

la producción de alimentos
a nivel mundial
para el futuro

Norman E. Borlaug



CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO
INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER
Londres 40 Apellido Postal 6-641 México 6, D. F., México

LA PRODUCCION DE ALIMENTOS A NIVEL MUNDIAL PARA EL FUTURO*

Norman E. Borlaug**

El hombre primitivo evolucionó primordialmente como parte de bandas trashumantes carnívoras (10). Su éxito o fracaso como cazador y pescador determinaba que hubiese o no suficientes alimentos. El hombre primitivo solía perseguir a las manadas de animales conforme éstas emigraban con las estaciones. A la vez, desde los primeros tiempos, suplementaba su dieta de carne con granos, bayas, nueces, frutas y raíces de plantas silvestres. Estos últimos alimentos, si bien suplementarios, eran particularmente importantes en épocas en que la caza escaseaba o cuando, por períodos cortos, el cazador no obtenía presas. El problema del hombre primitivo no era, por consiguiente, de malnutrición, dada la alta proporción de proteína de origen animal en su dieta, sino de subnutrición frecuente debido a su incapacidad de asegurar su abasto diario de alimentos. Había una superabundancia de alimento cuando la cacería era exitosa. En esas ocasiones, la familia o la tribu se hartaba, puesto que no había métodos adecuados de almacenar o preservar la carne para los días siguientes.

A menudo, sin embargo, la cacería debió fallar. Lo inadecuado e incierto del abasto alimentario debió originar hambruna una y otra vez. La hambruna provocaba temor y de esa manera nació una de las súplicas más fundamentales del hombre a sus dioses, súplica que se encuentra en todas las religiones del mundo. Hasta nuestros días, una de las apelaciones básicas en nuestras oraciones es la de *"Dános hoy nuestro pan de cada día..."*, y esta súplica testifica la importancia e incertidumbre del abastecimiento alimentario en épocas prehistóricas y ya en los primeros períodos históricos.

A medida que aumentó la población humana, las presiones del cazador sobre la fauna silvestre fueron mayores y las manadas mermaron, de manera que la escasez de alimentos y la hambruna consecuente debieron aumentar su frecuencia. La escasez creciente de alimentos debe haber constituido el estímulo que llevó al invento de la agricultura y de la ganadería. Estas dos invenciones básicas, hechas más eficaces merced a las contribuciones de la ciencia moderna, continúan siendo las fuentes principales de alimentos para los actuales 3,700 millones de habitantes del planeta Tierra.

¿Cuándo y cómo tuvieron lugar estos dos acontecimientos tan relevantes? En el pasado nebuloso, con-

forme la Edad Mesolítica dió lugar a la Neolítica, apareció de pronto, en áreas geográficas separadas y distintas, el más venturoso grupo de inventores y revolucionarios que el mundo haya conocido (1). Este grupo de hombres y mujeres neolíticas— y más probablemente estas últimas—domesticaron todos los cereales, leguminosas y tubérculos, así como los animales que hasta la fecha constituyen las principales fuentes de alimentos de la especie humana. Al parecer, hace 9,000 años, en las faldas de los Montes Zagros —en lo que es hoy Irán e Iraq— el hombre ya se había convertido en agricultor y ganadero.

El desarrollo de la agricultura y la ganadería a su vez propició la especialización del trabajo y el desenvolvimiento de la vida comunitaria. Descubrimientos semejantes en otros lugares —entre ellos México y el Perú— pronto establecieron los fundamentos a partir de los cuales se desarrolló la industria agropecuaria moderna y, en verdad, todas las civilizaciones.

Pese al inmenso valor de sus contribuciones, no conocemos los nombres de ninguno de estos benefactores de la humanidad. En efecto, sólo en la última centuria y en especial durante los últimos 15 años —desde que se descubrió y perfeccionó el sistema de radiocarbono para determinar arqueodades— es cuando hemos empezado a conocer, así sea de manera vaga, la época en que ocurrieron estos sucesos que moldearon el destino del mundo.

La invención de la agricultura, empero, no libró permanentemente al hombre del temor a la escasez de alimentos, del hambre y de la hambruna. Aún en tiempos prehistóricos al aumento de la población debe haber amenazado o excedido la capacidad del hombre para producir alimentos suficientes. El hombre de aquella época sufría hambrunas cuando la sequía o el ataque de plagas y enfermedades diezaban sus cosechas. Que en tiempos antiguos ocurrieran periódicamente catástrofes tales, resulta evidente según numerosos pasajes del Antiguo Testamento.

