

## De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana

**David W. Dibb<sup>1</sup>, Terry L. Roberts<sup>1</sup> y R. M. Welch<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Potash and Phosphate Institute, Norcross, GA, USA. ddibb@ppi-far-org*

<sup>2</sup>*Laboratorio de Planta, Suelo y Nutrición, USDA-ARS, NY, USA.*

*Presentado en el Simposio Internacional de Tecnológica de Información en Fertilidad de Suelos y Manejo de Fertilizantes. XV Coloquio Internacional de Nutrición de Plantas, Beijing, China, 14 y 15 de Septiembre de 2005.*

### **El hambre en el mundo y la demanda de la agricultura**

La malnutrición crónica esta 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, era desnutrida en el periodo 2000-2002, con un 96% de este total en los países en desarrollo (FAO, 2004). Mientras que en los países en desarrollo, el número de desnutridos descendió aproximadamente en 9 millones desde 1990-92, la Cumbre Mundial de la Alimentación de 1996 fijo el objetivo de reducir el número de desnutridos a la mitad entre 1990 y 2015.

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

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

Indicadores	Unidades	1979-1981	1997-99	2015	2030
Población	billones	4.43	5.90	7.21	8.27
Crecimiento anual de población	% anual	1.6	1.5	1.2	0.9
Consumo calorías	kcal/cápita/día	2552	2803	2940	3050
Producción cereales	millones t	1442	1889	2387	2838
Producción de carne	millones t	132	218	300	376
Producción de aceites vegetales y oleaginosas	millones t	50	104	157	217
Desnutrición	millones personas	816*	777	610	443

\* Límite establecido para 1990-92 por la Cumbre Mundial de la Alimentación.

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 predice que la producción de cereales 2004/05 superará al consumo en al menos 2% (Figura 1).

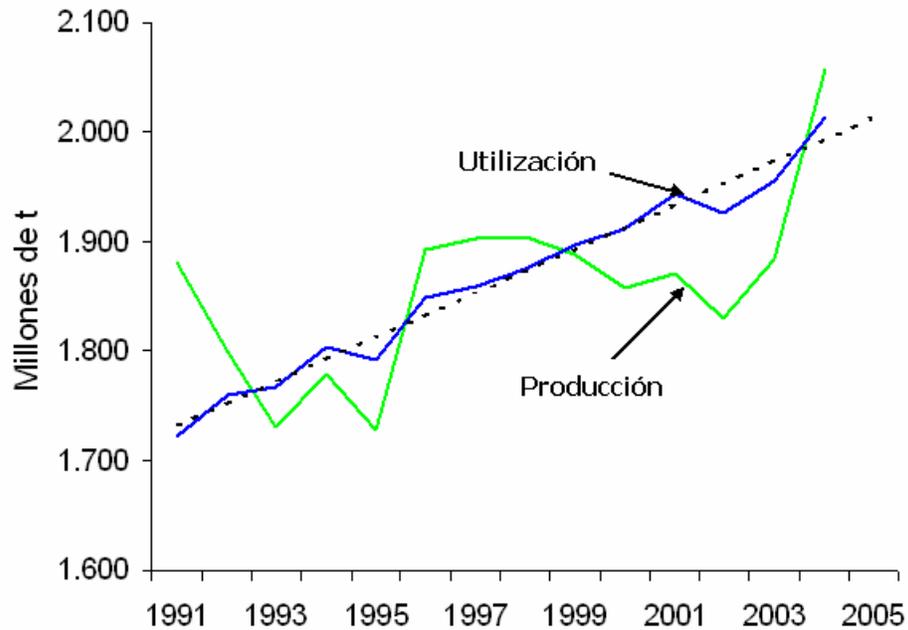


Figura 1. Producción mundial de cereales (trigo, granos gruesos, arroz) y consumo (FAO, 2005).

La producción global de cereales está estrechamente relacionada con el consumo de fertilizantes (Figura 2). El consumo de fertilizantes creció cerca de un 12% en los últimos 5 años, comparado con el 11% del crecimiento del cereal. La producción de cereales y el consumo de fertilizantes se favorecen con condiciones climáticas favorables, precios altos de las *commodities*, y otros factores económicos y políticos.

