

NIQUEL - DE NUTRIENTE TOXICO A NUTRIENTE ESENCIAL

E. Malavolta y M.F. Moraes*

Introducción

“Oreja de ratón” es la expresión utilizada para describir síntomas peculiares observados en las hojas de pecano (*Carya illinoensis*) y en ciertas otras plantas. La punta de las hojas jóvenes afectadas presenta manchas oscuras y es redondeada, pareciéndose a las orejas de un ratón. Este desorden, conocido desde 1918, ha afectado huertos en el sureste de la costa del golfo y llanuras costeras de los Estados Unidos (Wood et al., 2004a).

Inicialmente, este desorden se atribuyó a varias causas, como daños por frío, enfermedades virales o deficiencias de manganeso (Mn) o cobre (Cu). Los análisis foliares de hojas sanas y afectadas revelaron que los síntomas son provocados por deficiencia de níquel (Ni), causada por bajos contenidos de Ni o inducida por exceso de zinc (Zn) en el suelo (Wood et al., 2004b). La aplicación foliar del sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) en el otoño transporta el Ni a los tejidos de los tallos y brotes en dormancia en cantidad suficiente para el crecimiento normal. En la primavera las hojas de las plantas tratadas son normales en forma y tamaño y presentan una concentración de Ni de 7 mg kg^{-1} , mientras que las hojas con síntomas tienen 0.5 mg de Ni kg^{-1} . Los suelos de los huertos que presentan severa deficiencia tienen contenidos de 0.4 a 1.4 kg ha^{-1} de Ni (Wood et al., 2006a).

Se solía considerar al Ni como elemento no esencial o tóxico para las plantas, pero el trabajo conducido en pecano y en otras plantas reveló que el Ni cumple con el criterio indirecto de esencialidad propuesto por Arnon y Scout (1939). También coincide con el criterio directo referente a la ureasa que indica que este compuesto es una metaloenzima ubicua (presente en todas partes) que contiene Ni (Dixon et al., 1975). Eskew et al. (1983, 1984) y Brown et al. (1987) colocaron al Ni en la lista de micronutrientes. Ya en el año 1946 Roach y Barclay realizaron experimentos de campo en Inglaterra con cebada, papa y habas y obtuvieron incrementos en rendimiento gracias a la aplicación foliar de Ni.

La ureasa cataliza la hidrólisis de la urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], reacción que divide la molécula en amonio (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2). La deficiencia de Ni inhibe la acción de la ureasa y esta condición lleva a la



Arbol de pecano deficiente en Ni. La rama derecha se trató con una sola aplicación de sulfato de níquel, mientras que la rama izquierda no recibió tratamiento. Los efectos en el crecimiento son visibles 14 días después de la aplicación.

acumulación de urea que provoca la presencia de manchas necróticas en las hojas. Además, la deficiencia de Ni perturba el metabolismo de los ureidos, aminoácidos y ácidos orgánicos y se acumulan los ácidos oxálico y láctico (Bai et al., 2006). Estos efectos sugieren que el Ni tiene varios roles importantes en el metabolismo de las plantas superiores. Las manchas necróticas asociadas con la deficiencia corresponden a los sitios de acumulación de urea o de los ácidos oxálico y láctico, lo que indica también que existen cambios en el metabolismo del carbono (C), en particular una reducción de la respiración.

El Ni también está involucrado en la fijación simbiótica de N ya que incrementa la actividad de hidrogenasa en los bacterios aislados en los nódulos (Klucas et al., 1983). Más recientemente, Ureta et al. (2005) demostraron que el bajo nivel de Ni en suelos agrícolas puede limitar la actividad de la hidrogenasa simbiótica del *Rhizobium leguminosarum*. La presencia de Ni en

* Tomado de: Malavolta, E. and M.F. Moraes. 2007. Níquel – from toxic to essential nutrient. *Better Crops With Plant Food* 91(3):26-27.