* Documento presentado en el Instituto Nacional de la Nutrición, México, D.F., octubre 14, 1971. Título original en inglés: "World Food Production for the Future".

** Director, Programa Internacional de Trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F.

Prosigue la lucha por producir cantidades adecuadas de alimentos nutritivos para una población en crecimiento constante. En los países desarrollados han aumentado en forma considerable la eficacia y la productividad de la agricultura, pero en muchos países en vías de desarrollo prevalecen los bajos rendimientos y la producción escasa. Esta disparidad de la producción debe resolverse en los países en desarrollo, de manera que todos los seres humanos que vienen al mundo dispongan de alimentos adecuados.

La producción de alimentos en nuestro mundo

Es triste reconocer el hecho trágico de que en esta tierra y en esta fecha hay todavía dos mundos diferentes en lo que se refiere a producción y disponibilidad de los alimentos: el "mundo privilegiado" y el "mundo olvidado" (3). El mundo privilegiado está constituido por los países ricos, industrializados —los EUA, Canadá, Australia, Japón y Europa Occidental—, que en conjunto forman alrededor del 30% de la población mundial. En estas naciones la agricultura es eficiente y a ella se dedica una pequeña proporción de la población total— del 5 al 20%—, capaz de satisfacer las necesidades nacionales y aún de producir excedentes para la exportación. El consumidor de estos países dispone de un abasto alimentario abundante, diverso y barato. Sus gastos en comida representan únicamente entre el 17 y el 30% de su ingreso neto. La mayoría de la gente de dichas naciones disfruta de un lujo nunca antes experimentado por el hombre fuera del Edén. La vasta mayoría vive en las ciudades y la mayoría también toma "por dados" los alimentos baratos y abundantes. Igualmente, muchos piensan que los alimentos proceden de los supermercados, sin reflexionar acerca de las inversiones, sudores, luchas y frustraciones involucradas en la producción de los alimentos que toman "por dados".

El mundo olvidado está formado por los eufemísticamente llamados países en desarrollo, donde la mayoría de la gente —mas del 50% de la población total—, vive en la pobreza, con el hambre como compañera constante y el temor a la hambruna como continúa amenaza. En estos países, un vasto segmento de la población total practica la agricultura a niveles generalmente de subsistencia, en minifundios. Los alimentos, y especialmente las proteínas de origen animal, son escasos y caros. No es raro que el consumidor de dichos países gaste entre 60 y 80% de su ingreso para adquirir alimentos en tiempos normales; cuando la sequía, las plagas o las inundaciones reducen las cosechas, ese consumidor no puede adquirir lo que necesita. Los propios agricultores de subsistencia a menudo sufren escasez de alimentos y una proporción aún mayor está desnutrida.

El primer paso hacia el mejoramiento del nivel de vida de la gente de esos países es el aumento de la producción de alimentos. Puesto que en muchos de los países en desarrollo los cereales constituyen la porción principal de la dieta, uno debe concentrarse en el incremento de los rendimientos unitarios y la producción de dichos cultivos. El mayor mal socioeconómico de los países en desarrollo es la ineficiencia de su agricultura. El desenvolvimiento socioeconómico de una nación en desarrollo debe comenzar con la transformación agrícola. Esto sólo se puede lograr mediante el desarrollo de una nueva tecnología, basada en la investigación científica que aplicada correctamente aumentará los rendimientos unitarios en forma considerable. Puesto que la tierra cultivable es ya escasa y pocos terrenos adicionales se pueden incorporar al cultivo en las naciones densamente pobladas del mundo en desarrollo, el enfoque principal para incrementar la producción

Cuadro 1. Capacidad de producción alimentaria comparativa de tierra explotada como area de cacería y bajo diferentes tipos de agricultura (11). (Productividad expresada en términos de No. de personas que pueden sustentarse por unidad de superficie).

Sistema de explotación		Superficie necesaria para la manutención	No. de personas alimentadas
Cacería	(1)	2,500 ha	1
Pastoreo	(2)	250 ha	1
Agricultura de punzón	(3)	250 ha	3
Agricultura de arado	(4)	250 ha	750
Agricultura moderna	(5)	250 ha	2,000

(1) Indígenas de las llanuras norteamericanas (precoloniales)

(2) Indígenas de California (precoloniales)

(3) Indígenas de las áreas boscosas del Este de Norteamérica (precoloniales)

(4) Agricultura del antiguo Egipto.

(5) Agricultura moderna y altamente desarrollada de los EUA.

será el de aumentar los rendimientos por unidad de superficie. El Cuadro 1 ilustra el potencial productivo de la tierra bajo diferentes tipos de explotación.

