

---

FACULTAD DE QUIMICA

**Deficiencia de Proteínas y Técnicas para  
Aumentar su Oferta**

328

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO QUIMICO**

p r e s e n t a :

**JAIME SOCHACZEWSKI MONDLAK**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1974  
[redacted]  
ECHA *Teles*  
ROC  
1

308

mit 3H



QUIMICA

: A quienes lo debo todo, mis queridos padres.

A Salomón,

A Lillian

Mi más profundo agradecimiento a los maestros y amigos que, de diversa manera pero siempre con amplitud y generosidad, me ayudaron durante la elaboración de este trabajo.

- . Al Ing. Santos Soberón, mi asesor y querido maestro, quien supo despertar en mí el interés por las Relaciones Humanas.
- . Al Ing. Enrique Garcia Galeano, supervisor técnico de este trabajo, cuyas valiosas sugerencias me facilitaron su elaboración.
- . Al Ing. René Becerra Brambila, que tanto me alentó durante la realización de esta tesis, me facilitó material bibliográfico y revisó los manuscritos.
- . Al Dr. Alfredo Pérez de Mendoza, querido amigo a quien debo mi iniciación en la problemática de la alimentación.

## PROLOGO

Las proteínas y su producción son el tema central del presente trabajo. El objetivo propuesto es determinar de qué modo un país como México puede aumentar la cantidad y calidad en las proteínas que ofrece a sus habitantes. Para ello se ha intentado sistematizar el estudio de las técnicas que la investigación ha puesto a nuestro alcance para lograr tal propósito.

En este momento, la ciencia está convirtiendo en realidad la posibilidad de producir por un camino totalmente sintético algunos de los aminoácidos esenciales para la vida. Además, se trata de aumentar el valor proteínico de los alimentos, tanto cualitativa como cuantitativamente. Y se hacen esfuerzos tendientes a conseguir por medios bacteriológicos la transformación de algunas materias químicas que el mundo tiene en abundancia -como el petróleo, la celulosa y algunos desechos- en proteínas utilizables.

México tiene a su disposición una escala de posibilidades para solucionar el problema de la óptima producción de proteínas, que va desde la más directa y simple basada en la mano de obra intensiva, hasta la de alta tecnología que exige más de inversiones económicas que humanas.

En nuestro medio, la solución adecuada parece asentarse en un uso ra-

cional de todas las técnicas, desde las tradicionales a las más avanzadas, en forma adaptada a las circunstancias geográficas, económicas y humanas que ofrece cada caso. Ese uso racional implica el despojo de prejuicios, intereses extraños e improvisaciones, y el establecimiento de una funcional política científica y tecnológica como respaldo de toda actividad productiva.

El panorama real presenta estas alternativas: por una parte, surgen los planteos que consideran a las técnicas tradicionales como más convenientes por su bajo costo de implementación y la fuente de trabajo que significan para muchas personas, aunque olvidan los factores colaterales que encarecen su aplicación y la hacen problemática en cuanto al progreso del país; por otra parte se ensalzan las soluciones altamente tecnológicas que agilitan y modernizan la producción, pero a la vez desplazan el uso de mano de obra y parecen dar la espalda a una realidad socioeconómica de carencias elementales que no es posible ignorar en un medio como el nuestro.

Además, el altísimo crecimiento demográfico plantea la urgente necesidad de buscar soluciones a corto y largo plazo para un problema vital como es el alimentario.

El caso no es específico de México, sino mundial. Es evidente que la humanidad no puede seguir el curso que lleva, destruyendo fuentes potenciales de proteínas al mismo tiempo que la expansión demográfica aumen

ta vorazmente las demandas. La tierra que se pierde por erosión, las aguas que se contaminan, los terrenos cultivables que se convierten en ciudades y el petróleo que se quema son ejemplos cotidianos de la destrucción de fuentes alimentarias por parte del hombre, que parece no advertir el dramatismo de tal despilfarro.

Los científicos y estudiosos han comenzado a hacer esfuerzos importantes para aminorar las consecuencias de esa conducta y conjurar el riesgo de un agotamiento de elementos nutritivos, que significaría en última instancia la extinción de la vida en el planeta.

Frente a un tema tan vasto, complejo e importante, un trabajo de la categoría del presente sólo puede ser introductorio y, más que nada, motivador de interés por un problema que nos afecta a todos.

