figura 6.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Calcio intercambiable de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



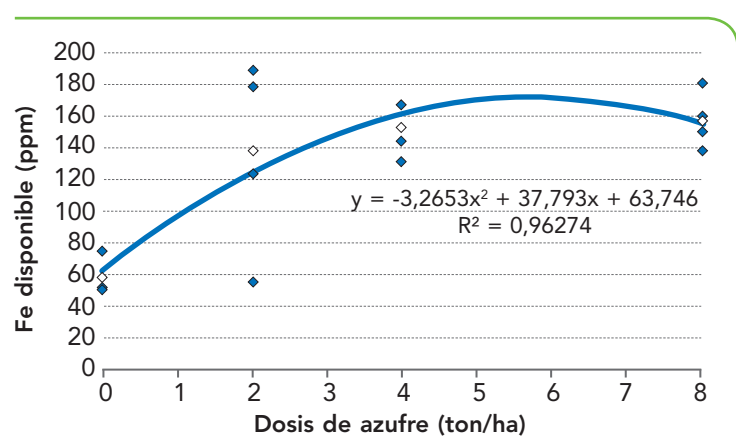
**Figura 9.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la Saturación de Aluminio de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



**Figura 7.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Magnesio intercambiable de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



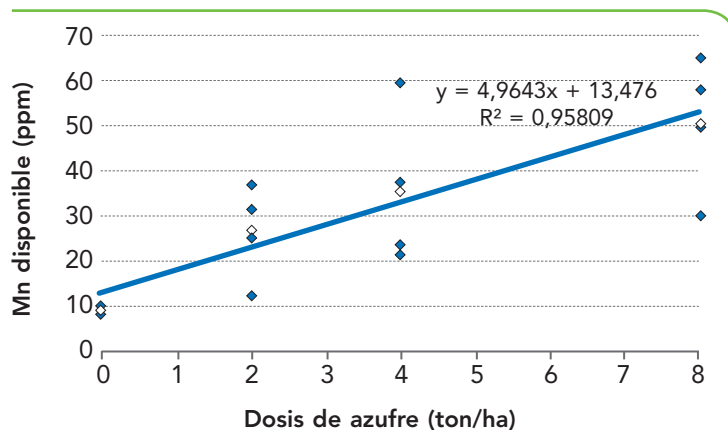
**Figura 10.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Hierro disponible de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



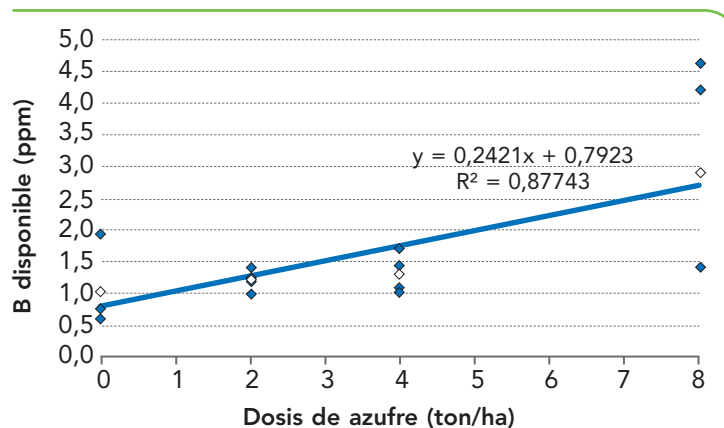
directamente proporcional a la dosis de S (reacciones rédox) (Fig.12). Finalmente el S disponible (sulfato) presenta un incremento directamente proporcional a la dosis de S empleada hasta que se alcanza un pH cercano a 3, asociado a la aplicación de este nutriente (Fig.13).

En conclusión y a nivel práctico, para reducciones de pH del suelo que generen un valor final entre 6,0 a 5,0 (nivel adecuado para obtener un desarrollo normal de plantas, rendimiento y calidad de fruta), la acidificación de suelos que necesiten corrección de su acidez mejorará la disponibilidad de N, P, Fe, Mn, B, y eventualmente S (cuando se emplea S elemental o ácido sulfúrico), que en términos de manejo agronómico puede traducirse en una reducción de la dosis de estos nutrientes. Por su parte, la disponibilidad de K, Ca y Mg se ve reducida, por tanto se deberá considerar incrementos de dosis de estos nutrientes o la aplicación de ellos cuando no estaba considerada en el programa de fertilización. **RF**

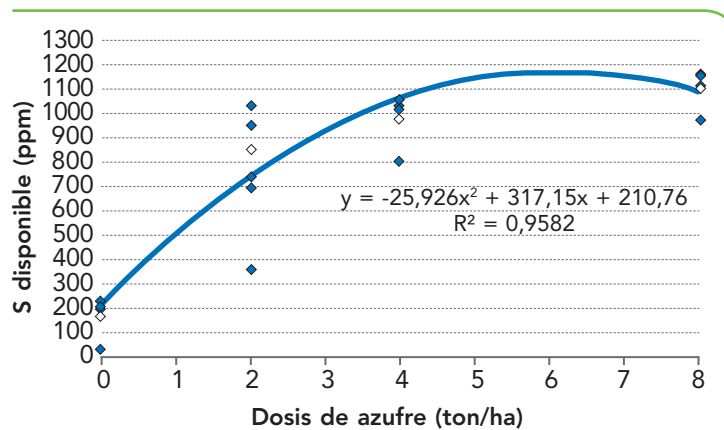
**Figura 11.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Manganeseo disponible de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



**Figura 12.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Boro disponible de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



**Figura 13.** Efecto de dosis crecientes de azufre elemental sobre la concentración de Azufre de un suelo volcánico del valle regado de la región del Bío-Bío.



## BIBLIOGRAFÍA

**ALCÁNTAR, G., L. TREJO-TÉLLEZ, L. FERNÁNDEZ, Y M. RODRÍGUEZ.** 2007. Elementos esenciales. p. 7-47. In G. Alcántar y L. Trejo-Téllez (eds) Nutrición de cultivos. Ediciones Mundi-Prensa, México.

**BENTON, J.** 1998. Plant Nutrition Manual. 149 p. CRC Press LLC, Washington, USA.

**DARNELL, R. L.; G. W. STUTTE; G.C. MARTIN; G.A. LANG AND J. D. EARLY.** 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. Hort. Review 13: 339-405.

**GLENDINNING, J.S.** 2000. Australian Soil Fertility Manual. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 154 p.

**HAVLIN, J.L., J. D. BEATON, TISDALE, S., AND W. L. NELSON.** 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. 6ª ed. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 499 p. North Carolina State. USA.

**HIRZEL, J.** 2008. El suelo como fuente nutricional. Pág. 49-83. In: Hirzel, J. 2008 (Ed). Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides. Colección Libros INIA-24. ISSN 0717-4713. 296 p.

**NAVARRO, S., Y G. NAVARRO.** 2003. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 487 p.

**TRUOG, E.** 1948. Lime in relation to availability of plant nutrients. Soil Science 65:1-8.