La parte básica de la dieta de la mayoría de las naciones en desarrollo la constituyen uno o más cereales. Es aconsejable, por tanto, acelerar la producción de esos cultivos como primera fase del mejoramiento agrícola. Un vistazo al Cuadro 2, que muestra el rendimiento y la producción de los principales cultivos alimenticios del mundo, destaca claramente la importancia de los cereales con respecto a otros cultivos.

El tercer ingrediente básico para inducir cambios en una agricultura estancada, de subsistencia, en la demostración masiva del valor de la nueva tecnología para aumentar la producción de los cultivos. Hay que establecer cientos de lotes de demostración en las parcelas de los agricultores. Hay que demostrar diferencias de rendimiento de un 100, un 200 o un 300%, o las prácticas no serán adoptadas con rapidez. Un aumento de rendimiento de 10 o 20% no convencerá a nadie.

Durante los últimos cuatro años varios países en desarrollo, por mucho tiempo aislados por un desbalan-

Cuadro 2. Superficie, producción y rendimiento de varios cultivos, a nivel mundial.

	Superficie mundial en ha. 1968	Rendimiento mundial (kg/ha) 1968	Producción mundial en ton. 1968
<i>Cereales de grano</i>			
Trigo	227,500,000	1,460	332,500,000
Arroz con cáscara	132,200,000	2,150	284,200,000
Maíz	106,000,000	2,370	251,100,000
Mijo y sorgo	111,200,000	770	85,100,000
Cebada	74,900,000	1,740	130,700,000
Avena	32,300,000	1,680	54,200,000
Centeno	22,400,000	1,500	33,400,000
<i>Cultivos de raíz</i>			
Papa	22,800,000	13,800	315,500,000
Camote y ñame	16,000,000	8,400	134,400,000
Yuca	9,794,000	8,700	85,625,000
Remolacha azucarera	7,875,000	31,900	251,244,000
<i>Leguminosas de grano</i>			
Soya	33,566,000	1,300	43,613,000
Chícharos guisantes	2,895,000	630	1,829,000
Frijol	22,686,000	470	10,708,000
Nueces de tierra (con cáscara)	17,620,000	850	15,034,000
Garbanzo	10,844,000	690	7,445,000
Chícharo de vaca	2,810,000	390	1,083,000

Fuente: 1969 Production Yearbook, Vol. 23, FAO, Roma.

Empero, la nueva tecnología capaz de incrementar los rendimientos de manera considerable —es decir: variedades de alto rendimiento, fertilización apropiada, mejores prácticas culturales, control de plagas, enfermedades y malezas, etc.— no ofrece resultados automáticos en términos de mayor producción. Dicha tecnología deberá ir aparejada con una política gubernamental inteligente, que propicie su adopción por parte de los campesinos. La política gubernamental debe asegurar la disponibilidad de insumos básicos tales como fertilizantes e insecticidas y de servicios de crédito, asistencia técnica y seguro agrícola para el productor en pequeño, en forma oportuna y barata. El gobierno debe también asegurar al agricultor un precio razonable para su producto.

ce creciente en su abastecimiento alimentario —resultado de una demanda incesante en virtud del crecimiento de la población y de una producción agrícola estancada—, han registrado avances de extrema importancia en su producción de cereales, y a este fenómeno se le ha llamado la "Revolución Verde" (3). La Revolución Verde es el término usado por la prensa para referirse a los rápidos aumentos de producción total y rendimientos unitarios ocurridos en años recientes en países tales como la India, Pakistán, las Filipinas, Turquía y Malaya.

En estos países se han registrado avances en trigo, arroz y maíz. Dichos avances son en realidad importantes. Por ejemplo, la producción de trigo en la India y en Pakistán se ha duplicado en los últimos cuatro años, un logro significativo desde el punto de vista de satisfacer

las necesidades del abasto, pero todavía modesto en términos de las necesidades alimentarias totales. En varios países se están registrando cambios semejantes en la producción de arroz, trigo y maíz. La nueva tecnología empleada para lograr estos avances fue desarrollada en gran parte por equipos de científicos del CIMMYT, en México, y del IRRI (Instituto Internacional de Investigaciones Sobre Arroz), en las Filipinas, en colaboración con científicos y dirigentes gubernamentales de los países referidos (2,3).

La importancia de estos aumentos de la producción en las naciones en desarrollo no puede ser apreciada cabalmente por los habitantes de los países afluentes como Canadá, los Estados Unidos, o los países de Europa Occidental, acostumbrados por largo tiempo a la abundancia de alimentos. Pero para los millones de seres infortunados del mundo en desarrollo, que por muchos años han tenido el hambre como compañera constante, la revolución verde les parece una esperanza que desplaza al desaliento.

