

[ FERTILIZACIÓN ]

## Micronutrientes: fuentes orgánicas de cobre

**P. Almendros**

**D. González**

**A. Obrador**

**J.M. Álvarez**

Dpto. Química y Análisis Agrícola, E.T.S.I. Agrónomos,  
Universidad Politécnica de Madrid.

Con la aplicación de fertilizantes que contienen distintas fuentes de cobre, se puede corregir el contenido del micronutriente biodisponible en suelos. Las aplicaciones serán necesarias cuando los niveles del mismo se encuentren por debajo del valor crítico necesario para un correcto desarrollo de la planta. Las fuentes inorgánicas están entre las fuentes de los micronutrientes más comunes, aunque actualmente los fertilizantes orgánicos son cada vez más empleados para corregir las posibles deficiencias de cobre.

**U**n fertilizante que contiene un complejo metálico, se caracteriza porque un catión metálico central se encuentra enlazado con una o más moléculas o iones, llamados ligandos. En el caso particular de un quelato, a cada catión central le corresponde un único ligando (Mortvedt y col., 1983). Determinadas fuentes de micronutrientes aplicadas al suelo no llegan a la rizosfera, debido a que las cargas negativas del suelo atraen a los micronutrientes, que poseen carga positiva, produciéndose la acumulación en la superficie del suelo. Los micronutrientes complejados, en cambio, presentan carga negativa como el suelo, por lo que se mantienen libres de las partículas del mismo, permitiendo su movimiento. Por otra parte, la movilidad del micronutriente depende en gran medida de la fuente que sea aplicada.

Las fuentes de microelementos que contienen quelatos o complejos orgánicos se utilizan cada vez con más

frecuencia. Estos productos son moléculas orgánicas o inorgánicas que rodean y se enlazan al ión metálico,  $\text{Cu}^{2+}$ , formando complejos que preservan al ión metálico de la formación de compuestos insolubles con otros agentes y de la fijación a distintos componentes del suelo, como pueden ser las arcillas.

Los complejos liberan iones metálicos lentamente y, siempre que se empleen en dosis adecuadas, proveen a las plantas con un suministro continuo de microelementos sin alcanzar las concentraciones tóxicas.

La estabilidad del complejo o quelato depende del agente complejante (o quelante), del catión metálico central (en este caso el  $\text{Cu}^{2+}$ ) y de las condiciones físico-químicas del suelo. La estabilidad de un complejo se expresa por su "constante de estabilidad". Un menor valor de este parámetro indica menor efectividad, aunque el coste por unidad de cobre también sea menor.



El rango de pH, en el cual el producto complejo o quelato es estable, es un factor a considerar cuando se aplican fuentes orgánicas de nutriente al suelo. Si los micronutrientes son aplicados a suelos alcalinos (con valores elevados de pH) o con alto contenido en fosfatos se transforman en sales insolubles, inmovilizándose, por lo que no llegan a la zona del suelo donde la planta puede disponer de ellos.

En el caso de los micronutrientes quelados, éstos llegan al sistema radicular con mayor eficiencia, lo que provoca que la cantidad necesaria a aplicar sea menor que en el caso de los micronutrientes no quelados. Numerosos trabajos han demostrado que los fertilizantes de tipo orgánico proporcionan altas cantidades de cobre biodisponible para la planta.

Existen fertilizantes autorizados y comercializados, tanto de origen sintético (combinando un agente quelante con un catión metálico) como



**Los complejos orgánicos de cobre son utilizados en su gran mayoría como correctores, aplicándose por vía radicular aunque en algunos casos la aplicación es foliar**



de origen natural (obtenidos por ejemplo por reacción de sales de cobre con subproductos de la industria del papel), varios de estos agentes se presentan en la **Tabla 1** (Liñán, 2007). Uno de los quelatos más utilizados en la actualidad es el quelato sintético Cu-EDTA (**Figura 1**), donde se observa como el ión  $Cu^{2+}$  está quelado por un solo ligando hexadentado.