la solución nutritiva inhibió la producción de etileno en fríjol y manzana (Smith y Woodburn, 1984). Bertrand y Wolf (1954) analizaron las raíces, nódulos y parte aérea de varias leguminosas incluyendo fríjol y soya. Consistentemente, los contenidos más altos de Ni y cobalto (Co) se encontraron en los nódulos de estas plantas. Experimentos de campo conducidos en 1973 demostraron que la adición de hasta 40 g de Ni ha⁻¹ incrementaron la nodulación y el rendimiento de soya (Bertrand, 1973). En revisiones extensas, Mishra y Kar (1974) y Gerendas et al. (1999) mencionan que las aplicaciones foliares con sales de Ni son muy efectivas para combatir la roya en cereales por su toxicidad para el patógeno y por los cambios causados en la fisiología del hospedero que llevan a resistencia. Forsyth y Peturson (1959) demostraron el efecto protector y de erradicación de la roya en trigo, avena y girasol. Con base en la misma línea de trabajo, Graham et al. (1985) sugirieron la posibilidad del uso de Ni en el control de roya que afecta a diversos cultivos en muchas regiones del mundo.

Plantas cultivadas en suelos no contaminados tienen concentraciones de Ni que van de 0.05 a 5 g kg⁻¹ de peso seco. La amplitud de la variación es causada por la disponibilidad de Ni en el suelo y por las especies analizadas. Los diferentes órganos o partes de la misma planta pueden tener diferentes contenidos de Ni. De acuerdo con Gerendas et al. (1999), el contenido de Ni en el borde de las hojas es alto durante el crecimiento vegetativo. Sin embargo al momento de la cosecha los granos contienen más Ni que la paja. Evaluaciones hechas a la floración de primavera de cítricos demostraron que la partición de micronutrientes a las ramas permitía la acumulación de un sorprendente contenido de Ni, la mitad del cual estaba en las flores (Figura 1). Se conoce que incrementos en los niveles de NH₃ en las hojas pueden causar un incremento en la inducción de la floración (Lovatt et al., 1988). Esto sugeriría que altos niveles de Ni en las flores, no reportados anteriormente, puede incrementar la actividad de ureasa y generar NH₃ que puede incrementar la floración y porcentaje de amarre de la fruta (Malavolta, 2006).

Se observan síntomas de toxicidad cuando se absorben niveles excesivos de Ni. Los síntomas incluyen clorosis por la reducción de la absorción de hierro (Fe), poco crecimiento de la raíz y de la parte aérea, la deformación de varias partes de la planta e inusuales manchas de las hojas (Mishra y Kar, 1974). Las plantas varían en su sensibilidad o tolerancia para el exceso de Ni. Por ejemplo, fríjol es más sensible que arroz (Piccini y Malavolta, 1992). Los niveles tóxicos en las plantas están comúnmente en el rango de 25 a 50 mg kg⁻¹.

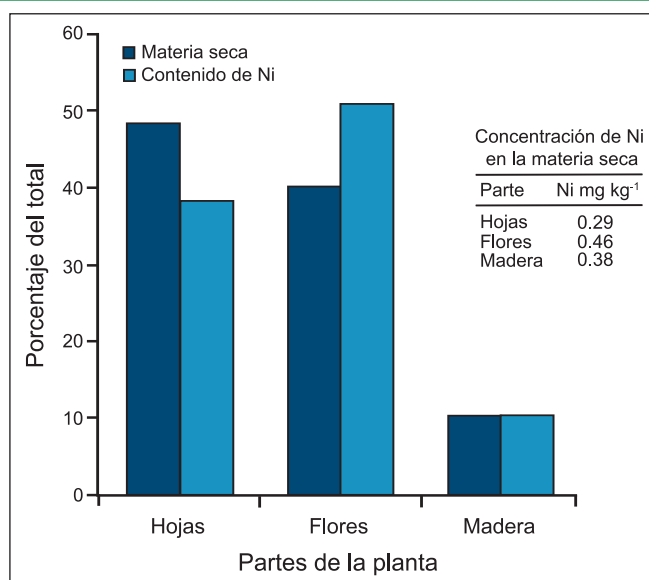


Figura 1. Contenido de Ni en cítricos en varias partes de la planta en primavera (Malavolta, 2006).