Para comprender su entusiasmo, hay que entender también la situación alimentaria de esos países, cuya población dedicada a la agricultura, la mayor parte de subsistencia, alcanza el 70 o el 80%. Su tierra está cansada, sobreexplotada, carente de nutrimentos vegetales, y a menudo erosionada. Los rendimientos unitarios son bajos, a niveles de hambre, y estancados durante centurias. El hambre prevalece y la supervivencia depende en gran parte del éxito o el fracaso de las cosechas de cereales. La desnutrición es generalizada y constituye una amenaza constante para la realización cabal del potencial físico, genético y mental de los humanos. Las dietas consisten principalmente de granos de cereales, que suministran del 70 al 80% de la ingesta de calorías y del 65 al 70% de la ingesta de proteínas. Son escasas y muy caras las proteínas de origen animal que se necesitan para balancear los requerimientos de aminoácidos ausentes en las proteínas de origen vegetal.

Los avances logrados hasta ahora en la producción de cereales deben extenderse a un número aún mayor de productores de los países donde los cambios están en marcha y a otros países que padecen escasez de alimentos. Es menester fortalecer la investigación sobre otros cereales importantes para los cuales no se dispone de nueva tecnología.

Al resumir los logros de la Revolución Verde durante los últimos cuatro años, quisiera acentuar que el aumento de la producción de cereales, especialmente en trigo, ha sido espectacular y muy significativo para el bienestar de muchos millones de seres humanos. Es, sin embargo, todavía modesto en términos de las necesidades totales. Al recordar que la FAO estima que el 50% de la población mundial actual está subnutrida y que una proporción aún mayor está malnutrida, no queda tiempo para la complacencia. No es suficiente evitar que empeore

una situación que ya es mala. *Nuestro propósito debe ser la erradicación del hambre a la vez que luchamos por corregir la malnutrición.*

En la actualidad, para eliminar el hambre en las naciones en desarrollo necesitaríamos probablemente aumentar la producción mundial de cereales en un 30%. Sin embargo, si fuera tan sencillo como aumentar la producción mundial en un 30%, independientemente de dónde se obtuviera el incremento, esto se podría lograr en forma un tanto rápida, concentrando las acciones en los Estados Unidos, Canadá, Australia, Argentina y la Unión Soviética. Pero esto no necesariamente resolvería el problema del hambre en el mundo en desarrollo porque las débiles economías de los países que lo forman no les permitirían aumentar su importación de alimentos en un 30%. Peor todavía, aún cuando se pudiese expandir la producción de cereales de los países en desarrollo en un 30% —lo cual creo posible según los avances recientes de la Revolución Verde— y así teóricamente eliminar el hambre, el problema como existe ahora no se resolvería: el problema está intrincadamente ligado a la pobreza. Por consiguiente, prosigue irresuelto el problema socioeconómico de encontrar procedimientos factibles para distribuir los alimentos adicionales necesarios a las masas de seres desafortunados, cuyo poder adquisitivo es muy bajo. Este es un problema que necesita ser analizado y atacado, pero ya, por economistas, sociólogos y dirigentes políticos.

Fuentes actuales de proteína en la dieta humana

Ahora que muchas de las naciones en desarrollo comienzan a registrar avances considerables en la producción de cereales, es necesario examinar las fuentes actuales de proteína en la dieta humana y de explorar qué se puede hacer para mejorar en el futuro la dieta de los habitantes de los países en desarrollo.

En el mundo en desarrollo, una gran proporción de la proteína consumida es de origen vegetal. Se sabe bien que todas las proteínas de origen vegetal son deficientes en uno o más de los aminoácidos esenciales, especialmente en lisina. El Cuadro 3 indica las fuentes actuales de proteína de la dieta humana, a nivel mundial. En nuestros días, el 71% del abasto proteínico mundial es de origen vegetal, en tanto que el 29% es de origen animal.

Los granos cerealícolas representan el 50% del abasto proteínico total, lo cual es cuatro veces mayor que la cantidad de proteína suministrada por las leguminosas, las oleaginosas y las nueces, que constituyen un 13% del total. La proteína obtenida de legumbres y frutas representa un 3%, y de las raíces almidonosas el 5% de la ingesta humana total.

La principal fuente de proteína de origen animal la constituyen la carne y las aves, con un 13% de la ingesta proteínica humana total. Los productos lácteos constitu-

yen el 11% de la ingesta, seguido por huevos y peces, que representan 2 y 3% respectivamente.

