

Utilización de fuentes orgánicas y fuentes inorgánicas de Cobre en lechones como promotor de crecimiento

Fuente: Thiago Badillo , Novus Nutrition S.A de C.V. Extraído de www.porcicultura.com.



INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El descubrimiento y utilización del Cobre (Cu) por el ser humano data aproximadamente desde el año 5000 a.c. (F. Gronemeyer, 2010), siendo uno de los primeros metales manipulados y el cual fue utilizado para múltiples usos, como generación de nuevos utensilios, objetos de ornamentación para ritos, elementos de defensa y caza, entre otros, dando así origen a la etapa de la prehistoria conocida como Edad del Cobre o Calcolítico.

Otras particularidades que distinguen a este metal son la gran conductividad que posee y que es un elemento relativamente raro en la corteza terrestre (presente en solo 68 partes por millón), mucho menos abundante que el hierro y el aluminio, los que están presentes en 6,2% y 8,3%, respectivamente. En otras palabras, el hierro y el aluminio son cerca de mil veces más abundantes en la corteza terrestre que el cobre.

Sin embargo, no fue hasta 1920 en la Universidad de Wisconsin, Estados Unidos, donde se demuestra su importancia junto al hierro en la formación de la hemoglobina, y así su esencialidad en la nutrición humana y animal. También existen otros múltiples usos del cobre en diferentes industrias (**Tabla Nro.1**). Nótese su acción bactericida, fungicida y alguicida de los diferentes compuestos de Cobre, rol que distingue a este mineral del resto de los metales.

Tabla 1

Resumen de los empleos de productos que contienen compuestos de cobre como ingrediente activo

Pesticidas en base cobre	Patrón de uso
Cobre (metálico)	Alguicida – pintura anti vegetativa
Cobre (metálico en forma de quelatos de citrato de cobre y gluconato de cobre)	Alguicida, bactericida, fungicida
Carbonato de cobre	Alguicida, herbicida, preservante de madera
Complejos de etanolamina de cobre	Alguicida, preservante de madera
Complejo etilenediamina de cobre	Herbicida
Hidróxido de cobre	Pintura antivegetativa, bactericida, fungicida, regulador del crecimiento de plantas, preservante de madera
Naftenato de cobre	Preservante de madera
Oxiclورو de cobre	Alguicida, bactericida, fungicida
Sales de cobre de ácidos graso y resina	Bactericida, fungicida
Sulfato de cobre	Alguicida, bactericida, deshidratante, fungicida, herbicida
Complejos trietanolamina de cobre	Alguicida
Oxido de cobre	Alguicida, pintura antivegetativa, preservante madera

Fuente: International Copper Association

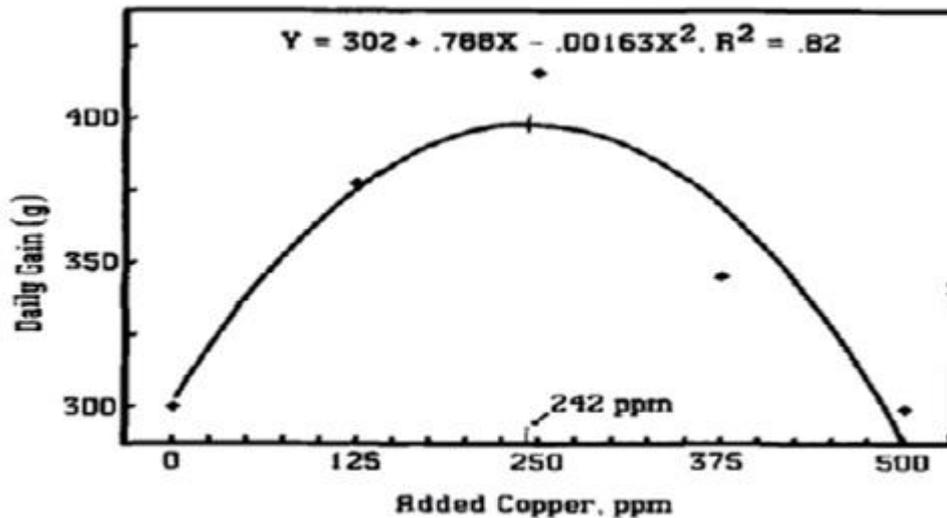
Al igual que otros minerales, el cobre no puede ser producido por los organismos vivos, de allí su esencialidad como nutriente. Por lo tanto, los animales deben incorporarlo a su cuerpo desde el medio ambiente, principalmente desde los alimentos y el agua de bebida, ya sea para cubrir sus requerimientos diarios del mineral como así también en altas dosis para buscar mejorar el desempeño zootécnico de los animales, representando una alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento (AGP).

