

DE LA CANTIDAD A LA CALIDAD: LA IMPORTANCIA DE LOS FERTILIZANTES EN LA ALIMENTACION HUMANA¹

David W. Dibb¹, Terry L. Roberts¹ y R. M. Welch²

El hambre en el mundo y la demanda agrícola

La desnutrición crónica está ampliamente distribuida en el mundo en desarrollo, y es una expresión del problema del hambre en el mundo. De acuerdo con las Naciones Unidas, 852 millones de personas, el 13% de la población mundial, sufrió desnutrición en el periodo 2000-2002, 96% del total de casos se presentaron en los países en desarrollo (FAO, 2004). Si bien el número de desnutridos en los países en desarrollo descendió en aproximadamente 9 millones desde 1990-1992, la Cumbre Mundial de la Alimentación de 1996 se fijó el objetivo de reducir el número de desnutridos a la mitad entre 1990 y 2015.

Además del desafío de reducir el hambre, se espera un incremento del 28% en la población mundial en los próximos 25 años, pasando de 6.8 billones a 8.3 billones y con este crecimiento se incrementará también la demanda de productos agrícolas. La **Tabla 1** resume las proyecciones del crecimiento de la población y otros indicadores de la anticipada demanda agrícola.

La producción de cereales ha intentado mantenerse a la par del incremento lineal del consumo y, aunque con algunas variaciones, ha aumentado sostenidamente. Por primera vez en casi una década, se pronostica que la producción de cereales 2004/05 superará al consumo en al menos 2% (**Figura 1**).

La producción global de cereales está estrechamente relacionada con el consumo de fertilizantes (**Figura**

2). El consumo de fertilizantes creció cerca del 12% en los últimos 5 años, comparado con el 11% del crecimiento de los cereales. La producción de cereales y el consumo de fertilizantes se incrementan con condiciones climáticas favorables, precios altos de las mercancías y otros factores económicos y políticos.

El incremento actual y futuro de la producción de cereales no sería posible sin fertilizantes comerciales. Una revisión reciente de estudios a largo plazo en EE.UU., Inglaterra y Latinoamérica indica que, al menos, 30-50% del rendimiento es atribuible al uso de fertilizantes (Stewart et al., 2005). La revisión incluye 362 ciclos de cultivo y muestra que la

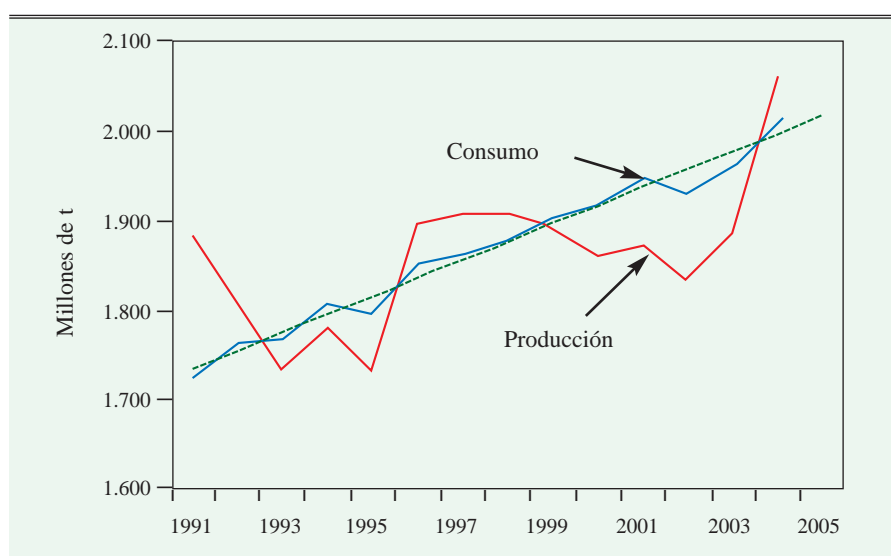


Figura 1. Producción y consumo mundial de cereales (trigo, granos gruesos, arroz) (FAO, 2005).

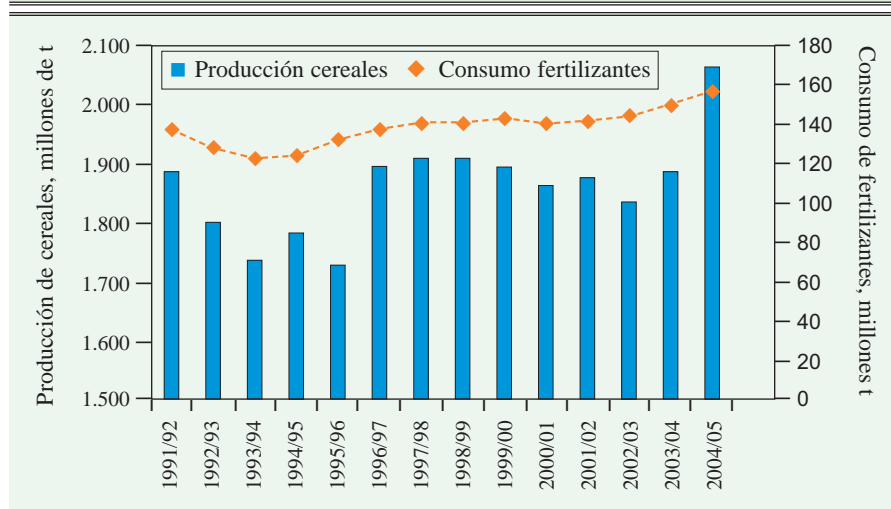


Figura 2. Producción y consumo mundial de cereales y fertilizantes (N+P₂O₅+K₂O) (FAOSTAT, 2005; IFA Statistics Online, 2005; Heffer, 2005).