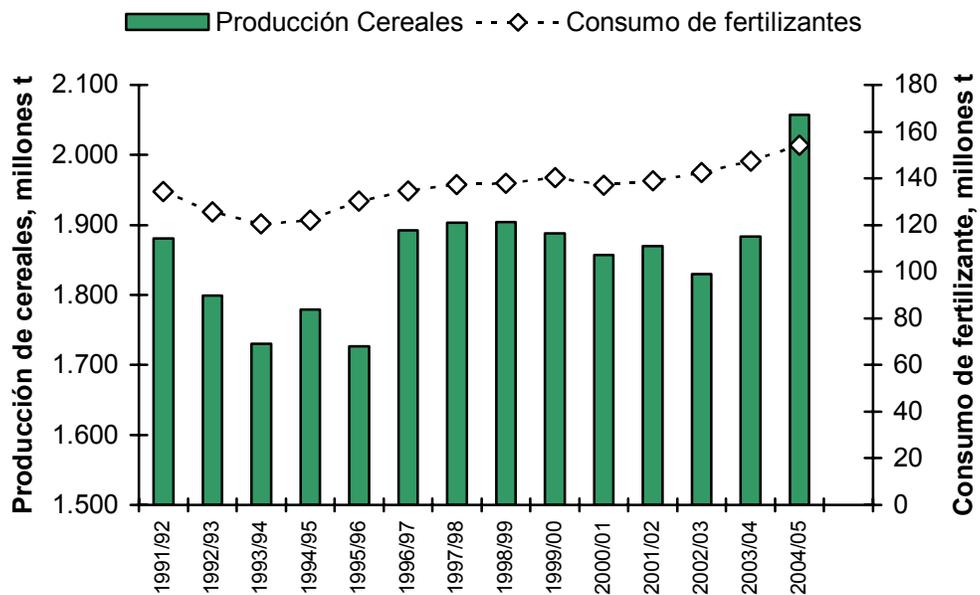


Figura 2. Producción mundial de cereales y consumo de fertilizantes (N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O) (FAOSTAT, 2005; IFA Statistics Online, 2005; Heffer, 2005).

El incremento actual o 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, un 30-50% del rendimiento es atribuible al fertilizante comercial (Stewart et al., 2005). La revisión incluyó 362 ciclos de cultivo y mostró que la contribución promedio de rendimiento a tribuible 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 fertilizantes y encalado al rendimiento de los cultivos en regiones templadas y tropicales según Stewart et al. (2005).

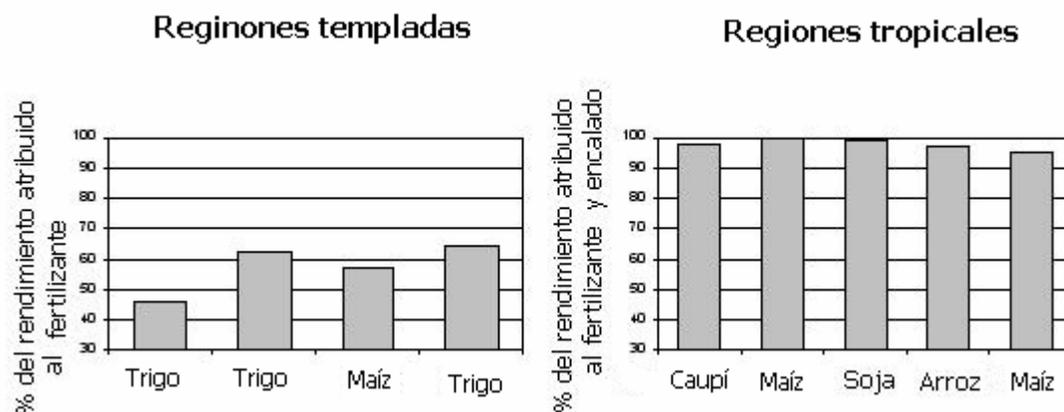


Figura 3. Contribución promedio de fertilizantes NPK y encalado (trópico), al rendimiento en estudios de largo plazo en regiones templadas (EE.UU. e Inglaterra) y tropicales (Brasil y Perú) (Adaptado de Stewart et al., 2005).

Los fertilizantes realizan una contribución de importancia en la producción de alimentos y lo seguirán haciendo en el futuro, en la medida que se incremente la demanda de producción de cultivos. Una adecuada fertilización también puede mejorar la calidad y nutrición del cultivo, impactando la nutrición humana.