Por muchos años, los antibióticos a dosis subterapéuticas (AGP) han sido incorporados en dietas de cerdos y pollos por sus efectos favorables en el crecimiento, consumo de alimento y conversión alimenticia (Eyssen and deSomer, 1963). Como resultado, los animales alimentados con AGP tienen menos incidencias de desafíos inmunes subclínicos de bacterias patógenas, lo que afectaría positivamente el rendimiento (Barber et al, 1955; Coates et al, 1955; Stanley et al, 2004). Sin embargo, existen en el mundo crecientes preocupaciones del alcance de la alimentación continua sin rotación con similares grupos químicos de AGP, debido al desarrollo de resistencia a los antibióticos de muchas bacterias patógenas aisladas de animales de producción, así como de los seres humanos (Mamber y Katz , 1985; Aarestrup, 1999; Aarestrup et al., 2001). Por lo tanto, hay un interés cada vez mayor en alternativas a los AGP que puedan producir similares resultados en términos de regulación de la microflora intestinal, como así también un óptimo crecimiento y performance.

Dentro de la producción porcina, uno de los mayores desafíos del negocio es la etapa de lechones ya que deben atravesar el destete, etapa compleja inmunológicamente y nutricionalmente debido a los desequilibrios fisiológicos que afectan el tracto gastrointestinal producidos por el cambio de alimentación, generando potenciales riesgos para la salud intestinal y estrés en general que pueden sufrir los animales. Esta situación suele desencadenar una disbacteriosis de la microflora intestinal que conduce a un bajo rendimiento y una eficiencia reducida. Asimismo, las diferentes materias primas comúnmente utilizadas (maíz y complejo soja) y el agua de bebida contienen una variedad de antagonistas de minerales y competidores de absorción de nutrientes, tales como el azufre, fitatos o calcio excesivo que, junto con ingredientes alternativos que podrían estar presentes (subproductos), pueden resultar en una nutrición mineral subóptima que afecta a la inmunidad de animales, el estado de bienestar, la reproducción, y la calidad de la carne para consumo.

Entre esos desequilibrios nutricionales minerales, el cobre (Cu) en los lechones está particularmente comprometido por su importancia en el desarrollo. Existe evidencia científica que utilizado en altas dosis vía el alimento suele mostrar efectos estimulantes del crecimiento. En niveles elevados, en general entre 150 y 250 ppm añadido como cobre inorgánico (sal de sulfato – CuSO_4), mejora el consumo de alimento, la conversión alimenticia, ganancia de peso diario, como también reduce las diarreas. Sin embargo, como se muestra en una revisión publicada sobre la forma de cobre inorgánico más utilizado en la industria como el CuSO_4 (Sulfato de Cobre Monohidratado) por Jondreville et al. en 2002, estos efectos son muy variables y a veces están ausentes. Asimismo, en los cerdos como en la mayoría de las especies animales, el cobre no se absorbe bien, en general los animales adultos no absorben más del 5-10 % del cobre de la dieta versus los animales más jóvenes que pueden absorber un mayor porcentaje (15-30 %) de Cu de la dieta (McDowell, 1992).

Otros autores también observaron el efecto positivo del sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) como agente promotor del crecimiento cuando se utiliza a concentraciones de 125 a 250 ppm de Cu en la dieta de lechones (Barber, 1955; Bunch, 1961; Bunch, 1965; Hawbaker, 1961). Se ha identificado con estos niveles de Cu en el alimento un aumento lineal de la ganancia de peso (Bunch, 1961, 1965; Hawbaker, 1961; Braude, 1967; Apgar 1965), al igual que en el consumo de alimento (Edmonds, 1985; Burnell, 1988; Kornegay, 1989; Coffey, 1994) al incrementar la concentración de cobre en la dieta de lechones hasta los 250 ppm. Sin embargo, cuando se utilizan mayores niveles del mineral en la dieta como ser rangos de 250 a 500 ppm, el desempeño de los animales disminuye progresivamente (Cromwell et al., 1989) **(Gráfico Nro. 1)**.

Efecto promotor de crecimiento del Cu (CuSO₄) en lechones

Fuente: Cromwell et al., 1989

Estos resultados alientan a que continúen las investigaciones en la búsqueda de fuentes de cobre alternativas a las inorgánicas (minerales orgánicos). Estas, por lo general, poseen mayor digestibilidad y biodisponibilidad, menor dosificación por tonelada de alimento balanceado, menor excreción e impacto al medio ambiente, mayor conocimiento de las moléculas, recomendaciones ajustadas a los distintos requerimientos, menores decomisos por presencia de residuos de minerales pesados y dioxinas, aportes de diferentes nutrientes en sus moléculas, menores interacciones con otros nutrientes y antinutrientes, entre otras ventajas.

Actividad del cobre

La investigación científica hoy disponible ha permitido conocer y en muchos casos dilucidar los mecanismos que explican las múltiples propiedades antimicrobianas del cobre. Es así que se dispone de investigación básica y aplicada sobre su rol antimicrobiano frente a numerosos patógenos, para el hombre y los animales, entre ellos, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Entérica, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus*, *Legionella pneumophila*, *Clostridium difficile*, *Pseudomonas aeruginosa* y otros. Asimismo, la actividad antiviral del cobre ha sido demostrada frente al virus HIV-1, el virus de la Influenza aviar y varios otros virus con y sin envoltura. A lo anterior se suma la potente actividad que tiene el cobre sobre muchas especies de hongos, algas y levaduras (International Copper Association)

El cobre es un micromineral reconocido como nutriente esencial para los

cerdos hace más de 50 años (Elvehjem and Hart, 1932) y requerido en concentraciones de 4 a 6 ppm en lechones (NRC, 1998) para cubrir los requerimientos del mineral. La bibliografía cita que niveles entre 5 a 6 ppm cumplen similares funciones en etapas posteriores, como así también que es necesario en lechones alimentados con dietas ricas en proteínas lácteas en niveles cercanos a 5 ppm (Teague and Carpenter 1951; Lahey et al. 1952; Manners and McCrea. 1964; Akonknow et al. 1979; Hill et al. 1983). Estos requerimientos pueden ser influenciados por varios factores de la dieta, entre ellos los niveles de hierro, zinc y azufre, al igual que por las fuentes y orígenes de proteínas aportadas en la dieta (Miller et al. 1979).