Sin embargo, existen especies que soportan altos niveles de Ni en el sustrato y en el tejido. Estas plantas hiperacumuladoras logran prosperar en suelos ricos en Ni, usualmente serpentina o en suelos contaminados. El *Alyssum bertolonii*, planta que se encuentra en Italia y en Georgia (parte de la desaparecida USSR), contiene 4 000 mg kg⁻¹ de Ni en las hojas y 2 500 en las semillas. La recolección de plantas en suelos ricos en Ni en el centro de Brasil, Brooks (1990) encontró varias especies de hiperacumuladores: *Vellozia* spp con más de 3 000 mg kg⁻¹ en sus hojas y *Sebertia acuminata* con 1.17 g kg⁻¹.

Uso y respuesta en el campo

Podrían los cultivos de campo responder a la adición de Ni?. Los requerimientos de Ni son del mismo orden de aquellos del Mo y Co que deben mantenerse una concentración de 0.05 mg kg⁻¹ de materia seca. La deficiencia de Mo ha sido documentada y la respuesta a su uso es bien conocida. El Co es aplicado en forma rutinaria como tratamientos a las semillas en el caso de leguminosas. Respuestas al Ni, además de las demostradas en pecano, pueden aparecer en el futuro.

El Ni está presente en el suelo de varias formas: Ni en la solución del suelo, intercambiable y no intercambiable, Ni presente en minerales y asociado con la materia orgánica. En un estudio con 863 suelos de los Estados Unidos se determinó una concentración promedio de 20 mg kg⁻¹ y un rango de <5 a 700 mg kg⁻¹ (Uren, 1992). Los análisis de 38 muestras de suelos brasileños del estado de Sao Paulo mostraron Ni soluble en DTPA se encuentra en el rango de <0.5 a 1.4 mg kg⁻¹, considerados como bajos. El contenido total de Ni fue <10 a un máximo de 127 mg kg⁻¹ (Rovers et al., 1983).

La deficiencia de Ni puede presentarse por bajos contenidos de formas disponibles en el suelo, o puede ser inducida por varios factores como los siguientes (Wells, 2005; Wood, 2006a):

- Altos contenidos de Ca, Mg, Cu o Zn que inhiben la absorción de Ni.
- Reducción de la disponibilidad por excesiva aplicación de cal, cuando el pH se sube a 6.5.
- Las altas dosis de fertilizantes fosfatados o altos niveles de P del suelo que reducen la disponibilidad en el suelo o dentro de la misma planta.
- Nemátodos que dañan el sistema radicular y que provocan una severa deficiencia.

Una o dos aplicaciones foliares de una solución con una concentración de 10 a 100 mg de Ni L⁻¹ (más urea y surfactante) pueden corregir la deficiencia y asegurar normal crecimiento. Las aplicaciones deben hacerse durante la fase de primera en la expansión del follaje o poco después del apareamiento de los brotes (Wood, 2006a). Esta práctica, efectiva para la oreja de ratón en pecana, puede servir de base para probar el tratamiento en otros frutales perennes a través de trabajo experimental. Recientemente, Wood et al. (2006b) fueron capaces de corregir la deficiencia de Ni en pecana con la aspersión de un extracto acuoso de *Alyssum murale*, un hiperacumulador.

Existen varios productos para aplicaciones foliares, incluyendo NiSO₄ • 6H₂O y quelatos sintéticos. La Asociación Americana de Oficiales de Control de Fertilizantes y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos han colocado al Ni en la lista de nutrientes esenciales. La venta y el uso de fertilizantes con Ni está autorizada en los Estados Unidos. Se encuentra disponible en el mercado un nuevo producto, quelato de ligno sulfonato con 6% de Ni y 10% de N. En Brasil, la ley que controla el comercio de fertilizantes y enmiendas tiene un listado de productos para aplicaciones al suelo y foliares y establece las concentraciones mínimas de Ni que pueden ser registradas.