¹ Potash and Phosphate Institute, Norcross, GA, USA. ddibb@ppi-far-org.

² Laboratorio de Planta, Suelo y Nutrición, USDA-ARS, NY, USA.

Tabla 1. Indicadores de la demanda agrícola (FAO, 2002).

Indicadores	Unidades	1979-1981	1997-1999	2015	2030
Población	Billones	4.43	5.90	7.21	8.27
Crecimiento anual de la población	% anual	1.6	1.5	1.2	0.9
Consumo de calorías	Kcal/cápita/día	2552	2803	2940	3050
Producción de cereales	Millones de t	1442	1889	2387	2838
Producción de carne	Millones de t	132	218	300	376
Producción de aceites vegetales y oleaginosas	Millones de t	50	104	157	217
Desnutrición	Millones de personas	816*	777	610	443

* Límite establecido para 1990-1992 por la Cumbre Mundial de la Alimentación.

contribución promedio de rendimiento atribuible a los fertilizantes varió entre 40 y 60% en EE.UU. e Inglaterra y fue mucho mayor en los países tropicales. En la **Figura 3** se compara la contribución porcentual promedio de los fertilizantes (y el encalado) al rendimiento de los cultivos en regiones templadas y tropicales según la revisión de Stewart y colaboradores.

Los fertilizantes realizan una contribución imparable a la producción de alimentos y lo seguirán haciendo en el futuro, a medida que se incrementa la demanda de producción de cultivos. Una adecuada fertilización también puede mejorar la calidad y el valor nutricional del cultivo, impactando de esta forma la nutrición humana.

Nutrición humana, calidad del cultivo y fertilización

La baja ingestión de micronutrientes afecta a 3 billones de personas en el mundo (Welch y Gram, 2004). Esto se debe a dietas de baja calidad constituidas principalmente por alimentos primarios (trigo, maíz y arroz), pero de bajo consumo de otros alimentos (frutas, leguminosas, hortalizas, carne y pescado) ricos en minerales y vitaminas biodisponibles. Se requieren de al menos 50 nutrientes en la dieta humana: agua, carbohidratos, proteínas, grasas, minerales (macro y micro), y vitaminas (**Tabla 2**). Tanto los microelementos como las vitaminas son considerados micronutrientes esenciales para la nutrición humana.

La falta de micronutrientes en la dieta de países en desarrollo resulta en la muerte de más de 5 millones de niños cada año, quita más de 220 millones de años de vida productiva a los hogares y produce billones de dólares en pérdidas de productividad a cada uno de los países (FAO,

2004). Aún deficiencias leves de micronutrientes incrementan marcadamente el riesgo de muerte y enfermedades severas. Las deficiencias de hierro (Fe), yodo (I), vitamina A, y zinc (Zn) son actualmente las deficiencias de micronutrientes de mayor importancia para la salud humana en el mundo en desarrollo.