En cuanto a sus funciones fisiológicas, el cobre es necesario en cerdos para la síntesis y actividad de numerosas enzimas relacionadas con el transporte y metabolismo del hierro para la producción de hemoglobina. También, para la formación del colágeno y el desarrollo armónico de los huesos, la producción de melanina y la integridad del sistema nervioso central, como así también para el funcionamiento normal de enzimas necesarias para prevenir la oxidación celular (Miller et al., 1979).

Por su parte, la deficiencia de Cu en lechones se refleja en un retardo del crecimiento, anorexia, desordenes nerviosos como ataxia e incoordinación, malformación de huesos, anemia hipocrómica microcítica, niveles bajos de ceruloplasmina y hemoglobina entre otros, deficiente pigmentación de la piel (Burnell, 1990; Teague and Carpenter 1951; Carnes et al. 1961; Shields et al. 1982; Miller 1979; Whitehair and Miller 1986 ARC 1981). Si bien las deficiencias de Cu son muy raras en cerdos debido a su uso como promotor en altas dosis, estas pueden ser de origen primario en el caso que estuviese bajo el nivel del mineral en la dieta; o secundarias si existiese una interacción negativa con otro mineral o antinutriente presente en la dieta.

Los mecanismos por los que el Cu estimula el crecimiento aún no son del todo claros. Las principales hipótesis bibliográficas incluyen:

1 Una modificación de la población microbiana debida a la liberación de Cu en forma local en el tracto gastrointestinal. En el caso del suministro en altas dosis, se ha observado a nivel intestinal una reducción en la producción de sustancias tóxicas, lo cual tiene un efecto favorable sobre el crecimiento y la eficiencia alimenticia del animal, acción similar a la de los antibióticos (Fuller et al. 1960; Visek, 1972; Maynard, 1981; Cunha, 1983; Shurson, 1990; Radecki, 1992; Zimmerman, 1986; Musfeldt, 1992 y Castro, 1995).

2 El incremento de la secreción de hormona de crecimiento o de la secreción de neuropéptidos. Otros autores observaron un incremento en la síntesis del factor de crecimiento luego de la inyección intravenosa de altas concentraciones de Cu, lo que sugiere una función sistémica además de la acción local en el tracto gastrointestinal (Zhou, 1994).

3 El aumento en la actividad mitogénica del suero (INRA, 2001). Zhou (1994) y Apgar (1995) observaron una mayor actividad mitogénica en el suero de

animales alimentados con suplemento de Cu, lo que sugiere que el cobre estimula compuestos mitógenos circulantes.

4 Aumento en el consumo de alimento mediada por el hipotálamo. Li et al., (2008) observaron el aumento en la expresión de mRNA para genes reguladores del apetito para el Neuropeptido Y (NPY).

Diferentes estudios demostraron que la actividad del cobre depende de la solubilidad de la fuente así como de la digestibilidad y biodisponibilidad del micromineral (Bunch, 1961; Cromwell, 1989; Baker, 1991; Zhou, 1994a, b; Pesti & Bakalli, 1996; Konjufca, 1997; Ewing, 1998). Asimismo, está bien demostrado que altas concentraciones de Cu inorgánico en las dietas producen reacciones antagónicas con la utilización de otros nutrientes como el Zn (Zhao et al., 2008) y fósforo (Banks et al., 2004). Asimismo, cuando el Cu es suplementado en su forma de sulfato pentahidratado (CUSO₄.5H₂O) en concentraciones de 250 ppm de Cu en las dietas iniciales, crecimiento y terminación, los cerdos desarrollan toxicidad con al menos 100 ppm de Fe y Zn, y 500 ppm de S como NaS o FeS provenientes de fuentes inorgánicas en la dieta (Miller et al. 1979). Signos de la toxicidad por Cu son inapetencia, ictericia generalizada, anemia y heces con sangre. En la necropsia se evidencia decoloración del hígado (amarillónaranja), hemorragias internas, úlceras en esófago y estómago, y edema pulmonar (Whitehair y Miller. 1986).

Aportes de Cu de diferentes materias primas

El organismo animal no es capaz de producir cobre de modo que lo deben obtener de la dieta. La mayor parte de los requerimientos nutricionales de este mineral son proporcionados por los alimentos y el agua de bebida. El contenido de cobre de los alimentos varía según el tipo y procesamiento de estos. En las plantas y animales hay variaciones en su contenido de cobre relacionados con la especie y las condiciones en que crecen y se desarrollan. En las plantas influyen especialmente las condiciones climáticas, del suelo y el tipo de fertilizante utilizado, mientras que en los animales el contenido de este mineral depende, en parte, de la dieta que estos consuman y por lo tanto, sus reservorios hepáticos del mineral. Respecto a los efectos del procesamiento de los alimentos cabe señalar que estos procedimientos modifican el contenido de cobre. Los cereales procesados tienen un menor contenido de cobre que los integrales.