**Fertilización con complejos orgánicos de cobre**

Los nutrientes, y especialmente los micronutrientes, se deben encontrar en las plantas en unos determinados rangos de concentración para su correcto desarrollo. La fertilización tiene como objetivo asegurar la máxima eficacia y rentabilidad en la aplicación de los fertilizantes, de modo que se logre la máxima absorción de los elementos nutritivos por la planta al mínimo coste. La eficacia de la ferti-

zación reside en que el cultivo disponga de los elementos nutritivos en una cantidad suficiente en la zona cercana al sistema radicular y en una forma química disponible para la planta.

Los métodos de aplicación son diferentes dependiendo del cultivo, tipo de explotación y equipamiento disponible. Los complejos orgánicos de cobre son utilizados en su gran mayoría como correctores, aplicándose por vía radicular aunque en algunos casos la aplicación es foliar. En el mercado existen numerosos productos fertilizantes con agentes complejantes que como ya se ha indicado pueden ser de origen sintético y natural, cuyos contenidos de cobre se encuentran en un intervalo entre el 2,5 y 15%. Existen otros correctores de carencias triples entre los que se encuentran los que aportan cobre, manganeso y zinc; boro, cobre y hierro; o magnesio, cobre y hierro; dependiendo el contenido de micronutrientes del tipo de fuente utilizada.

Algunas fuentes de cobre también son utilizadas por sus propiedades como fungicidas para prevenir daños y en el tratamiento de heridas y como insecticidas (por ejemplo el oxicluru-

**Tabla 1:** Algunos agentes complejantes o quelantes orgánicos que contienen los fertilizantes de cobre

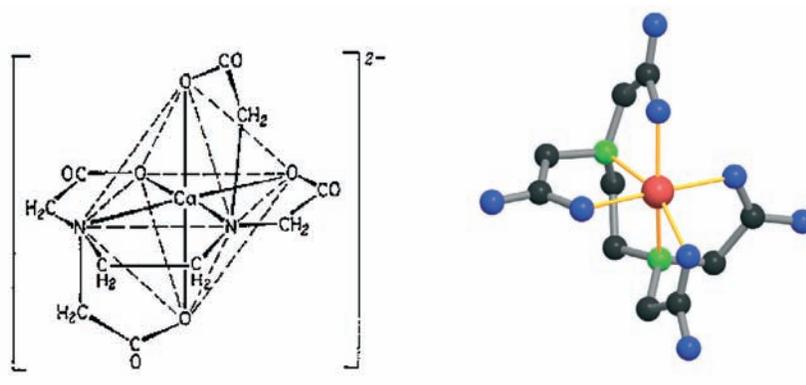
Origen sintético
Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)
Ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA)
Ácido 2-hidroxi-etil-etilendiaminotriacético (HEDTA)
Ácido etilendiamino-di-(o-hidroxifenil-acético) (EDDHA)
Ácido a,a'-(etilendiimino)bis(2-hidroxi-5-sulfonatofenil)acético (EDDHSA)
Ácido etilén-diamino di-orto-hidroxipara-metil-fenil-acético (EDDHMA)
Ácido etilén-diamino di-orto-hidroxipara-carboxi-fenil-acético (EDDCHA)
Ácido tetra-etilen-pentamino (TEPA)
Otros agentes orgánicos (ej. CUBIET)
Origen natural
Ácido lignosulfónico
Ácido fenólico
Ácido aminolignosulfónico
Aminoácidos
Poliflavonoides
Ácidos polihidroxicarboxílicos
Ácido glucónico
Ácido galacturónico

ro de cobre), en este caso las dosis aplicadas son muy superiores a las utilizadas como fertilizantes.