Bibliografía

- Arnon, D.I. and P.R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14(2):371-375.
- Bai, C., C.C. Reilly, and B.W. Wood. 2006. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology* 140(2):433-443.
- Bertrand, D. 1973. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les *Rhizobium* des nodosités des légumineuses. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences. Serie D. Paris* 276(12):1855-1858.
- Bertrand, D. and A. Wolf. 1954. Le nickel et le cobalt des nodosites des legumineuses. *Bulletin de la Societe de Chimie Biologique* 36(6-7):905-907.
- Brooks, R.R., R.D. Reeves, A.J. Baker, J.A. Rizzo, and H.D. Ferreira. 1990. The Brazilian serpentine plant expedition (Braspex). *National Geographic Research* 6(2):205-219.
- Brown, P.H., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1987. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology* 85(3):801-803.
- Dixon, N.E., C. Gazzola, R.L. Blakeley, and B. Zerner. 1975. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. *Journal of the American Chemical Society* 97(14):4131-4133.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1983. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. *Science* 222(4624):621-623.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and W.A. Norvell. 1984. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. *Plant Physiology* 76(3):691-693.
- Forsyth, F.R., and B. Peturson. 1959. Chemical control of cereal rusts. 4. The influence of nickel compounds on wheat, oat, and sunflower rusts in the greenhouse. *Phytopathology* 49(1):1-3.
- Gerendas, J., J.C. Polacco, S.K. Freyermuth, and B. Sattelmacher. 1999. Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of plant Nutrition and Soil Science* 162(3):241-256.
- Graham, R.D., R.M. Welch, and C.D. Walker. 1985. A role for nickel in the resistance of plants to rust. In: *Australian Agronomy Conference*. Hobart: Australian Society of Agronomy, 337 p.
- Klucas, R.V., F.J. Hanus, S.A. Russell, and H.J. Evans. 1983. Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 80(8):2253-2257.
- Lovatt, C.J., Y.S. Zheng, and K.D. Hake. 1988. Demonstration of a change in nitrogen-metabolism influencing flower initiation in citrus. *Israel Journal of Botany* 37(2-4):181-188.
- Malavolta, E., H.C. Leao, S.C. Oliveira, J. Lavres, M.F. Moraes, C.P. Cabral, and M. Malavolta. 2006. Reparticao de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranja cultivar natal. *Revista Brasileira de fruticultura* 28(3):506-511.
- Mishra, D. and M. Kar. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review* 40(4):395-452.
- Piccini, D.F. and E. Malavolta. 1992. Toxicidade de niquel em arroz de feijao em solos ácidos. *Revista Brasileira de ciencia do solo* 16(2):229-233.

- Roach, W.A. and C. Barclay. 1946. Nickel and multiple trace element deficiencies in agricultural crops. *Nature* 157(3995):696.
- Rovers, H., O.A. Camargo, and J.M.A.S. Valadares, 1983. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de Sao Paulo. *Brasileira de Ciencia do solo* 7(3):217-220.
- Smith, N.G. and J. Woodburn. 1984. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. *Naturwissenschaften*. 71(4):210-211.
- Uren, N.C. 1992. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy* 48:141-203.
- Ureta, A.C., J. Imperial, T. Ruiz-Argueso, and J.M. Palacios. 2005. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. *Applied and Environmental Microbiology* 71(11):7603-7606.
- Wells, L. 2005. Mouse-ear of pecan. The University of Georgia, Cooperative Extension 4 p. (Circular, 893).
- Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2004a. Mouse-ear of pecan: I. Symptomology and occurrence. *HortScience* 39(1):87-94.
- Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2004b. Mouse-ear of pecan II. Influence of nutrient applications. *HortScience* 39(1):95-100.
- Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2006a. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. *Acta Horticulturae* 721:83-97.
- Wood, B.W., R. Chaney, and M. Crawford. 2006b. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: alyssum biomass as a product for nickel deficiency correction. *HortScience* 41(5):1231-1234. ☆