Entre los alimentos ricos en cobre se encuentran los mariscos y las vísceras, los huevos, algunas semillas, las legumbres, los cereales integrales, las callampas (setas), champiñones, frutas secas, papas y el chocolate (cacao) (**Tabla Nro. 2**). Las carnes de todo tipo (vacuno, cordero, cerdo, aves y peces) si bien tienen menos nivel de cobre que los anteriores, son una buena fuente de este mineral. Por el contrario, las frutas, verduras y los productos lácteos son alimentos pobres en cobre.

Tabla 2

Alimentos ricos en cobre		
Mariscos	Visceras	Legumbres
<ul style="list-style-type: none"> • Ostras • Choritos • Choros • Cholgas • Almejas • Camarones • Jaibas • Otros crustáceos 	<ul style="list-style-type: none"> • Hígado • Riñones • Cerebro 	<ul style="list-style-type: none"> • Porotos • Lentejas • Garbanzos • Soya
	Semillas	Otros
<ul style="list-style-type: none"> • Callampas • Champiñones 	<ul style="list-style-type: none"> • Nueces • Maní • Almendras • Girasol 	<ul style="list-style-type: none"> • Huevos • Cereales integrales • Frutas secas • Papas • Chocolate

Fuente: International Copper Association

En nutrición porcina, el contenido y la disponibilidad de cobre de las materias primas que pueden utilizarse en dietas de lechones son muy variables. Las harinas de carne tienen un contenido medio, mientras que los subproductos lácteos son pobres en Cu. La disponibilidad es inferior en fuentes vegetales que en fuentes animales o inorgánicas, probablemente debido a la presencia de fitatos. En general, las gramíneas contienen menos Cu que las leguminosas y los granos más que tallos y hojas. Cereales, semillas de leguminosas y derivados lácteos son pobres en Cu (2 a 10 ppm) mientras que las provenientes de harinas oleaginosas son fuentes aceptables (15 a 30 ppm) (**Tabla Nro. 3**).

Un problema adicional es que la biodisponibilidad del Cu en los ingredientes de origen vegetal es sólo o solamente del 50% en relación con los ingredientes de origen animal, aunque el Cu de los granos de cereales es hasta diez veces más disponible que el de los forrajes.

Tabla 3

Contenido de cobre de ingredientes utilizados en la fabricación de alimentos balanceados (mg/kg)

	NRC 1998	INRA-AFZ 2002	CVB 2002	Ainprot 1982	FEDNA 2003	Tablas brasileras
Cereales						
Maiz	3	2	1	3	3	2,1
Trigo blando	7	5	3	8	6	5,6
Cebada	7	9	4	6	7	-
Leguminosas y semillas oleaginosas						
Guisantes	9	7	7	12	8	-
Altramuces	6	5	5	4	4	-
Soja integral tostada	16	34	12	16	17	13,7
Harinas de oleaginosas						
H. de girasol 32%	26	62	36	25	33	26
H. de palmiste 44%	20	18	8	14	19	-
H. de soja 44%	-	21	23	42	28	16,3
H. de colza 34%	6	7	7	5	7	-
Productos de origen animal						
H. de pescado 66%	6	7	6	16	8	12
Suero dulce 70/12	13	2	1	4	3	-
H. de Carne 50%	10	-	-	-	11	8,5
Gluten feed	48	5	5	4	8	-
Salvado de trigo	10	17	10	10	13	15
Mandioca 65% almidón	4	4	3	4	5	4,5
Melaza de caña						
H. de alfalfa	17	29	6	22	19	55
	10	5	9	9	15	-

Fuente: Elaboración propia con datos de NRC.INRA.CVB. Ainprot. FEDNA. Rostagno.

Puede notarse, e incluso entre fuentes de referencia, una importante variabilidad del contenido de cobre en el maíz y complejo soja, principales materias primas utilizadas en dietas porcinas, representando un desafío para los nutricionistas tener que contemplar en la formulación de raciones dichos niveles en los cálculos de aporte del mineral y biodisponibilidad de los mismos.

Requerimientos de Cu en lechones

Desafortunadamente, existe poca información actualizada en lechones sobre requerimientos de microminerales y no se conocen sus necesidades con exactitud para las líneas genéticas actuales. Menos aún de la utilización de formas orgánicas de cobre como promotor de crecimiento para reemplazo de las fuentes inorgánicas (Sulfato de Cobre, Cloruro / Oxiclорuro de Cobre, Oxido de cobre, Carbonato de Cobre) tradicionalmente utilizadas en altas dosis para lograr una mejor salud intestinal, mayores ganancias de peso, mejores conversiones alimenticias y desempeño animal.