**Efectividad agronómica de los compuestos orgánicos de cobre**

El cobre es requerido en pequeñas cantidades, que oscilan de 5 a 20 mg/kg en los tejidos de los cultivos

**Figura 1:** Estructura del quelato sintético Cu-EDTA (Nowack and VanBriesen, 2005).



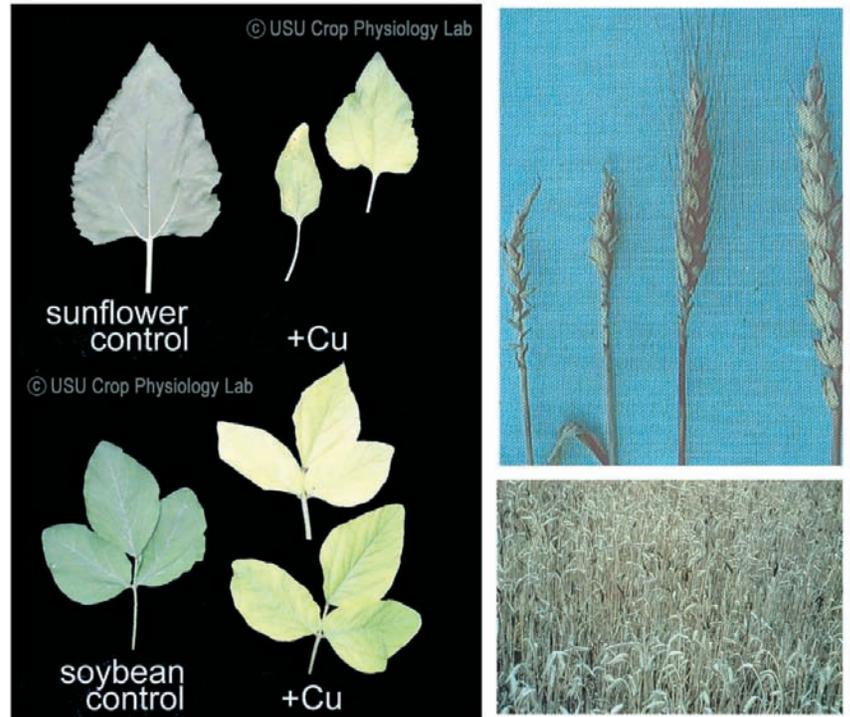
para un adecuado crecimiento. Tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo se ven afectados por deficiencias de cobre, en la **Foto 1** se observan excesos de cobre en plantas de girasol y soja y plantas de trigo deficientes en este microelemento, apreciándose espigas vacías y espiguillas abortadas y coloración oscura en la maduración. Estas carencias, en ocasiones, son difíciles de diagnosticar debido a la interferencia de otros elementos (N, P, Fe, Mo, Zn y S). Como se observa en la **Tabla 2**, los cultivos tienen diferentes respuestas a la fertilización de cobre en suelos deficientes (Jones, 2001).

Para comparar la eficacia relativa de los fertilizantes, es necesario valorar cuánto fertilizante es requerido para producir el mayor rendimiento por unidad de producto. Como se observa en la **Figura 2**, el rendimiento o producción aumenta con la dosis aplicada de fertilizante hasta un valor que se mantiene constante y a continuación, disminuye dicho rendimiento.

En el caso de pequeñas concentraciones de micronutriente se produce una carencia nutricional de los cultivos y la adición de micronutrientes es necesaria para aumentar el rendimiento de la planta. El contenido de micronutrientes alcanza el mayor rendimiento para la planta en el rango de concentración óptima, donde un aumento de las concentraciones aportadas no supone aumentar este rendimiento. Si estas concentraciones aumentan se puede provocar la toxicidad en la planta, y por lo tanto un descenso en el

## Foto 1:

Excesos de cobre en plantas de soja y girasol y deficiencias en plantas de trigo (Crop Physiology Laboratory, UtahState University; Loué, 1988, fotografías Thévenet Itcf).



**Para comparar la eficacia relativa de los fertilizantes, es necesario valorar cuánto fertilizante es requerido para producir el mayor rendimiento por unidad de producto**

rendimiento, aunque la concentración de cobre en la planta siga aumentando (Kabata-Pendias, 2001).