Tema fascinante es éste de las proteínas. Ofrece al investigador la emoción de comprobar cómo, en un momento dado, los elementos inorgánicos súbitamente cobran vida, al parecer impelidos por su propia "volición". Este conato de voluntarismo se manifiesta en la forma como los ácidos nucleicos se reproducen en copias fieles de sí mismos, escogiendo grupos de elementos inertes para formar la materia de su propia vida. Y la posición humilde del científico radica en que, aun creyéndose creador, vaya a unirse a los trabajadores de la fábrica para convertir en objetos útiles al hombre los resultados de su investigación.

Este trabajo es un aporte para que se abra el campo investigador -

en nuestro medio y ayude a un mejor enfoque del tema proteínico y a una acertada solución de los problemas planteados por su producción, en la medida en que el país la necesita para alimentar adecuadamente al pueblo.

El autor ha dedicado mucho tiempo y esfuerzo a la investigación básica exigida por el tema, y ha hecho con inteligente minucia el acopio, la selección y la utilización que el numeroso material recogido requería. El resultado está a la vista en esta valiosa monografía, que constituye no sólo un estudio sobre las proteínas y su producción, sino también un llamado de atención sobre un hecho de primerísima magnitud en el momento actual: la proyección social que tiene procurar una adecuada alimentación al pueblo y prever las consecuencias del acelerado incremento poblacional que se está produciendo en México.

En definitiva, la presente tesis es una contribución realizada con idoneidad, empeño y entusiasmo para promover el progreso del país.

René Becerra B.

Mayo, 1974.

# I N D I C E

PROLOGO .....	i
INTRODUCCION .....	1
I. LA EXPLOSION DEMOGRAFICA .....	5
II. LA NUTRICION EN EL DESARROLLO SOCIOECONOMICO DE LOS PUEBLOS .....	13
III. EL CASO DE MEXICO .....	33
IV. PROTEINAS .....	63
4.1 Requerimientos proteínicos .....	78
4.2 Clasificación .....	85
4.3 Síntesis de Proteínas .....	91
4.4 Glosario .....	99
V. TECNICAS POCO DIFUNDIDAS	
5.1 Fertilización Foliar .....	103
5.1.1. Macronutrientes .....	118
5.1.2. Micronutrientes .....	122
5.2 Hidroponía .....	125
5.3 Riego por Goteo y por Aspersión .....	133
5.3.1. Riego por Aspersión .....	137
5.3.2. Riego por Goteo .....	139
5.4 Manipulación Genética de Cosechas .....	145
5.5 Hormonas Vegetales .....	159
5.6. Pesticidas de Tercera Generación y Conservación Química de Granos .....	165
5.6.1. Pesticidas de Tercera Generación .....	169
5.6.1.1. Hormonas Reguladoras del Crecimiento ....	171
5.6.1.2. Hormonas de Atracción Sexual .....	174
5.6.2. Conservación Química de Granos .....	179

## VI. TECNICAS NOVEDOSAS

6.1. Proteínas Unicelulares .....	187
6.1.1. Proteínas del Petróleo .....	187
6.1.1.1. El Proceso de la British Petroleum .....	192
6.1.1.2. El Proceso Japonés .....	201
6.1.1.3. El Proceso del I.F.P. ....	204
6.1.2. El Alga Spirulina .....	208
6.2. Proteínas del Suero de la Leche .....	221
6.2.1. Osmosis Inversa .....	221
6.2.2. Proceso de las Mallas Moleculares .....	222
6.3. Proteínas de Concentrado de Hoja .....	225
6.4. Proteínas de la Semilla de Algodón .....	229
CONCLUSIONES .....	233
APENDICE A: El sector agrícola como proveedor de alimentos .....	237
APENDICE B: Situación de los predios por tipo de agricultura .....	241
APENDICE C: Indicadores básicos del desarrollo económico .....	245
BIBLIOGRAFIA .....	247

"Miremos más que somos padres de nuestro porvenir  
que no hijos de nuestro pasado".

Miguel de Unamuno

INTRODUCCION

"El primer componente de la justicia social es una alimentación adecuada para toda la humanidad. El alimento es un derecho moral para todos - aquellos que vienen al mundo. No obstante, el cincuenta por ciento de la población de la tierra duerme con hambre. Sin alimento, todos los otros componentes de la justicia social carecen de sentido..."

NORMAN BOURLAUG  
(Premio Nobel de la Paz, 1970)

Es evidente que el hombre se encuentra en una de las más difíciles encrucijadas de su historia. El equilibrio ecológico de su habitat está en crisis, como consecuencia de una desaprensiva utilización de la tierra, el aire y el agua, que le son indispensables para existir.