Las formas orgánicas de cobre, presentes actualmente en el mercado como glicinatos, metioninatos, quelatos de HMTBa y proteínatos de Cobre producen la misma o mejor performance de resultados zootécnicos en lechones cuando son utilizados en dosis menores como promotor de crecimiento que reemplazan las tradicionales 250 ppm de Sulfato de Cobre comentadas anteriormente.

Requerimientos de Cobre en lechones según diferentes tablas nutricionales y líneas genéticas

Fuente bibliográfica		Unidad
NRC 1998 ¹		4 a 6 ppm
NRC 2012 ¹	20	ppm
FEDNA 2006 ²		8 a 15 kg 170 ppm
Rostagno 2011 ³	4	a 15 kg 15 a 30 kg 13,4 ppm 12 ppm
Rostagno 2011 ³		10 ppm
Mateos et al..2004	8	ppm
KSU 2003 ⁷		15 ppm
NSU 2000 ⁸		6 a 15 ppm
INRA 1989 ⁹		10 ppm
PIC 2008	<	5 kg 5 a 27 kg 18 ppm ⁴ 5 ppm ⁴
PIC 2011	< 5,44 kg	5,44 a 27,2 kg 18 ppm ⁴ 15 ppm ⁴
Topigs 2011	5	a 25 kg 150 – 200 ppm ⁵
Genetiporc 2011		25 ppm

Fuente: Elaboración propia con datos de NRC, Rostagno, FEDNA, PIC, INRA, KSU, NSU, Topigs, Genetiporc

1 Nutrient requirements of swine (1998, 2012)

2 Federación Española de Nutrición Animal. 170 ppm como promotor.

3 Tablas Brasileiras de Aves y Cerdos – Rostagno et al.

4 Los niveles quimioterapéuticos del cobre son de 220 ppm para cada fase. Se asume que se utilizan formas inorgánicas.

5 Niveles > a 250 ppm de sulfato de cobre o cobre tribásico pueden ser añadidos como promotor de crecimiento.

6 Federación Española de Nutrición Animal

7 Kansas State University

8 Nebraska y South Dakota State University.

Se exponen (Tabla Nro.4) los requerimientos nutricionales de cobre en lechones recomendados por diferentes líneas o empresas proveedores de genéticas (PIC, Topigs, Genetiporc), como así también de diferentes fuentes de tablas nutricionales (NRC, FEDNA, INRA, Rostagno) reconocidas mundialmente y utilizadas en Argentina. Nótese la mención que realizan ciertos autores de los niveles recomendados para su uso como promotor de crecimiento.

Digestibilidad y Biodisponibilidad de las diferentes fuentes de Cobre.

La digestibilidad y biodisponibilidad representan el grado en el cual un mineral (o cualquier nutriente) ingerido es absorbido en una forma que pueda ser utilizado en el metabolismo por un animal normal (Ammerman y col., 1995); siendo el primero absoluto y el segundo relativo. Cuanto mayores son, menores serán las necesidades por los animales y menor será la excreción al medio ambiente. En términos de microminerales, la digestibilidad y biodisponibilidad puede ser definidos como la proporción que se absorbe de un mineral ingerido, que se transporta hasta su sitio de acción, y que se convierte en las formas fisiológicamente activas (O'Dell, 1983). Siempre se refiere a una fuente estándar del mineral a medir, en general el sulfato correspondiente.

Existen muchos factores que influyen la digestibilidad y biodisponibilidad de los minerales y hacen muy compleja su fisiología y aprovechamiento, especialmente de los minerales traza, tales como: nivel de consumo del mineral, forma química del mineral, composición y digestibilidad de la dieta, tamaño de partícula, interacciones con otros minerales y nutrientes, agentes quelantes (fitatos, molibdeno, azufre cambios en el pH, fibras vegetales, algunos polipéptidos grandes), estado fisiológico del animal, calidad del agua, condiciones de procesamiento, además de la edad y la especie animal. (Miles & Henry. 2000) **(Tabla Nro. 5 y Nro. 6).**

Forma química y concentración de diferentes fuentes de Cobre comúnmente utilizadas en cerdos.

Fuentes de Cobre	Fórmula	Contenido de Cu.%
Inorgánicas		
Carbonato de Cobre	$CuCO_3Cu(OH)_2$	50 a 55
Oxido Cúprico	CuO	75
Sulfato de Cobre	$CuSO_4H_2O$	34
Sulfato de Cobre	$CuSO_4.5H_2O$	25,2
Cloruro de Cobre ¹	$Cu_2(OH)_3Cl$	58
Orgánicas		
HMTBa Cobre ²	$Cu (HMTBa)_2$	15
Metioninato de Cobre ³	$C_{10}H_{20}N_2O_4S_2Cu$	10
Proteinato de Cobre ⁴	----	10 - 15
Glicinato de Cobre ⁵	$Cu(C_2H_4NO_2)_2$	16 - 24

Fuente: Elaboración propia con datos de Tablas Brasileñas 2011 y FEDNA

1 Cobre Tribásico – TBCC

2 Mintrex Cu. Novus International

3 Availa Cu. Zimpro Corporation

4 Bioplex Cu 10%. Alltech. Optimin Cu 15%. Trouw Nutrition

5 Prokel Cu 10%. Premex

MAAC Cu 16%. Novus International

Glicinato de Cu 24%. BASF

Tabla 6

Medidas de biodisponibilidad de distintas fuentes de aportes de Cobre.