La deficiencia de cobre en los animales es la deficiencia primaria más frecuente, debida a la insuficiencia del cobre en los forrajes. Los contenidos medios de los forrajes se sitúan en torno a 5 mg/kg (respecto a materia seca), inferiores al umbral de carencia para los animales (7 mg/kg), siendo la concentración adecuada en la ración de 10 mg/kg. Se consideran contenidos tóxicos de 15 a 20 mg/kg, dependiendo del animal.

Considerando el crecimiento de la planta en función de la concentración de cobre en las plantas se observan varios rangos o zonas diferenciadas: zona de carencia, de deficiencia grave, deficiencia moderada o subcarencia, normalidad y toxicidad. (**Figura 3**).

El límite entre una concentración de cobre deficiente u óptima, varía según los diferentes tipos de suelos y cultivos. Por ello la zona de deficiencia cercana a suficiente se denomina marginal, donde los niveles son deficientes o suficientes según los tipos de suelos y cultivos.

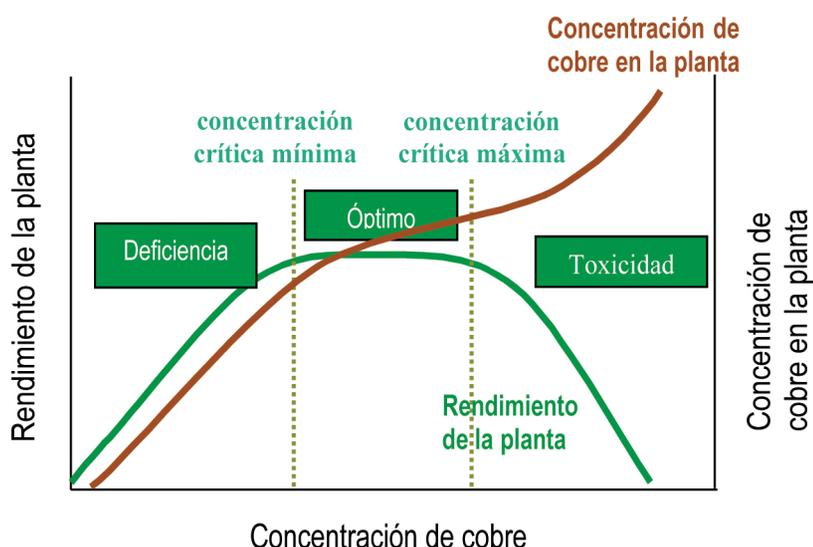
## Tabla 2:

Respuesta de varios cultivos a la fertilización de cobre en suelos deficientes

Respuesta elevada	Respuesta media	Respuesta baja
Alfalfa *	Cebada *	Remolacha*
Lechuga	Brócoli	Tomate
Avena	Zanahoria *	Nabo
Cebolla	Coliflor	Trébol
Espinaca	Apio	Col
Remolacha de mesa	Maíz	Algodón
Trigo	Pepino	Manzano
Cebada *	Sorgo	Melocotón
Zanahoria *		Peral
Remolacha *		
		Esparrago
		Césped
		Guisante
		Patata
		Centeno
		Soja
		Arroz
		Judía
		Alfalfa *

\* Dependiendo de las condiciones del cultivo y variedades, la respuesta de ciertos cultivos pueden variar: Alfalfa, respuestas de baja a elevada; cebada, zanahoria y remolacha, respuestas de media a elevada.

**Figura 2:**  
Relación entre el crecimiento de los cultivos y la concentración de cobre en la disolución del suelo



**Figura 3:**  
Relación del rendimiento o crecimiento con la concentración de micronutrientes en el tejido de las plantas



**Estado de cobre en los suelos. Estimación del cobre biodisponible**

Para el estudio y comparación de las concentraciones de cobre existen dos tipos de métodos de extracción, propuestos por diferentes autores; así existen métodos de extracción secuencial y métodos de extracción simple. Los primeros se basan en la utilización sucesiva de diversos extractantes para cuantificar las fracciones en las que el cobre se encuentra en el suelo. Se puede evaluar la cantidad de cobre en fracciones soluble en agua, intercambiable, complejo orgánicamente, etc, siendo las primeras extraídas las más lábiles e importantes para la nutrición de las plantas, lo que permite disponer de una importante información del estado del micronutriente en el suelo.