### Nutrición humana, calidad del cultivo y fertilización

La baja ingestión de micronutrientes afecta a 3 billones de personas en el mundo entero (Welch y Gram, 2004). Ello es debido a dietas pobres de calidad, ricas en su mayoría en alimentos primarios (trigo, maíz y arroz), pero pobres en alimentos diversos (frutas, legumbres, vegetales y productos animales y pescados). Los alimentos diversos son fuentes más ricas en minerales biodisponibles y vitaminas. Se requieren 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 desnutrición en micronutrientes en países en desarrollo resulta en la muerte de más de 5 millones de niños cada año, y cuesta más de 220 millones de años de vida productiva a los hogares y billones de dólares en pérdidas de productividad a 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 cinc (Zn) son actualmente las deficiencias de micronutrientes de mayor importancia para la salud humana en el mundo en desarrollo.

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

Agua y Energía	Proteínas (aminoácidos)	Lípidos-Grasas (grasas insaturadas)	Macro elementos	Micro elementos	Vitaminas
Agua	Histidina	Acido oleico	Na	<b>Fe*</b>	A
Carbohidratos	Isoleucina	Acido linoleico	K	<b>Zn</b>	D
	Leucina		Ca	Cu	E
	Lisina		Mg	Mn	K
	Metionina		S	<b>I</b>	C (ácido ascórbico)
	Fenilalanina		P	F	B <sub>1</sub> (Tiamina)
	Treonina		Cl	B	B <sub>2</sub> (riboflavina)
	Triptófano			Se	B <sub>3</sub> (niacina)
	Valina			Mo	B <sub>5</sub> (ácido pantoteico)
				Ni	B <sub>6</sub> (piridoxina)
				Cr	B <sub>7</sub> (biotina)
				Si	B <sub>9</sub> (ácido fólico)
				As	B <sub>12</sub> (cobalamin)
				Li	
				Sn	
				V	
				Co (en B12)	

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

La deficiencia de Fe es el desorden nutricional más común en el mundo. La Organización Mundial para la Salud (OMS, o WHO 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 deficiencias de Fe (WHO, 2004). Las deficiencias de I afectan a más de 740 millones de personas, siendo la principal causa en el mundo de daño cerebral. 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 a partir de 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 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 1/5 de las personas en el mundo puede presentar carencia de Zn en sus dietas, estimando que 1/3 de la población mundial vive en países de alto riesgo de deficiencia de Zn (Holtz y Brown, 2004). La alimentación es la llave para solucionar los problemas de desorden nutricional de una 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 vitamina esencial cobalamina, que es sintetizada solo por ciertas bacterias. Las deficiencias de cobalamina en humanos (por ej., anemia perniciosa), 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 alimenticia de productos 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 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 (por ej., en la parte inferior de la curva de rendimiento), como es frecuente en países en desarrollo, aplicando pequeñas, pero inadecuadas cantidades de N a menudo resulta en disminuciones en proteína de grano. Se necesita aplicar suficiente N para satisfacer los requerimientos de rendimiento de la planta antes de que se observen incrementos significativos en proteína.

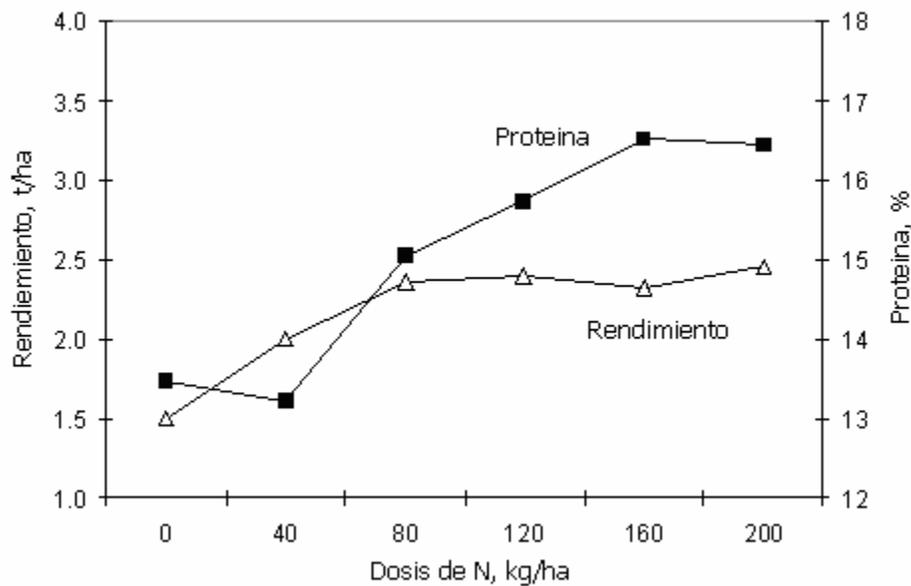


Figura 4. Rendimiento y proteína en grano de trigo bajo diferentes dosis de N, en el Oeste de Canadá (Grant et al., 2001).