Cuadro 3. Fuentes actuales de proteína de la dieta humana*.

<i>De origen animal</i>	29%
Carne roja y de aves	13%
Productos lácteos	11%
Huevos	2%
Peces	3%
<i>De origen vegetal</i>	71%
Granos	50%
Leguminosos, oleaginosos y nueces	13%
Legumbres y frutales	3%
Raíces almidonosas	5%

*The State of Food and Agriculture 1964, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 108-109. (El porcentaje representa el consumo mundial de proteína).

Desafortunadamente entre los países del mundo existe una gran disparidad en la distribución de las bien balanceadas proteínas de origen animal. Es también dispar la distribución de proteínas de origen animal entre diferentes grupos con diferentes niveles de ingreso dentro del mismo país. Las proteínas de origen animal resultan caras al compararse con las proteínas de origen vegetal. Por esta razón, los cereales son consumidos directamente y constituyen la principal fuente de proteína en la dieta de las naciones en desarrollo. La razón de este dilema se hace evidente cuando se considera el factor de conversión que se requiere para transformar granos de cereales a proteínas de origen animal. Bajo un buen manejo técnico, se necesitan: 1) 2.5 kg de grano de cereales para producir 1

kilo de carne de pollo. 2) 4.5 a 5.0 kg de grano de cereales para producir 1 kg de carne de puerco. 3) 6.5 a 7.0 kg de grano de cereales para producir 1 kilo de carne de bovino ("prime").

Al echar un vistazo a estas razones de conversión, se hace evidente el porqué los países con producción deficiente o marginal de cereales no pueden darse el lujo de convertir granos de cereales a proteínas animales, aún cuando éstas mejorarían considerablemente sus dietas. En lugar de ello, consumen directamente los granos, que son las fuentes principales de proteína, y en lo posible, suelen suplementar su dieta con leguminosas de grano como chícharo, frijol, garbanzo, lentejas, etc., y en poquísimos casos con proteínas de origen animal mediante leche, carne, queso y huevos.

Una vez que un país en desarrollo logra la autosuficiencia en cereales, llega a una posición en que puede comenzar a acrecentar la producción de proteína de origen animal, especialmente de carne y huevos de aves. Esto ya ocurre en varios de los países donde la Revolución Verde ha tenido un fuerte impacto en la producción de cereales.

En la actualidad, la mayor parte del mundo padece escasez de proteína animal. La producción ganadera no se puede aumentar de una manera fácil ni rápida para superar el déficit. La tasa de incremento de la producción ganadera dependerá en mucho de la tasa de expansión de la producción de cereales. El Cuadro 4 indica los costos relativos de la carne de res, de la carne de puerco, de huevos, leche en polvo, frijol y soya, para un país productor de granos como los Estados Unidos. Las diferencias en costos que se muestran podrían ser magnificadas para un país deficitario en granos.

Conforme analizo las fuentes de proteína para la dieta humana en las próximas dos décadas, concluyo que las fuentes principales de nuestro abasto proteínico

Cuadro 4. Costo de las principales fuentes de proteína para la dieta humana*.

Fuente	Costo por kg	% de proteína	Costo por kg de proteína \$US
Carne de bovino	1.54	15.2	10.12
Carne de puerco	1.10	11.6	9.46
Carne de ave	.66	20.0	3.30
Sólidos lácteos descremados	.32	35.6	.90
Frijol	.17	23.1	.77
Soya	.11	34.9	.31

*Dimler, R.J. "Soybean Protein Foods", Soybean Protein Foods 166, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture 71:35, May 1967. (Costos basados en valores promedio en los EUA).

actual proseguirán siendo las mismas en un futuro próximo. Existe, sin embargo, la posibilidad de que se acreciente la magnitud del desbalance entre la producción y la necesidad de proteínas animales, a medida que la población aumenta.

Futuras fuentes de proteína para la dieta humana

Decía en párrafos anteriores que, según lo vislumbro, las principales fuentes de proteína para 1970 serán las mismas que utilizamos ahora. Esto significa que tendremos que luchar por acrecentar la producción de nuestras fuentes de proteína actuales y al mismo tiempo intentar la explotación de algunos nuevos descubrimientos científicos promisorios.