Por otra parte, existen otros métodos de extracción simples, o de un sólo paso. Los más conocidos son el DTPA-TEA, DTPA-AB y Mehlich-3 (Reed and Martens, 1996) y otros más novedosos, entre ellos se encuentra el método que utiliza para la extracción una mezcla de ácidos orgánicos débiles que simula las condiciones de la rizosfera y que comienza a ser empleado.

En la **Tabla 3** se encuentran una de las clasificaciones establecidas para la biodisponibilidad de cobre en los suelos. Se aprecia que según las concentraciones extraídas con el extractante DTPA-TEA los niveles son deficientes o marginales en cobre según las clases texturales (Karamanos et al., 2007).

Las diferentes características físico-químicas del suelo (textura, permeabilidad, pH, contenido en carbonato libre...) influyen en la distribución del cobre en el suelo, y por lo tanto en la

# ACADEMIA ESLAVA

## Oposiciones medioambientales y agroforestales

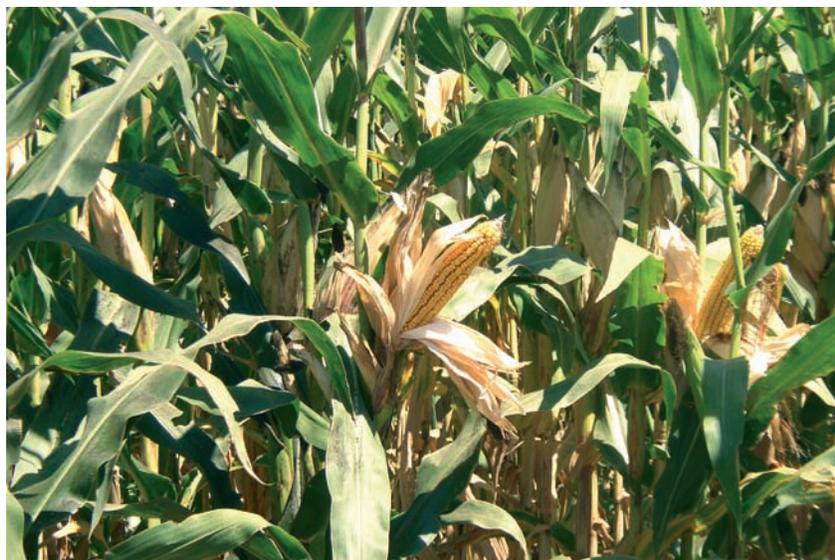
- Ingenieros Agrónomos del Estado (MAPA)
- Ingenieros Técnicos Agrícolas (Castilla-La Mancha, Castilla y León)
- Titulados Escuelas Técnicas de Grado Medio de OO.AA del MAPA (Inspectores de pesca)
- Titulados Escuelas Técnicas de Grado Medio de OO.AA del Ministerio de Medio Ambiente
- Titulados Especialidades:
  - Conservación del Medio
  - Control e Inspección de Vertidos
- Agentes Forestales (Comunidad de Madrid)
- Agentes Medioambientales (Ministerio de Medio Ambiente)