La calidad y composición de aminoácidos de las proteínas es también afectada por la fertilización nitrogenada y azufrada, ya que el S es un componente estructural de tres aminoácidos (metionina, cistina y cisteína), y 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 usualmente se incrementa con la cantidad de N aplicado. La nutrición mineral generalmente 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 producida 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 elaboración de aminoácidos de proteínas y por ende, la utilización de proteínas por el consumidor.

### **La importancia del balance de nutrientes**

Salunkhe y Desai (1988) resumieron los efectos del N, P y el K, en la calidad de los vegetales. Los autores citan reportes en donde importantes aplicaciones de N tienden a disminuir la vitamina C de los vegetales (por ej. en espinaca, remolacha, repollo y repollito 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 los vegetales por la acumulación de nitrato potencialmente dañino.

Otros impactos nutricionales citados por Salunkhe y Desai (1988) indican que la fertilización fosfatada incrementaría el contenido de azúcar en tomate y mejoraría el color de la remolacha, mientras que las deficiencias de P producirían un pobre llenado de espigas en maíz dulce. La acidez en tomate y los contenidos de sólidos y almidón en papa se relacionan positivamente con la fertilización potásica. Perkins-Veazie y Roberts (2002) informaron de 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 realza el color rojo e incrementa el contenido de licopenos. El licopeno es el carotenoide que le 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 cosecha. Más información sobre los beneficios adicionales del P y el K en la calidad de los cultivos a cosecha se encuentran resumidos en la revista *Better Crops* (1998, 1999).

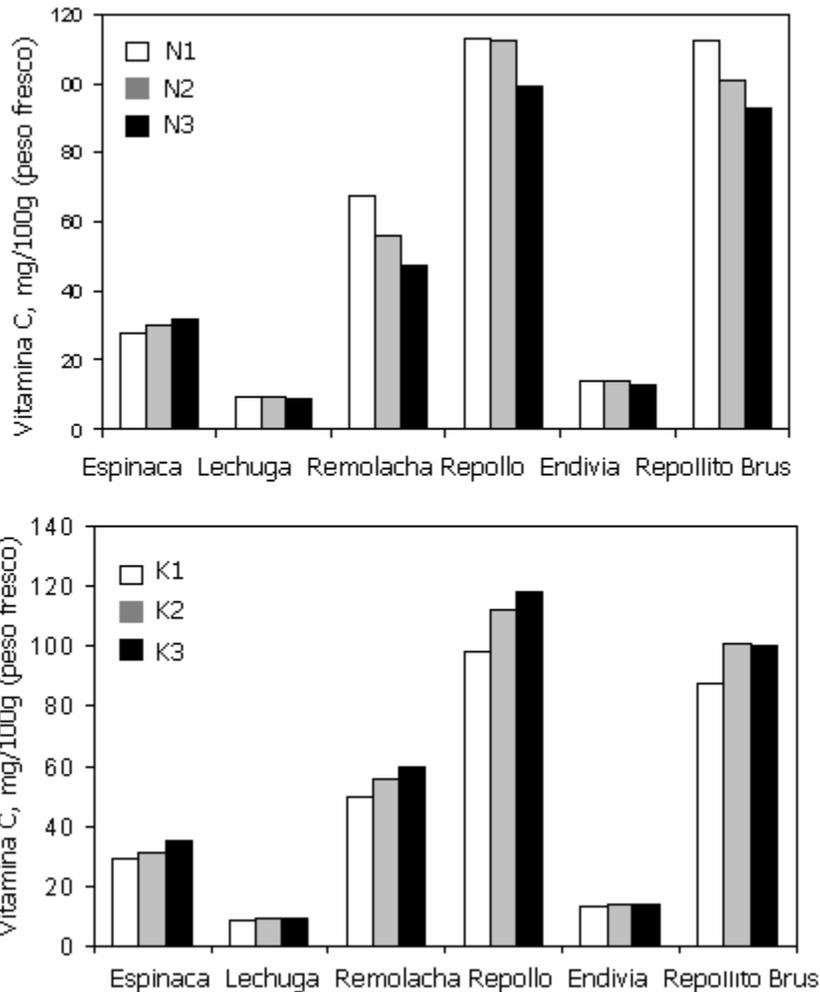


Figura 5. Efecto de la fertilización con N y K en el contenido de vitamina C de varios vegetales (adaptado de Salunkhe y Desai, 1988).