MEJORAMIENTO DEL BALANCE DE AMINOACIDOS DE LAS PROTEINAS DE LOS CEREALES

1. Maíz

Todas las proteínas de los cereales son deficientes en uno o más de los aminoácidos necesarios para la alimentación humana. Todos son especialmente deficientes en lisina. El descubrimiento en 1964 de los niveles de lisina y triptofano anormalmente altos en el maíz opaco-2, una línea mutante del maíz por mucho tiempo conocida, abrió nuevos horizontes para el mejoramiento del valor nutritivo de las proteínas de los cereales. Si se pudieran desarrollar variedades de cereales comercialmente aceptables con un mejor balance de aminoácidos, su cultivo mejoraría automáticamente la dieta de todos sus consumidores rurales y urbanos, sin costo adicional.

En el maíz mutante opaco-2 se encontraron niveles de lisina y triptofano mayores que el doble de los presentes en el maíz normal (6,8). Las tasas de crecimiento de animales experimentales —ratas y cerdos— alimentadas con maíz opaco-2 incrementaron considerablemente con respecto a las logradas con maíz normal (7,9). Niños en estados avanzados de desnutrición proteínica-calórica alimentados con maíz opaco-2 como única fuente de proteína, se recuperaron espectacularmente (4,11).

El maíz opaco-2 original tenía, sin embargo, varios defectos desde el punto de vista agronómico. Los granos eran menos densos por lo cual rendían menos. Además tenían textura suave, que los hacía más susceptibles a daños por insectos y hongos. Estos defectos evitaban una aceptación amplia por los agricultores.

La investigación llevada a cabo en los últimos años por varias instituciones, está superando estos defectos. Nuestro grupo de investigadores de maíz en el CIMMYT, formado por los Doctores Eva Villegas, Surinder Vasal, Elmer Johnson y Ernest Sprague, está bien encaminado hacia el desarrollo de variedades que combinan alto valor nutritivo con características agronómicas deseables, lo cual las hará aceptables para los agricultores (14).

La distribución amplia y la aceptación de tales variedades de maíz mejorará grandemente la dieta de millones de pequeños agricultores de América Latina, Asia y África, cuyo alimento básico es el maíz.

2. Cebada

En 1968, Hagberg, Karlsson y Munck, tres científicos suecos, reportaron la primera variación positiva en la composición de aminoácidos en una variedad primitiva de cebada de Etiopía (5). Puesto que su contenido de proteína es alto y también su nivel de lisina en la proteína, se sugirió el nombre de "Hiproly" para la variedad. Esta variedad también tiene un alto valor nutricional, según ha sido demostrado por Munck utilizando animales experimentales. -

El gene que controla el alto valor nutritivo se está usando en los programas de mejoramiento en Suecia, orientados hacia la obtención de cebadas rendidoras y de alto valor nutritivo para el ganado. Nuestro grupo de investigadores del CIMMYT está interesado en emplear este gene para desarrollar variedades de cebadas de grano desnudo con alto potencial de rendimiento y alto valor nutritivo para el consumo humano, en áreas de humedad deficiente de los países de África del Norte y del Cercano Oriente, las cuales son marginales para el trigo.

3. Triticale

El triticale es un cereal granífero experimental "hecho por el hombre", derivado de la cruce entre trigo y centeno, (15). Nuestro grupo en el CIMMYT, bajo la dirección del Dr. F. Zillinsky, en colaboración con científicos de la Universidad de Manitoba, Canadá ha desempeñado un papel destacado durante los últimos cinco años en el intento de producir un nuevo cereal a partir de esta "especie artificial hecha por el hombre". Los triticales son también potencialmente interesantes desde el punto de vista nutritivo. El triticale tiene un grano rico en proteína, en comparación con el trigo. Sus contenidos de proteína varían de 11.8 a 19.2%, con un valor promedio de alrededor de 15%. La proteína del triticale también tiene un alto nivel de lisina (13). En estudios preliminares de alimentación efectuados por el Dr. Fred Elliot en la Universidad del Estado de Michigan, utilizando ratones silvestres como animal experimental, se identificaron algunas líneas con una alta tasa de eficiencia proteínica, en algunos casos aún más alta que la caseína.

El triticale adolece todavía de ciertos defectos agronómicos —especialmente su grano arrugado— los cuales habrán de superarse mediante una investigación más intensa antes de que pueda competir comercialmente con los demás cereales de grano pequeño tales como el trigo, cebada y avena. Confiamos, sin embargo, que estos defectos serán superados y que el triticale puede llegar a ser el primer cereal importante desarrollado desde la

época en que la mujer Neolítica domesticó todos los cereales de nuestros días.