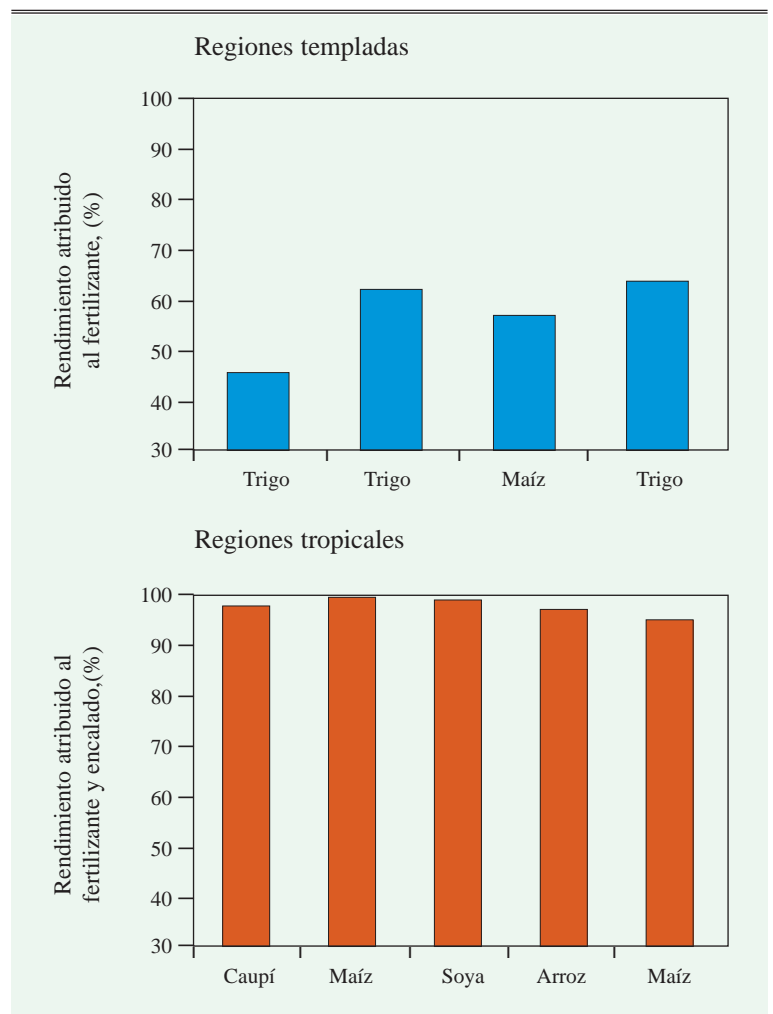


Figura 3. Contribución promedio de fertilizantes NPK (y cal en el trópico) al rendimiento en estudios de largo plazo en regiones templadas (EE.UU. e Inglaterra) y tropicales (Brasil y Perú) (Adaptado de Stewart et al., 2005).

La deficiencia de hierro (Fe) es el desorden nutricional más común en el mundo. La Organización Mundial para la Salud (WHO por sus siglas en inglés), estima que 4-5 billones de personas pueden sufrir deficiencias de Fe y que aproximadamente 2 billones de personas sufren anemia debido a esta deficiencia (WHO, 2004). La deficiencia de yodo (I) afecta a más de 740 millones de personas, siendo la principal causa de daño cerebral en el mundo. La deficiencia de vitamina A es la principal causa, posible de prevenir, de ceguera en niños, siendo deficientes entre 100 y 140 millones de niños en el mundo. La deficiencia de vitamina A incrementa los riesgos de enfermedad y muerte por infecciones severas, causa ceguera nocturna en mujeres embarazadas, y puede incrementar el riesgo de mortalidad maternal. El mal desarrollo infantil es el más claro indicador de la deficiencia de zinc (Zn). No es posible saber la proporción de la deficiencia de Zn, ya que no existe un método de medición simple y de

bajo costo, pero investigaciones recientes indican que una quinta parte de las personas en el mundo puede presentar carencia de Zn en sus dietas y se estima que un tercio de la población mundial vive en países de alto riesgo de deficiencia de Zn (Hotz y Brown, 2004). La alimentación es la clave para solucionar los desórdenes nutricionales de manera sustentable y la fertilización puede influenciar directamente los contenidos de Fe y Zn en los alimentos, e indirectamente los contenidos de vitamina A.

De los 50 componentes nutricionales requeridos para satisfacer las necesidades metabólicas de los humanos (**Tabla 2**), sólo el agua, potasio (K), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), Fe, manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), son considerados esenciales para las plantas. El cobalto (Co) es esencial para la fijación biológica del nitrógeno (N), y es un componente esencial de la también esencial cobalamina, una

vitamina que es sintetizada solo por ciertas bacterias. La deficiencia de cobalamina en humanos (anemia pernicioso), es conocida por ser un gran problema en ciertas regiones del mundo, incluyendo el subcontinente Indio, México, América Central y Sudamérica y entre vegetarianos en Asia (Stabler y Allen, 2004). Las plantas utilizan el N y estos elementos minerales para sintetizar los componentes nutricionales esenciales (proteínas y vitaminas) en los alimentos que los humanos consumen. La fertilización con estos 14 nutrientes esenciales no solo puede incrementar los rendimientos, sino que también puede mejorar la calidad de los alimentos vegetales y animales.

La relación entre la fertilización con N, el rendimiento de los cultivos y la concentración de proteína es ampliamente aceptada. Los resultados de la **Figura 4** son típicos de lo que puede observarse cuando se aplica fertilizante nitrogenado a un suelo deficiente. La concentración de proteína en

Tabla 2. Nutrientes esenciales para la vida (Welch y Graham, 2004).

Agua y Energía	Proteínas (aminoácidos)	Lípidos-Grasas (Ácidos grasos)	Macro elementos	Micro elementos	Vitaminas
Agua	Histidina	Acido oléico	Na	Fe*	A
Carbohidratos	Isoleucina	Acido linoleico	K	Zn	D
	Leucina		Ca	Cu	E
	Lisina		Mg	Mn	K
	Metionina		S	I	C (ácido ascórbico)
	Fenilalanina		P	F	B1 (tiamina)
	Treonina		Cl	B	B2 (riboflavina)
	Triptófano			Se	B3 (niacina)
	Valina			Mo	B5 (ácido pantoteico)
				Ni	B6 (piridoxina)
				Cr	B7 (biotina)
			Si	B9 (ácido fólico)	
			As	B12 (cobalamina)	
			Li		
			Sn		
			V		
			Co (en B12)		

* Los micronutrientes esenciales que presentan la mayor preocupación para la salud humana se indican en negrillas.

trigo continúa incrementándose con la cantidad de N aplicado más allá de la cantidad necesaria para obtener el máximo rendimiento. Cuando el N disponible es limitante (parte inferior de la curva de rendimiento), como es frecuente en países en desarrollo, aplicando pequeñas, pero inadecuadas cantidades de N a menudo resultan en reducción de la proteína en el grano. Se necesita aplicar suficiente N para satisfacer los requerimientos de rendimiento de la planta antes de que se observen incrementos significativos en proteína.