**CONVOCATORIA  
2008**

**Matrícula gratuita**

**INFORMACIÓN e INSCRIPCIÓN:**

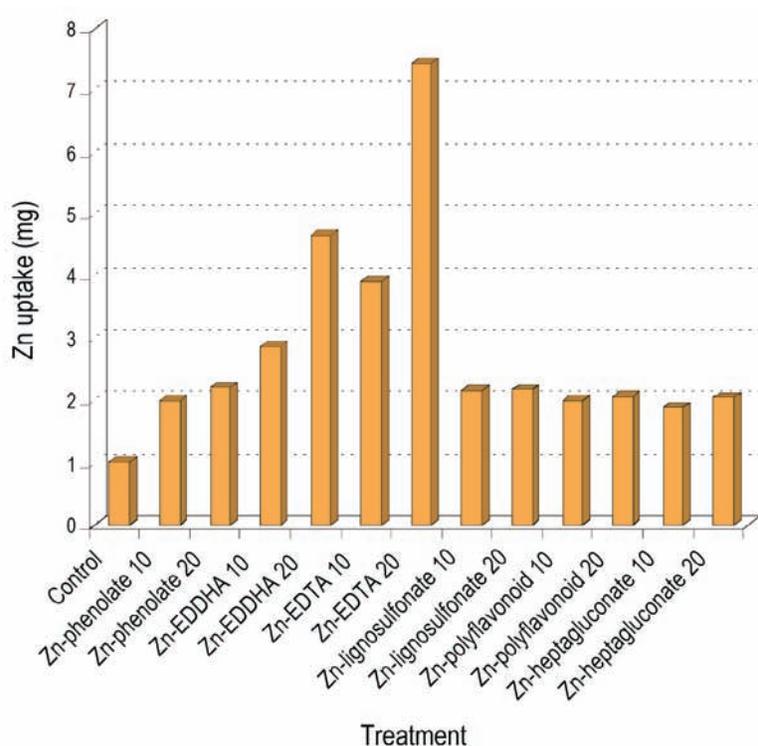
C/ Fernández de los Ríos, 75, 28015 Madrid  
[www.academiaeslava.es](http://www.academiaeslava.es) e-mail: [opos@academiaeslava.es](mailto:opos@academiaeslava.es)  
 Tfno: 91 549 92 04



**Tabla 3:**  
Clasificación de los suelos según el cobre extraíble con DTPA-TEA en función de las clases texturales

Textura del suelo	Concentraciones de cobre en suelos (mg/kg)	
	Deficiente	Marginal
Franco-arenosa fina	< 0,2	-
Franco-arenosa	0,21 - 0,3	0,41 - 0,6
Franca	0,31 - 0,4	0,61 - 0,8
Arcillosa	-	0,81 - 1,2

**Gráfico 1:**  
Zinc tomado por la planta en función de las distintas fuentes y dosis de zinc aplicadas



disponibilidad del elemento para la planta.

En diferentes estudios desarrollados en el Departamento de Química y Análisis Agrícola de la ETSI Agrónomos de Madrid se han estudiado las respuestas de diferentes cultivos a la aplicación de fertilizantes del micronutriente zinc. Asimismo se han estimado otros aspectos como son las movi­lidades en los suelos, según las fuentes de micronutrientes aplicados, y las pérdidas que se pueden producir por lixiviación. En el **Gráfico 1** se observa como el tipo de fuente de zinc influye sobre la toma de micronutriente por la planta de maíz en un suelo neutro y arcilloso (Álvarez and González, 2006). En la actualidad se están desarrollando distintos trabajos de investigación que tratan de estudiar la distribución en los suelos del fertilizante de cobre en distintas condiciones de humedad, así como su efectividad sobre cultivos como el trigo, cebolla, lechuga y espinaca.

## Bibliografía

Álvarez, J.M. and González, D. 2006. Zinc transformations in neutral soil and zinc efficiency in maize fertilization.

Journal of Agricultural and Food Chemistry 54:9488-9495.

Jones, J.B. Jr. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Test and Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL.

Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL.

Karamanos, R.F. et al. 2007. www.marginalcoppersoilstrange-doesitexists.

Liñán, C. 2007. Vademecum de Productos Fitosanitarios y Nutricionales. Ed. Agrotecnicas, Madrid. www.agrotecnicia.com.

Loué, A. 1988. Los Microelementos en la Agricultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Mortvedt, J.J. y col. 1983. Micronutrientes en Agricultura. AGT Ed., Mexico, DF.

Nowack, B. and VanBriesen, J.M. Biogeochemistry of Chelating Agents. 2005. ACS Symposium Series 910. American Chemical Society, Washington, DC.

Reed, S.T., and D.C. Martens. 1996. Copper and zinc. p. 706. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. SSSA Book Ser.5. SSSA and ASA, Madison, WI.

Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Prentice Hall, Harlow, UK. •