4. Arroz

Aunque se ha efectuado un sondeo preliminar con miras a buscar un mejor balance de aminoácidos del arroz, hasta la fecha no se ha encontrado un mutante promisorio. El arroz, no obstante, está ya dotado de un mejor balance de aminoácidos en las proteínas que otros cereales. Empero, su gran defecto es tener niveles más bajos de proteína que los demás cereales, en promedio generalmente alrededor de un 8%, aunque se han identificado líneas con niveles de proteína de hasta 12%. El programa de mejoramiento genético del Instituto Internacional de Investigaciones sobre Arroz, trata actualmente de lograr nuevas variedades con mayores niveles de proteína en el grano. El objetivo es producir variedades con alto potencial de rendimiento y resistentes a enfermedades e insectos, con buena calidad de cocción y niveles de 10% de proteína.

5. Trigo

Se ha estado llevando a cabo un reconocimiento preliminar para el mejoramiento del balance de aminoácidos del trigo. Hasta el presente, no se han identificado líneas o variedades con un nivel más alto del primero de los aminoácidos esenciales limitantes, la lisina. Consecuentemente, el esfuerzo principal para mejorar el nivel nutritivo del trigo se reduce al desarrollo de nuevas variedades con mayores niveles de proteína. Ya se han obtenido varias variedades comerciales mejoradas que poseen 1 a 2% más de proteína que las variedades comerciales anteriores. Se necesita dar un mayor impulso a esta investigación.

Investigación para incrementar los rendimientos de leguminosas de grano

En muchos países en vías de desarrollo en donde los cereales constituyen la principal fuente de proteínas, las leguminosas de grano tales como el garbanzo, lenteja, arveja, chícharo de vaca, frijol y soya son usadas para balancear las dietas. Desafortunadamente, los esfuerzos de investigación para mejorar la productividad de estos cultivos se encuentran atrasados.

El resultado es que, en algunas regiones, estos importantes cultivos están siendo desplazados por los nuevos cereales con altos potenciales de rendimiento. Esta tendencia debe ser revertida o, de lo contrario, las dietas de cereales se deteriorarán. La mejor protección contra una reducción de la producción de leguminosas de grano es el establecimiento de programas dinámicos de investigación en agronomía de estos cultivos con miras a incrementar los rendimientos.

OTROS METODOS PARA MEJORAR LAS DIETAS HUMANAS

Durante las dos últimas décadas, entraron al mercado en muchos países en vías de desarrollo numerosos alimentos o suplementos ricos en proteína. Entre ellos figuran alimentos de infantes, productos ricos en proteínas tales como la Incaparina, proteína de pescado concentrada, harina de soya, y aminoácidos sintéticos fortificantes. Aunque todos estos productos han sido útiles para mejorar las dietas de quienes han tenido la fortuna de recibirlos, su impacto ha sido muy reducido con respecto a la nutrición de la población entera. Más aún, en su mayoría, dichos productos son a menudo consumidos por los grupos de ingresos más altos y no por quienes más los necesitan.

En los párrafos siguientes se da una breve descripción de varios de los enfoques que han recibido la mayor atención.

1. Fortificación proteínica con harina de pescado o harina de soya

Los concentrados proteínicos derivados de la harina de pescado o de soya son altamente eficaces para mejorar la nutrición proteínica cuando se añaden a los alimentos y se usan bajo control institucional, como en escuelas y hospitales. Sin embargo, su empleo para mejorar la nutrición de la población general de los países en vías de desarrollo tiene probablemente escaso impacto. El problema básico —como en el caso de la fortificación con aminoácidos sintéticos— es cómo lograr que los concentrados lleguen a los estómagos de las personas que más los necesitan, es decir: de las clases urbanas de bajos ingresos y grupos rurales muy numerosos de agricultores de subsistencia. Tanto los aspectos económicos como de distribución, son cuellos de botella que obstruyen el avance y que probablemente lo seguirán siendo durante el futuro próximo.

2. Fortificación con aminoácidos

En la actualidad es posible producir sintéticamente lisina y algunos otros aminoácidos esenciales. Algunos de ellos, tales como la lisina, pueden ser producidos a un costo bajo. Estos aminoácidos, o las formas purificadas de fuentes naturales, pueden ser añadidos a algunos alimentos especiales, tales como alimentos para infantes, con buenos resultados. Sin embargo, su empleo es especial y probablemente lo seguirá siendo —de manera que los aminoácidos serán accesibles sólo a los bebés de los sectores de altos ingresos de las áreas urbanas.

La fortificación con aminoácidos, aunque ha mostrado ser altamente efectiva en los experimentos en escuelas y hospitales, no es probable que tenga mucho impacto en el mejoramiento nutritivo de las masas. Existen problemas tanto económicos como de distribución que limitan severamente su uso, tal como ocurre en el caso de los concentrados proteínicos.