La calidad y composición de los aminoácidos de las proteínas también se afectan con la fertilización con N, y conociendo que el S es un componente estructural de tres aminoácidos (metionina, cistina y cisteína) la aplicación de S también afecta la calidad de proteína (Rendig, 1984; Grunes y Allaway, 1985). La fertilización con N incrementa la concentración de algunos aminoácidos no esenciales y disminuye la de otros aminoácidos esenciales, pero, en función del peso del grano, el contenido de aminoácidos generalmente se incrementa con la cantidad de N aplicado. En general, la nutrición mineral tiene mayor efecto en los aminoácidos libres de la fracción no proteica. El uso de N en suelos deficientes promueve el crecimiento de las plantas con mayores contenidos totales de proteína, resultando en mayor cantidad de proteína por hectárea. A pesar que la genética controla la calidad nutricional de las proteínas en mayor medida que la fertilización nitrogenada, el manejo de la fertilización puede afectar la composición de los aminoácidos y por ende, la utilización de proteínas por el consumidor.

Importancia del balance de nutrientes

Algunos de los efectos del uso de N,

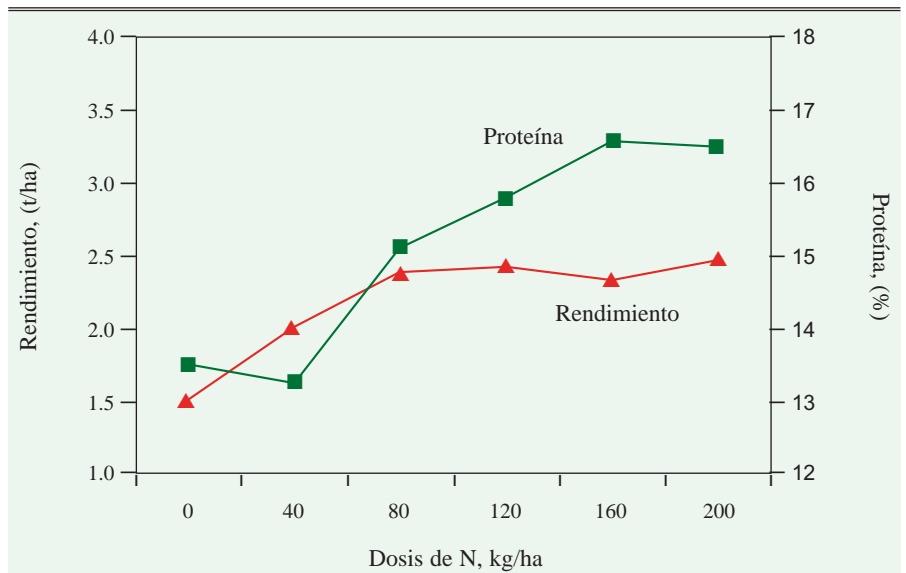


Figura 4. Rendimiento y proteína en grano de trigo bajo diferentes dosis de N, en el Oeste de Canadá (Grant et al., 2001).