Fuentes inorgánicas	Biodisponibilidad (%)
Sulfato cúprico anhidrido	100
Sulfato cúprico pentahidratado	100
Carbonato cúprico	94
Cloruro cúprico	-
Oxido cúprico	30 - 74
Fuentes orgánicas	
Cobre – lisina	98
Cobre – metionina	107
Cobre – proteinato	-
Cobre AA quelado	103
Cobre glicina	100

Fuente: FEDNA, 2012. NRC Swine, 1998.

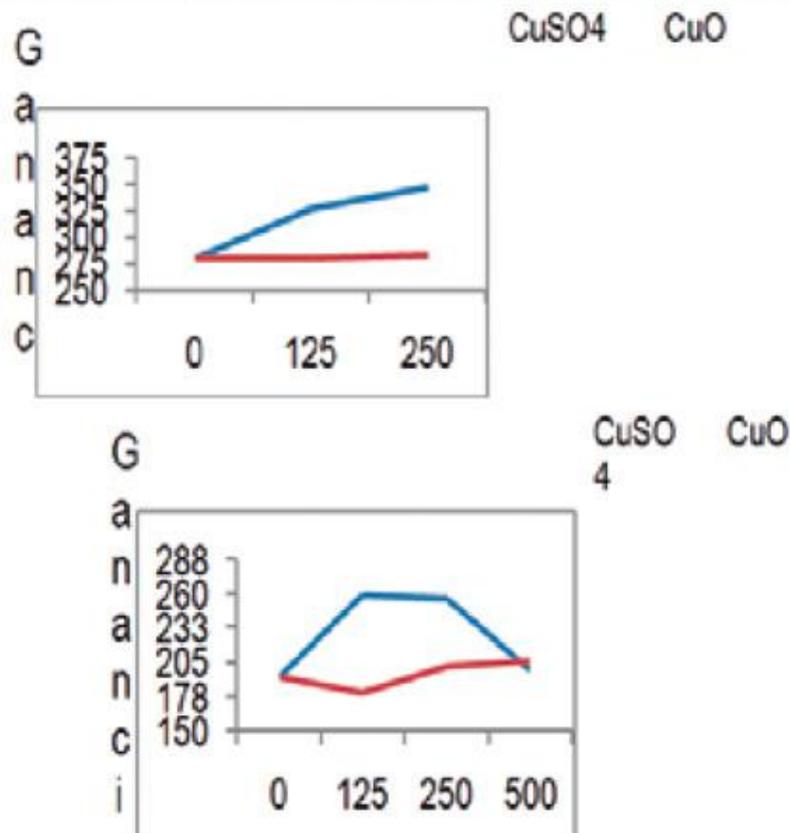
Dichas medidas de biodisponibilidad se basan en mediciones de concentración de Cu en hígado y en biomarcadores de deficiencia de Cu (EFSA, 2008; Xin y col., 1991). Estos datos deben interpretarse como un valor estimado que refleja la absorción y utilización de un mineral en un compuesto o suplemento (Milesy Henry, 2000).

Fuentes inorgánicas de Cobre comúnmente utilizadas en lechones como promotores de crecimiento.

Desde los primeros reportes científicos, décadas atrás, donde se demostraron que las adiciones en el alimento de zinc y cobre inorgánico mejoraron el crecimiento de lechones post destete, la industria global porcina utiliza, en combinación o individualmente, altas concentraciones de Oxido de Zn (2.000 a 3.000 ppm Zn) y/o Sulfato de Cu (125 a 250 ppm Cu) (Marcia Carlson Shanon).

Estas concentraciones dietarias como notamos anteriormente, superan por mucho las recomendaciones para cubrir los requerimientos basales de los animales de dichos minerales, produciendo efectos fisiológicos distintos. Sin embargo, en experimentos con altas cantidades de CuO no alcanzaron el rendimiento de lechones que con 125 ppm de CuSO₄, incluso a 500 ppm. Por lo tanto, puede evidenciarse que el aumento dietario de la cantidad de Cu de fuentes menos biodisponibles no puede compensar su baja efectividad (**Gráfico Nro.2**).

Efecto de diferentes fuentes de cobre inorgánico



Fuente: J.Anim.Sci. 1989 p.2996-3002

El sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) es la forma química de origen inorgánico más utilizada en la industria de alimentos para porcinos con estos fines. Es el mineral traza más fácilmente identificable de todos por ser partículas de color azul / verdoso visibles en premezclas e incluso a veces en los alimentos terminados. Lamentablemente como notamos, el CuSO_4 en altas dosis produce efectos negativos como antagonismo con otros minerales y nutrientes (Smith et al., 1997; Zhao 2008) y mayor excreción al medio ambiente.

Otras sales de cobre con distintas disponibilidades biológicas incluyen el sulfato monohidratado de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), carbonato de cobre ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), y sales de cloruro de cobre (Miller, 1980; Cromwell et al, 1998). El cobre en sulfuro cúprico y óxido cúprico (CuO) son poco disponible para el cerdo (Cromwell et al, 1978, 1989b; Sazzad et al., 1993).