3. Producción de proteínas de organismos unicelulares.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Alemania produjo proteínas a partir de organismos unicelulares para la elaboración de alimentos para el ganado. En los últimos años, se ha efectuado muchas nuevas investigaciones en diferentes partes del mundo en un intento por desarrollar métodos eficaces para producir proteínas a partir de organismos unicelulares tales como bacterias, levaduras, hongos y algas, cultivados en sustratos de petróleo. En Japón funciona una gran nueva planta para producir alimentos para animales. En Francia entrará en producción una gran planta en octubre y en

la URSS se tienen planeadas varias plantas de gran tamaño.

Las proteínas derivadas de organismos unicelulares se emplearán en el futuro en la elaboración de alimentos para el ganado. Por consiguiente, ayudarán a incrementar considerablemente la producción de proteínas animales. En la actualidad, estas proteínas no han sido consideradas para el consumo humano, aunque eventualmente, con mejores métodos, ello puede ser factible. Sin embargo, si bien sería posible producir un nuevo alimento nutritivo mediante estos métodos, existiría el difícil problema de lograr su aceptación.

La solución ideal para los problemas de desnutrición en las naciones en vías de desarrollo residiría en la rápida expansión de la producción de proteínas de origen animal, a precios tales que las masas puedan adquirirlas. Desafortunadamente, esto no es factible en la actualidad y, en el futuro próximo, las dietas deberán ser mejoradas esencialmente mediante el incremento de la producción y el mejoramiento de la calidad de las proteínas de origen vegetal.

REFERENCIAS

1. BORLAUG, Norman E., Seeds for the Future. *Proceedings International Conference on Mechanized Dryland Farming*, pp 70-88. Deere and Company, Moline, Illinois, 1969.
2. BORLAUG, Norman E. *Mejoramiento del Trigo: Su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos*. Serie de Traducciones y Sobretiros No. 2. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. México, Marzo, 1969.
3. BORLAUG, Norman E. *La Revolución Verde, Paz y Humanidad*. Conferencia pronunciada en ocasión de la recepción del Premio Nobel de la Paz de 1970. Oslo, Noruega, Octubre 10 de 1970. Serie de Traducciones y Sobretiros No. 3. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, D.F. enero de 1972.
4. BRESSANI, R. Protein Quality of Opaque in Children. *Proc. of High Lysine Corn Conference*, pp 34-39. Corn Refiners Assoc. Inc. Washington, D.C.
5. HAGBERG, A., Karlsson, K.E., and Munck, L. The Use of Hiproly in Barley Breeding. *Proc. of Symposium Improving Plant Protein By Nuclear Techniques*, pp 121-132. Vienna, Austria. 1970.
6. MERTZ, E.T., Bates, L.S. and Nelson, O.E. -Mutant Gene that Changes Protein Composition and Increases Lysine Content of Maize Endosperm. *Science* 145: 279-280. 1964.
7. MERTZ, E.T. Growth of Rats on Opaque-2 Maize. *Proc. of High Lysine Corn Conference*, pp 12-17. Corn Refiners Assoc. Inc. Washington, D.C. 1966.
8. NELSON, O.E. Improvement of Plant Protein Quality. *Proc. Symposium Improving Plant Protein by Nuclear Techniques*, pp 43-51. Vienna, Austria. 1970.
9. PICKETT, R.A., Opaque-2 Corn in Swine Nutrition. *Proc. of the High Lysine Corn Conference*, pp 19-22. Corn Refiners Assoc. Inc. Washington, D.C. 1966.
10. PFEIFFER, J. Man the Hunter. *Horizon* XIII (2) 28-33. 1971.
11. PRADILLA, A., Harpstead, D., Linares, F., Sarria, D. y Tripathy, K. *Ensayos analíticos y biológicos de la proteína del maíz modificada por el gene opaco-2*. Manuscrito de la Facultad de Medicina, Universidad del Valle. Cali, Colombia, Enero 1969.
12. STORCK, J. and Teague, W.D. *Flour for Man's Bread*. University of Minnesota Press. Minneapolis, Minnesota, 1958.
13. VILLEGAS, E., McDonald, C.E. and Gilles, K.A. *Variability in the Lysine Content of Wheat, Rye and Triticale Proteins*. Res. Bull. 10. July, 1968. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F., México.
14. VILLEGAS, E., and Mertz, E.T. *Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de la proteína del maíz*. Folleto de investigación 20. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. 1971.
15. ZILLINSKY, F.J., and Borlaug, N.E. *Progress in Developing Triticale as an Economic Crop*. Res. Bull. 17. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F., February, 1971.