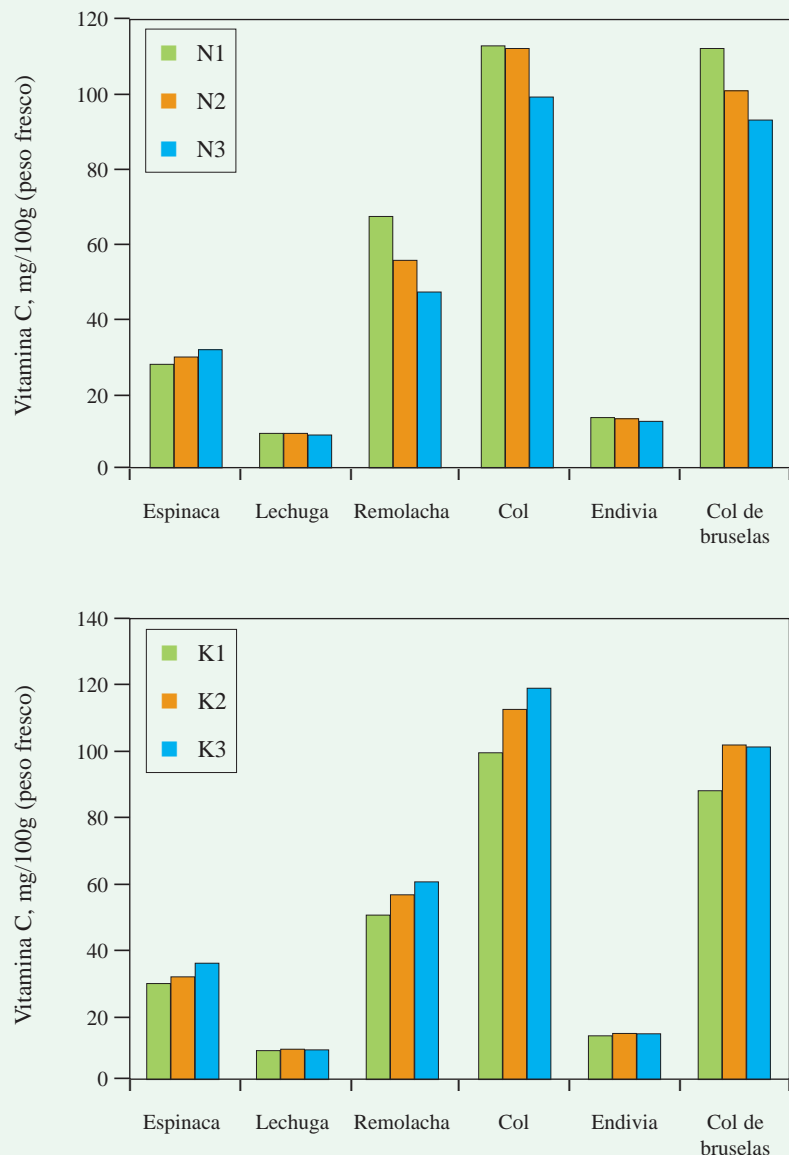


Figura 5. Efecto de la fertilización con N y K en el contenido de vitamina C de varias hortalizas (adaptado de Salunkhe y Desai, 1988).

Tabla 3. Efectos de la aplicación de Zn en el rendimiento de trigo en sitios con diferentes niveles de Zn en el suelo, en Anatolia Central (Cakmak et al., 1996).

Sitios	Nivel de Zn mg/kg	----- Rendimiento de grano -----		
		-Zn ----- t/ha -----	+Zn -----	Incremento %
Konya	0.13	2.8	5.9	111
Konya (Comaki)	0.11	0.2	1.4	600
Eskisehir	0.15	2.5	3.3	32
Sarayonu (Cesmelisebil)	0.25	1.1	2.3	109
Sarayonu (Gozlu)	0.38	1.1	1.5	36
Cumra	0.64	5.4	5.6	4
Promedio	0.28	2.2	3.3	53

P y K en la calidad de las hortalizas los resumen Salunkhe y Desai (1988). Los autores citan reportes que indican que la aplicación de muy altas cantidades de N tienden a disminuir el contenido de vitamina C de las hortalizas (espinaca, remolacha, col y col de bruselas), mientras que las aplicaciones de K aumentan el contenido de vitamina C (**Figura 5**). Se ha encontrado que la fertilización nitrogenada tiene efecto positivo en el nivel de caroteno en zanahoria y espinaca, pero las aplicaciones abundantes pueden tener un efecto adverso en la calidad de las hortalizas por la acumulación de nitrato potencialmente dañino.

Otros efectos nutricionales citados por Salunkhe y Desai (1988) sugieren que la fertilización con P podría incrementar el contenido de azúcar en tomate y mejorar el color de la remolacha, mientras que la deficiencia de P produciría un pobre llenado de las mazorcas de maíz dulce. La acidez en tomate y los contenidos de sólidos y almidón en papa se relacionan positivamente con la fertilización con K. Perkins-Veazie y Roberts (2002) documentaron otros efectos del K en la composición y calidad de frutillas, uvas, pomelo, pistacho, sandía y tomates. Generalmente, el K parece afectar la acidez, el pH y el contenido de carotenoides. La adición de K, por lo general,

disminuye el pH de la fruta, incrementando su acidez. En tomates, el incremento en K resalta el color rojo e incrementa el contenido de licopenos. El licopeno es el carotenoide que otorga el color rojo al tomate y a la sandía. El N, P y K interactúan en forma conjunta, incrementando los rendimientos y la absorción de otros nutrientes y afectando la calidad del producto a la cosecha. Más información sobre los beneficios adicionales del P y el K en la calidad de los cultivos a la cosecha se encuentran resumidos en la revista *Better Crops* (1998, 1999).

En general, la fertilización con micronutrientes tiene poco efecto en la acumulación de éstos en las partes comestibles de las plantas, a excepción del Zn y otros microelementos como el Ni, I, y selenio (Se), que no están disponibles en fertilizantes comerciales.

La deficiencia de Zn es común en cultivos, especialmente en cereales. Cerca de la mitad de la superficie sembrada en el mundo con cereales es deficiente en Zn (Graham y Welch, 1996). El arroz y el trigo, fuentes predominantes de energía y minerales para gran parte de la población mundial, son particularmente sensibles a la deficiencia de Zn. Tanto el rendimiento como la calidad nutricional del grano se ven limitadas en suelos deficientes en

Zn. En la década de los 90, estudios de campo a gran escala en suelos de Turquía con deficiencia generalizada de Zn demostraron la eficacia de la fertilización en corregir los problemas de deficiencias de Zn en todo el país (Cakmak, 2005).

Anatolia Central, la región más seca de Turquía, cubre el 50% del área de producción de trigo del país (4.5 millones de ha) y, según reportes de la FAO, tiene los suelos con deficiencias más severas de Zn del mundo. Los experimentos de campo y los muestreos de suelo y foliares confirmaron la existencia de deficiencia generalizada de Zn. La fertilización con Zn produjo un incremento sustancial de rendimiento y, en ciertas áreas donde la producción de trigo no había sido económica y los rendimientos eran extremadamente bajos (250 kg/ha), las aplicaciones de Zn incrementaron los rendimientos hasta en 600% (**Tabla 3**).

Las aplicaciones foliares y al suelo y los tratamientos de la semilla con Zn aumentaron los rendimientos de grano y, más importante aun, la concentración de Zn en el grano en 300% (**Figura 6**). La mayoría de la población en Turquía depende del trigo como fuente básica de alimento. En promedio, el 45% de la ingesta diaria en calorías proviene del trigo, siendo crítico entonces tener adecuados niveles de Zn en el grano. Este proyecto es uno de los primeros ejemplos en el mundo en donde se ha usado la fertilización específicamente para intervenir en un problema severo de salud humana.