Otra fuente inorgánica de cobre mas recientemente aprobada por la Comisión Europea es el Cloruro Tribásico de Cu (TBCC. $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$). Aunque el TBCC contiene $\pm 58\%$ de Cu, una mayor concentración en comparación con otras fuente de Cu existentes (sulfatos, quelatos de glicina, quelatos de HMTBa, complejos de metionina), no presenta una mejora de la biodisponibilidad con respecto al Cu del CuSO_4 y formas orgánicas. Existe poca literatura que apoye la mayor biodisponibilidad del mismo con respecto al CuSO_4 o de la disponibilidad del mineral sobre la base del rendimiento. Las publicaciones más recientes (Shelton, 2011, JAS; Cromwell, 2008, JAS) han demostrado que el TBCC presenta un rendimiento similar e incluso menor que el CuSO_4 .

Asimismo, el proceso de obtención del TBCC, como así también de la mayoría de los productos inorgánicos en el que se emplean productos reciclados del cobre, presenta un riesgo sustancial de contaminación con dioxinas, PCB e incluso arsénico. En base a lo anterior, el TBCC puede por lo tanto ser considerado como otra fuente de Cu inorgánica, con menos valor añadido en comparación con las fuentes orgánicas de Cu.

Fuentes alternativas de Cobre Orgánico

Consecuentemente con el uso sistemático en la nutrición porcina de altas concentraciones de Oxido de Zn y Sulfato de Cu en las dietas de cerdos, han aumentado en el transcurso de las últimas décadas las preocupaciones por la sustentabilidad del medio ambiente. Esta presión para producir a gran escala y contaminar lo menor posible, condujo a la industria de aditivos a desarrollar complejos minerales orgánicos basados en la teoría que son mas digeribles y biodisponibles, o mas similares a las formas que ocurren en la naturaleza del organismo que los minerales inorgánicos tradicionalmente utilizados, y que exhiben mejores performances y menor excreción del nutriente (Wedekind et al., 1994).

Los minerales unidos a un ligando orgánico, microminerales orgánicos (OTM) son componentes naturales de plantas y animales (Spears, 1996). Son microminerales químicamente ligados a un agente quelante o ligante, generalmente aminoácidos, pequeños péptidos, polisacáridos o ácidos orgánicos (HMTBa), que les confiere una protección contra posibles interacciones con otras sustancias durante el proceso de digestión, estabilidad a los diferentes pH, entre otras ventajas Son moléculas estables en el medio intestinal y por lo tanto, el mineral es liberado en el lugar de absorción aumentando así su biodisponibilidad para los tejidos (Leeson e Summers, 2001).

En la última década, diversos ensayos han mostrado que el uso de microminerales altamente biodisponibles mejoran la salud y la productividad animal. Estos trabajos indican que las formas orgánicas pueden reemplazar a las inorgánicas a menores niveles de uso, manteniendo e incluso mejorando la productividad (Fremaut, 2003). Miles y Henry (1999) han listado los siguientes beneficios percibidos de las formas orgánicas:

- Los quelatos se absorben mediante mecanismos diferentes a los minerales inorgánicos.
- La estructura tipo anillo de las fuentes orgánicas protege al mineral de reacciones indeseadas dentro del tracto gastrointestinal.
- Los quelatos atraviesan fácilmente la barrera intestinal pasando intactos al torrente sanguíneo.
- El uso de fuentes orgánicas facilita la absorción pasiva ya que las interacciones entre minerales, y entre minerales y otros nutrientes son mínimas.
- El mineral orgánico se presenta en los tejidos “objetivos” o “tergets” de forma similar a como este lo necesita.
- Cada mineral de un quelato facilita la absorción del resto de minerales dentro del quelato.
- Los quelatos están cargados negativamente y por ello los minerales del complejo se absorben y metabolizan más eficientemente que los minerales de las formas inorgánicas.
- El proceso de quelación aumenta la solubilidad y facilita el movimiento del mineral a través de las membranas celulares.
- La quelación aumenta la solubilidad en agua y como en lípidos del mineral lo que facilita la absorción pasiva.
- A bajos pH los quelatos son más estables que las fuentes inorgánicas.
- Los minerales contenidos en ciertos quelatos se transportan y absorben mediante el mismo mecanismo que los aminoácidos, lo que facilita su absorción.

Sin embargo, los productos disponibles actualmente en el mercado poseen diferentes características químicas de acuerdo con la estructura de la molécula, comportándose de forma diferente en el sistema gastrointestinal y generando diferentes respuestas en el animal. Los minerales orgánicos pueden diferir en cuanto al tipo de ligante utilizado, fuerza de ligación, número de ligaciones entre el metal y el ligante, como también el peso de la molécula. Un micromineral orgánico (OTM) de alta calidad, con ligaciones estables puede llegar al intestino sin sufrir disociaciones ni antagonismos con otros metales y componentes de la dieta. El tipo de ligando usado para formar el complejo o quelato varía, pero en la mayoría de los productos orgánicos, la ligadura es con un aminoácido (s), hidrolizado proteico, o polisacárido (Spears, 1993)