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.

Las deficiencias de Zn son comunes en cultivos, especialmente en cereales. Cerca de la mitad de la superficie en el mundo implantada 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 las deficiencias 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, los estudios a gran escala a campo sobre 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, involucra el 50% del área de producción de trigo del país (4.5 millones de ha) y, según fue reportado por FAO, presenta alguno de los suelos con deficiencias más severas de Zn del mundo. Los experimentos a

campo y los muestreos de suelo y planta confirmaron la existencia de deficiencia generalizada de Zn. La fertilización con Zn produjo un incremento de rendimiento sustancial 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 un 600% (Tabla 3).

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 en grano		
		- Zn t/ha	+Zn t/ha	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
<b>Promedio</b>	<b>0.28</b>	<b>2.2</b>	<b>3.3</b>	<b>53</b>

Las aplicaciones foliares y al suelo y tratamientos de semilla con Zn aumentaron los rendimientos en grano y, aun más importante, la concentración de Zn en granos en un 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 la fertilización ha sido utilizada específicamente para intervenir en un problema severo de salud humana.

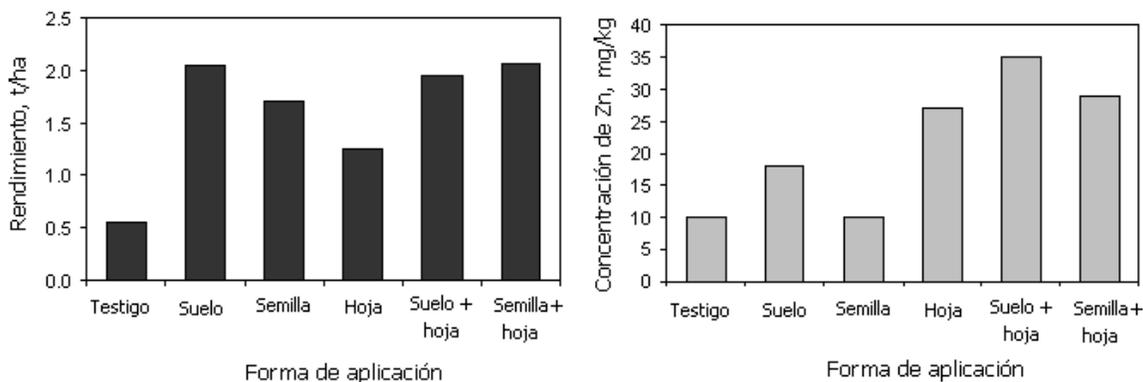


Figura 6. Efecto de diferentes formas de aplicación de Zn en el rendimiento y la concentración de Zn en grano, en Anatolia Central, Turquía (Yilmaz et al., 1997).

### Interacción entre nutrientes

Las interacciones entre nutrientes de los fertilizantes, pH, y condiciones de suelo adversas como excesos 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 subdesarrollados, la producción de cultivos esta limitada en primer lugar por aquellos nutrientes requeridos en grandes 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. De todas maneras, pH elevados, excesos de encalado, o demasiado P pueden afectar negativamente la absorción de Zn y de Fe (Marschner, 1995).

La absorción de Zn por las raíces de las plantas es especialmente sensible a la variación de pH en la rizósfera del suelo. Si bien las especies varían en la respuesta al pH del suelo, incrementos en el pH del suelo restringen la absorción de Zn y pueden inducir a deficiencias de Zn en plantas (Loneragan y Webb, 1993). Las interacciones P-Zn son muy conocidas y de cierta complejidad ya que aplicaciones de P pueden inducir tanto a deficiencias, como no tener efecto, o hasta incrementar la absorción de Zn. La causa más común de restricción 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 enfatizar o disminuir la deficiencia de Zn. La interacción más común entre N y Zn, se da con el N promoviendo el crecimiento de planta y la raíz y, en menor medida, disminuyendo el pH del suelo en la rizósfera: ambas acciones 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 elementos trazas (Bruulsema, 2002a). Por ejemplo, el ácido fítico contiene el 70% del P total en la semilla de soja. Cuando la soja crece en suelos enriquecidos en P, el P en grano se acumula principalmente como fitato. El ácido fítico comúnmente disminuye la biodisponibilidad de Zn y Fe en alimentos básicos. Este es uno de los numerosos antinutrientes que se sabe que están presentes con 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; disminuyendo finalmente la absorción en los humanos.