Interacción entre nutrientes

Las interacciones entre nutrientes, pH y condiciones adversas de suelo como exceso de agua o compactación, afectan la concentración de nutrientes en las partes comestibles de las plantas. En suelos pobres en nutrientes, comunes en los países en

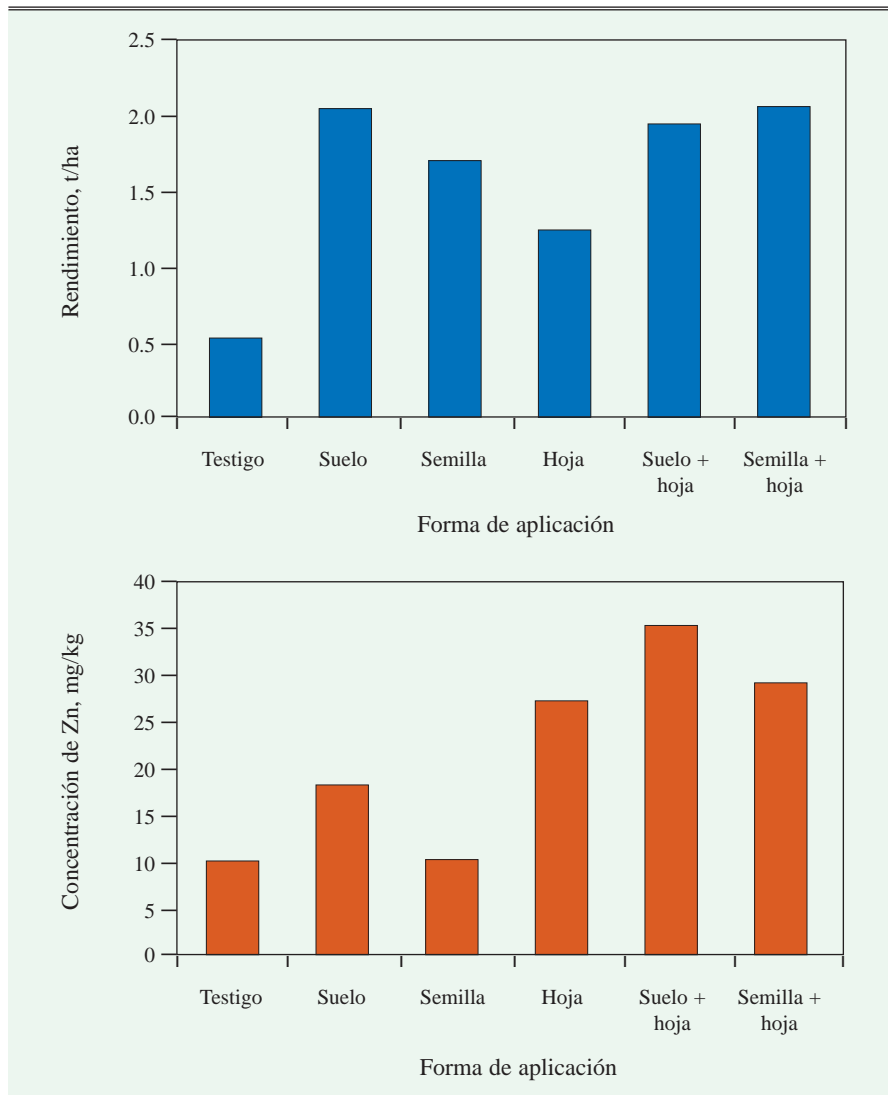


Figura 6. Efecto de diferentes formas de aplicación de Zn en el rendimiento y la concentración de Zn en el grano de trigo en Anatolia Central, Turquía (Yilmaz et al., 1997).

desarrollo, la producción de cultivos está limitada en primer lugar por aquellos nutrientes requeridos en altas cantidades, como N, P y/o K. Cuando el N, P y/o K son limitantes, la aplicación de estos nutrientes incrementa el crecimiento de las raíces y, a menudo, resulta en una mayor absorción de micronutrientes. Sin embargo, condiciones como alto pH, exceso de enclado o alta aplicación de P pueden afectar negativamente la absorción de Zn y Fe (Marschner, 1995).

La absorción de Zn por las raíces es especialmente sensible a la variación de pH en la rizosfera. Los incrementos en pH del suelo restringen la absorción de Zn y

pueden inducir deficiencias en las plantas, aun cuando las especies varían en la respuesta al pH del suelo (Loneragan y Webb, 1993). Las interacciones P-Zn son muy conocidas y de cierta complejidad ya que las aplicaciones de P pueden inducir deficiencias, no tener efecto o incrementar la absorción de Zn. La causa más común de la reducción en la absorción de Zn con la fertilización fosfatada es la supresión de la infección de raíces por las micorrizas vesículo-arbusculares. La fertilización con N puede tanto incrementar como reducir la deficiencia de Zn. La interacción positiva más común entre N y Zn se produce cuando el N promueve el crecimiento de planta y raíz y, en menor medida, reduce pH

del suelo en la zona radicular, los dos procesos incrementan la absorción de Zn. Existen otros micronutrientes que también interactúan con el Zn y bajo ciertas circunstancias pueden inhibir su absorción.