¿Por qué utilizar minerales orgánicos en lechones? En la literatura se encuentran las siguientes respuestas que difieren según los autores pero que

en su mayoría son positivas en comparación con las fuentes de minerales inorgánicas:

- Mejora de resultados reproductivos (Mirando y col., 1993; Zhao y col., 2010).
- Menor mortalidad en cerdas y mayor vida productiva (Richards y col., 2010; Zhao y col., 2010).
- Aumento de la transferencia de hierro a través de la placenta con aumento de la tasa de hemoglobina e inmunoglobulinas al nacimiento (Ashmead y Graft, 1982; Close, 1998; Vandergriff, 1993).
- Mayor número de lechones nacidos vivos (Mirando y col., 1993; Peters y Maham 2008; Zhao y col., 2010).
- Mejor respuesta inmune de los lechones (Richards y col., 2010).
- Reducción de aportes sin afectar a los resultados productivos y menor excreción mineral en cerdos de engorde (Greech y col., 2004).
- Menor incidencia de lesiones de piel y patas (Anil y col., 2009).
- Mejora de forma significativa la utilización de la grasa animal, cuya digestibilidad aumento de un 75,6% a 85,1% (Dove 1995)
- Sin efecto (Apgar y col., 1994; Carlson y col., 2000; Cose y Carlson, 2002; Lee y col., 2001; Maribo y Poulsen, 1999; Papadopoulos y col., 2009; Windisch y col., 2001).

Conclusiones

Los elementos traza son necesarios para una nutrición y producción animal eficiente pero las necesidades varían en función del tipo de animal, estadio fisiológico y objetivos de producción. Un problema relacionado con su estudio es que la mayor parte de las investigaciones en las cuales nos basamos hoy día para recomendar niveles de inclusión fueron realizadas hace más de 30 años por lo que probablemente no sean aplicables en producción intensiva moderna con animales más productivos.

Sin embargo, trabajos publicados en los últimos años han demostrado de forma fehaciente que cantidades adicionales de ciertos elementos traza mejoran aspectos productivos distintos de los clásicos síntomas de deficiencia (G.G. Mateos, D. García Valencia y E. Jiménez Moreno).

De gran importancia práctica es la inclusión de niveles farmacológicos de cobre y zinc para reducir problemas intestinales y mejorar el crecimiento en lechones (FEDNA). Como consecuencia, numerosos elementos traza son hoy día incorporados a la dieta con una finalidad distinta a la de evitar síntomas típicos de deficiencia. Por ello, los niveles de uso en alimentos son superiores a lo

recomendado por instituciones científicas tales como el ARC (1981), el INRA (1989) o el NRC (1998).

Asimismo, en los últimos diez años ha aumentado la presión legislativa para limitar la utilización de minerales y reducir la contaminación ambiental. Esta presión que afecta a numerosos países, es especialmente intensa en la Unión Europea (UE-25), siendo por lo general luego puesta en práctica por otros países incluyendo Argentina. Gran parte de los oligoelementos ingeridos por las diversas especies domésticas (hasta el 99 %) no es retenida y aparece en heces y orina (Mohana y Nys, 1998; Nys, 2001). La emisión de elementos traza al medio ambiente aumenta la polución, especialmente en el caso del Cu y del Zn, un problema que puede reducirse mediante la inclusión juiciosa de los minerales en la dieta (Ferket et al., 2002; Jondreville et al., 2002; Revy et al., 2003).

Las interacciones que sufren los microminerales inorgánicos (ITM) en el tracto gastrointestinal reducen notablemente su digestibilidad y biodisponibilidad, y obliga a utilizar grandes cantidades de minerales en las dietas que luego son excretados por los animales contaminando el medio ambiente y resultando mas costosos. En nutrición animal, la fuente de microminerales –tales como zinc, cobre y manganeso- ha sido tradicionalmente de origen inorgánico.

El uso de microminerales orgánicos (OTM) representa una alternativa económica y ambientalmente viable para la nutrición mineral animal contrarrestando estos efectos adversos de los minerales inorgánicos. Son productos tecnológicamente superiores a los ITM, asegurando una mayor digestibilidad y biodisponibilidad a menores dosis. Existen diferentes tipos de minerales orgánicos en el mercado con grandes diferencias, siendo los factores mas importantes para su elección el de tener una estructura totalmente definida, valor nutricional del ligando, ligaciones estables, menor interacción y antagonismos con otros ingredientes de la dieta, resistentes a los diferentes cambios de pH del tracto gastrointestinal y que cumplan con las últimas exigencias de producción como ser ausencia de metales pesados, dioxinas, PCBs, y un control estricto en su elaboración (ISO, BPM, HCCP, FAMI-QS).

Actualmente existen diferentes estrategias de uso de los productos minerales orgánicos. Una de ellas consiste en reducir y reemplazar el usos de las fuentes tradicionales inorgánicas para cubrir los requerimientos del mineral por los animales sin comprometer resultados zootécnicos, por lo contrario, superando en muchos casos a los controles y siendo mas económicos. Otra alternativa de uso, es utilizarlos con fines de promotor de crecimiento como es el caso de cobre en lechones, buscando una mejora de parámetros zootécnicos claves como ganancia de peso, salud intestinal y conversión alimenticia.