### **Alimentación funcional y fertilización con nutrientes**

La literatura cuenta con muchas evidencias del efecto positivo de los fertilizantes comerciales proveyendo los nutrientes esenciales para la vida humana. La industria de fertilizantes tiene que desempeñar un rol fundamental en la búsqueda de la disminución del hambre y los desórdenes nutricionales existentes en los países subdesarrollados. 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 humana. Los consumidores se han vuelto cada vez más interesados en la alimentación funcional y los nutraceuticos. La alimentación funcional se define como aquella que contiene ingredientes bio-activos (por ej., licopeno en tomates, isoflavonas en soja), que mejoran la salud y el estado del cuerpo (Bruulsema, 2002a). Los ingredientes en la alimentación funcional se asocian con la prevención y el tratamiento del cáncer, diabetes, hipertensión, enfermedades del corazón, y otras enfermedades. Estos alimentos, también llamados nutraceuticos, pueden ser extractados y consumidos como suplementos o pueden tener un valor terapéutico cuando son consumidos en los alimentos. Los componentes de esta alimentación funcional están fuertemente gobernados 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 la alimentación funcional ha sido recientemente revisado durante un simposio especial de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA) (Bruulsema, 2002b). Algunos ejemplos de la interacción de nutrientes y fitoquímicos se presentan a continuación.

El licopeno no es esencial para humanos o animales, pero las investigaciones mostraron que tiene beneficios. Pertenece a la familia de los carotenoides, que le dan el color rojo a los tomates, sandía y pomelo, y tiene probadas propiedades antioxidantes:

neutraliza radicales libres, que pueden dañar células humanas. Un primer estudio demostró que el contenido de carotenoides en tomates se incrementó con cantidades crecientes de K en la solución nutritiva (Trudel y Ozbun, 1971). Los análisis en frutos mostraron que los contenidos de licopeno aumentaron marcadamente con mayores aplicaciones de K, hasta un 56%. Los autores concluyeron que el licopeno es el pigmento más sensible a la deficiencia de K. 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 pomelo (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 proveer una fuente importante de proteínas, se cree que la soja previene el cáncer, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis y reduce los síntomas menopáusicos (Bruulsema 2002a). La soja contiene varias clases de anticancerígenos, incluyendo las isoflavonas, *genistein* y *daidzein*, y es la única fuente dietética de estos componentes. Las isoflavonas han sido también asociadas con efectos de reducción de colesterol y con la reducción de la frecuencia e la intensidad de los “calores” en mujeres menopáusicas. Investigaciones en Ontario (Canadá) han demostrado que la fertilización potásica puede afectar el contenido de isoflavonas en soja (Tabla 4). La aplicación de K aumentó el contenido de isoflavona en un 13%, en promedio, para los 2 sitios y 3 años de estudio. Los 2 sitios difirieron en contenidos de K en el suelo, uno muy bajo y otro alto, pero ambos tuvieron una respuesta en rendimiento similar a la fertilización con K. En los sitios donde la soja 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 soja.

Tabla 4. La fertilización potásica incrementa la concentración de isoflavonas en la semilla de soja en Ontario (Canadá). Promedio de dos sitios y tres años (Bruulsema 2002a).

Aplicación de K	Isoflavonas			Total*
	<i>Genistein</i>	<i>Daidzein</i>	<i>Glycitein</i>	
		----- ppm -----		
Bandeado en primavera	938	967	146	2051
Testigo	831	854	130	1815
Incremento debido al K (%)	13	13	12	13

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

## Conclusiones

La aplicación balanceada y adecuada de fertilizantes comerciales es una técnica crítica en la producción de alimentos para el mundo y continuará creciendo en importancia en la medida que la demanda de alimentos aumente, con una demanda simultánea de una mejor fertilidad de suelos. La fertilización adecuada también mejora la calidad de los cultivos y los alimentos, como se ha determinado a través del nivel de componentes nutricionales esenciales para la nutrición humana. Los gobiernos, las autoridades sanitarias y todos aquellos trabajando en agricultura necesitan reconocer el rol principal

que los fertilizantes pueden jugar en el abastecimiento de alimentos ricos en nutrientes, fitoquímicos, y vitaminas y proteínas derivados de plantas y animales.

## 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](http://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](http://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/index.htm](http://www.fao.org/giews/english/index.htm)<
- FAOSTAT 2005. Agricultural Data. >[faostat.fao.org/](http://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/statistics.asp](http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp)<
- 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](http://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/#mic](http://www.who.int/nut/#mic)<
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gültekin, S. Karanlik, 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.