El ácido fítico (o fitato), una forma orgánica de P en la semilla de las plantas superiores, también interactúa con los microelementos (Bruulsema, 2002a). Por ejemplo, el ácido fítico contiene el 70% del P total de la semilla de soya. Cuando la soya crece en suelos ricos en P, el P se acumula en el grano principalmente como fitato. El ácido fítico generalmente reduce la biodisponibilidad de Zn y Fe en los alimentos básicos. Este es uno de los numerosos antinutrientes que se conoce que están presentes a altos niveles en los alimentos básicos (Graham et al., 2001). El ácido fítico forma precipitados insolubles con muchos cationes polivalentes como Zn, Fe y Ca, reduciendo su absorción por los humanos.

Alimentos funcionales y fertilización

La literatura cuenta con muchas evidencias del efecto positivo de los fertilizantes comerciales que suministran nutrientes esenciales para sostener la vida humana. La industria de fertilizantes juega un papel fundamental en la mitigación del hambre y de los desórdenes nutricionales existentes en los países en desarrollo. Si bien la mala nutrición no afecta directamente al mundo desarrollado, el público está interesado en la calidad en los alimentos y su contribución a la salud. Los consumidores se han interesado cada vez más en los alimentos funcionales y los nutraceuticos. Los alimentos funcionales son aquellos que contienen ingredientes bio-activos (licopeno en tomates, isoflavonas en soya), que mejoran la salud y el estado físico del cuerpo (Bruulsema,

2002a). Los ingredientes en los alimentos funcionales se asocian con la prevención y tratamiento del cáncer, diabetes, hipertensión, enfermedades del corazón y otras dolencias. Estos ingredientes, llamados también nutraceuticos, pueden ser extractados y consumidos como suplementos o pueden tener un valor terapéutico cuando se consumen con los alimentos. Los componentes de los alimentos funcionales están fuertemente controlados por la genética, pero otros factores como el clima, las prácticas culturales y el manejo de nutrientes pueden también tener un impacto importante.

El efecto de la nutrición mineral en los componentes de los alimentos funcionales se discutió recientemente en un simposio especial de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA) (Bruulsema, 2002b). Algunos ejemplos de la interacción entre nutrientes y fitoquímicos se presentan a continuación.

El licopeno no es esencial para humanos o animales, pero la investigación ha demostrado que tiene beneficios interesantes en la salud. Este compuesto, que pertenece a la familia de los carotenoides que dan el color rojo al tomate, sandía y pomelo, tiene probadas propiedades antioxidantes, es decir neutraliza los radicales libres que pueden dañar células humanas. Un primer estudio demostró que el contenido de carotenoides en tomates se incrementó cuando se añadieron cantidades crecientes de K en la solución nutritiva (Trudel y Ozburn, 1971). Los análisis de los frutos mostraron que los contenidos de licopeno aumentaron marcadamente con el incremento en la aplicación de K, llegando hasta 56%. Los autores concluyeron que el licopeno es el pigmento más sensible a la deficiencia de K.

Tabla 4. Efecto de la aplicación de K en la concentración de isoflavonas en la semilla de soya en Ontario (Canadá). Promedio de dos sitios y tres años de estudio (Bruulsema 2002a).

Aplicación de K	----- Isoflavonas -----			Total*
	<i>Genisteina</i>	<i>Daidzeina</i>	<i>Glicitina</i>	
	ppm			
Banda	938	967	146	2051
Sin aplicación	831	854	130	1815
Incremento debido a K (%)	13	13	12	13

* **Concentración total de isoflavonas expresada como aglicona; suma de tres componentes.**

Siendo el K un co-factor esencial en la síntesis de proteínas, su deficiencia produce una reducción en las reacciones enzimáticas que intervienen en la síntesis de carotenos y precursores. Un estudio en ejecución en Texas muestra que los contenidos de carotenoides en toronja (licopeno y beta-carotenoide), y de vitamina C se incrementan con la fertilización foliar con KNO_3 (B. Patil, datos inéditos, PPI/FAR Research Database, TX-45F). La fertilización con NPK también incrementó el contenido de licopeno y sólidos solubles (dulzor) en sandía en otro estudio llevado a cabo en Oklahoma (Perkins-Veazie y Roberts, datos inéditos, PPI/FAR Research Database, OK-07F).

Además de ser una fuente importante de proteínas, se cree que la soya previene el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y la osteoporosis y reduce los síntomas menopáusicos (Bruulsema 2002a). La soya contiene varias clases de anticancerígenos, incluyendo las isoflavonas genistein y daidzein y es la única fuente alimenticia con significativos contenidos de estos componentes. Las isoflavonas se han asociado también con efectos de reducción de colesterol y con la reducción de la frecuencia de la intensidad de las molestias en mujeres menopáusicas. Investigación en Ontario (Canadá) han demostrado que la

fertilización con K puede afectar el contenido de isoflavonas en la soya (Tabla 4). La aplicación de K aumentó el contenido de isoflavonas en un 13%, en promedio, en los 2 sitios en los 3 años del estudio. Los 2 sitios difirieron en el contenido de K en el suelo, uno muy bajo y otro alto, pero ambos tuvieron respuesta similar en rendimiento a la fertilización con K. En sitios donde la soya no respondió a la aplicación de K, los niveles de isoflavonas no difirieron, sugiriendo que la deficiencia de K reduce los niveles de isoflavonas en este cultivo.

Conclusiones

La aplicación balanceada y adecuada de fertilizantes comerciales es un factor crítico en la producción de alimentos para el mundo y continuará creciendo en importancia a medida que se incrementa la demanda de alimentos, conjuntamente con la demanda de una mejor fertilidad de los suelos. La fertilización adecuada también mejora la calidad de los alimentos al incrementar el contenido de componentes esenciales para la nutrición humana. Los gobiernos, las autoridades sanitarias y todas aquellas personas trabajando en agricultura necesitan reconocer el importante papel que los fertilizantes juegan en el abastecimiento de alimentos vegetales y animales ricos en nutrientes, fitoquímicos, vitaminas y proteínas.

Referencias

- Better Crops. 1998. The influence of potassium in crop quality. In Potassium for Agriculture. Better Crops with Plant Food: 82(3):28-29.
- Better Crops. 1999. Phosphorus improves crop quality. In Phosphorus for Agriculture. Better Crops with Plant Food: 83(1):28-29.
- Bruulsema, T.W. 2002a. Nutrients and product quality. p. 69-78. In Plant Nutrient Use in North America. PPI/PPIC/FAR Technical Bulletin 2002-1. Published by Potash & Phosphate Institute. ISBN # 0-9629598-4-7.
- Bruulsema, T.W. (ed). 2002b. Fertilizing Crops for Functional Foods. Symposium Proceedings 11 November, 2002. Potash & Phosphate Institute. www.ppi-ppic.org/functionalfood
- Cakmak, I. 2005. Identification and correction of widespread zinc deficiency problem in central Anatolia, Turkey. 73rd IFA Annual Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 6-8 June, 2005.
- Cakmak, I., A. Yilmaz, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu, H.J. Braun. 1996. Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil* 180: 165-172.
- FAO 2002. World Agriculture: Towards 2015/2030 an FAO perspective. FAO Corporate Document Repository. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/documents
- FAO 2004. The State of Food Insecurity in the World 2004. Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO 2005. Global information and early warning system on food and agriculture (GIEWS). www.fao.org/giews/english/
- FAOSTAT 2005. Agricultural Data. faostat.fao.org/
- Graham, R.D. y R.M. Welch. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. *Agricultural Strategies for Micronutrients*. p 1-72. Working Paper No. 3. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Graham, R.D., R.M. Welch, y H. E. Bouis. 2001. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agron.* 70: 77-142.
- Grant, C.A., R.M. McKenzie, C.D. Rawluk, O. Lukow, y D.N. Flaten. 2001. Nitrogen management for enhanced protein content in wheat in the Black soil zone. p. 86-93. In *Proceedings of the Saskatchewan Soils and Crops Workshop*, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Grunes, D.L. y W.H. Allaway. 1985. Nutritional quality of plants in relation to fertilizer use. p. 589-619. In O.P. Engelstad (ed.) *Fertilizer Technology and Use* (3rd Ed.). Soil Science Society of America, Madison, WI
- IFA 2005. Statistics. Fertilizer Indicators. www.fertilizer.org/ifa/
- Heffer, P. 2005. Medium-term outlook for world agriculture and fertilizer demand 2004/05 – 2009/10. 73rd IFA Annual Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 6-8 June 2005.
- Hotz, C. y K.H. Brown (eds) 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*, 25:S91-S204. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG). International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG)
- Longeragan, J.F. y M.J. Webb. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. p.119-134. In *Proceedings of the International Symposium on Zinc in Soils and Plants*. The University of Western Australia, 27-28 September 1993.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, New York.
- Perkins-Veazie, P.M. y W. Roberts. 2002. Can potassium application affect the mineral and antioxidant content of horticulture crops? In *Fertilizing Crops for Functional Foods*. Symposium Proceedings 11 November, 2002. Potash & Phosphate Institute. www.ppi-ppic.org/functionalfood
- Rendig, V.V. 1984. Soil fertility and plant nutrition effects on the nutritional quality of crops. p.61-78. In *Crops as Sources of Nutrients for Humans*. ASA Special Publication No. 48, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy. Madison, WI
- Salunkhe, D.K. y B.B. Desai. 1988. Effects of agricultural practices, handling, processing, and storage on vegetables. p 23-71. In *Nutritional Evaluation of Food Processing*. E. Karmas and R.S. Harris (eds). Avi Book, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Stabler, S.P. y Allen, R.H. 2004. Vitamin B12 deficiency as a worldwide problem. *Annual Reviews of Nutrition* 24:299-326.
- Stewart, W.M., D.W. Dibb, A.E. Johnston, and J.T. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.* 97: 1-6.
- Trudel, M.J. y J.L. Ozbun. 1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(6): 763-765.
- Welch, R.M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil* 247: 83-90.
- Welch, R.M. y R.D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *J. Experimental Botany* 55 (396): 353-364.
- WHO 2004. Micronutrient deficiencies. World Health Organization, Health Topics, Nutrition. www.who.int/nut/
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gültekin, S. Karanlık, S.A. Bagci, and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *J. of Plant Nutrition* 20: 461-471. ♦