La tala abusiva de los bosques, el uso exhaustivo de las tierras cultivables, la excesiva explotación de sus recursos, la expulsión incontralada a la atmósfera de polvos, gases y radiaciones contaminantes, así como la alteración del agua de ríos, mares y lagos por efecto de los desperdicios arrojados, han establecido índices de contaminación altamente peligrosos, que están a punto de llegar a su irreversibilidad.

El desmesurado crecimiento de las ciudades impide ya la aplicación racional de los más elementales servicios urbanos. Los altísimos índices de crecimiento de la población hacen peligrar su estabilidad social y económica.

Uno de los más graves problemas vitales que afronta el mundo es el alimentario. Las dos terceras partes de su población apenas sobrevive, víctima de una subalimentación permanente. Y aun países económicamente poderosos ven descender agudamente sus reservas de alimentos hasta límites muy bajos, si es que no se encuentran ya agotadas.

El número de seres humanos sin trabajo y sin posibilidades de adquirir los más elementales satisfactores aumenta sin cesar.

Ante este panorama desolador -sin contar guerras, enfermedades ni disputas políticas-, el hombre contemporáneo se plantea interrogantes que aumentan día tras día. Está sometiendo a revisión las estructuras fundamentales de su sociedad y ha puesto en tela de juicio los postulados que creyó eternos, en los que basaba su organización cultural.

En el transcurso de su historia, el ser humano se ha encontrado muchas veces ante encrucijadas, dificultades y reclamos de gran envergadura, que siempre supo vencer gracias al potencial de sus recursos de inteligencia, tesón y creatividad. Pero el reto actual que ya enfrentamos es mayor, más difícil y más peligroso, por todo lo que implica dentro de este

complejo mundo que vive a la vez todas las épocas y se nutre en las más disímiles fuerzas estructurales.

Si bien dicho reto es universal y concierne a todos los países de la tierra, se impone con más dramatismo en las comunidades que forman el llamado "tercer mundo", dentro del cual se encuentra México.

A estas reclamaciones de solución perentoria, circunscritas a nuestro país y al aspecto alimentario, se refiere el presente trabajo de investigación.

Se han tenido en cuenta los siguientes puntos de partida, que parecen incontrovertibles:

1. El crecimiento de la población mexicana responde a una de las tasas más altas del mundo (3.6 por ciento, es el segundo país en vías de desarrollo con mayor incremento poblacional, de 139 por ciento en el lapso 1970-2000).
2. El número de puestos de trabajo creados cada año por los sectores económicos del país es notablemente inferior al requerido por la fuerza ocupacional existente.
3. Constantemente aumenta el número de mexicanos carentes de oportunidades de acceso a los requerimientos humanos mínimos: alimentación, vestido, vivienda, salubridad y educación.
4. Una gigantesca masa de mexicanos —en los que se incluyen también los productivos— están mal alimentados, por carecer su comida por

mal de los requerimientos nutritivos indispensables.

5. La más grave escasez se advierte en las proteínas -básicas para una adecuada nutrición-, cuya producción no aumenta paralelamente con la demanda.

Resulta, pues, de extrema urgencia satisfacer la necesidad de producir más y mejores proteínas, y de ponerlas al alcance de todo el pueblo - mexicano para su conveniente alimentación.

Por ello, al tratar el tema en el presente trabajo se han establecido estos objetivos:

1. Recabar la mayor información posible relacionada con el tema, de fuentes nacionales y extranjeras.
2. Determinar mediante ella el estado actual de los estudios y las posibilidades de aplicación que ofrecen la ciencia y la tecnología.
3. Centrar el enfoque en el caso de México.
4. Recomendar soluciones aptas, que permitan al país aumentar adecuadamente la producción de proteínas en un breve plazo.

La investigación ha sido realizada sobre elementos de consulta directa y bibliográfica. Se han seguido los métodos tradicionales para la selección, el asiento y el ordenamiento del material reunido. En todas las etapas del trabajo se ha contado con la efectiva guía de los maestros, con quienes el autor ha contraído una deuda de gratitud.

## I. LA EXPLOSION DEMOGRAFICA

"Actualmente la gente piensa que cinco hijos no son muchos, y cada hijo a su vez tiene - cinco hijos, y antes de morir el abuelo ya tiene veinticinco descendientes adicionales. Por eso la gente es más y la riqueza es menos; trabajan mucho y reciben poco."

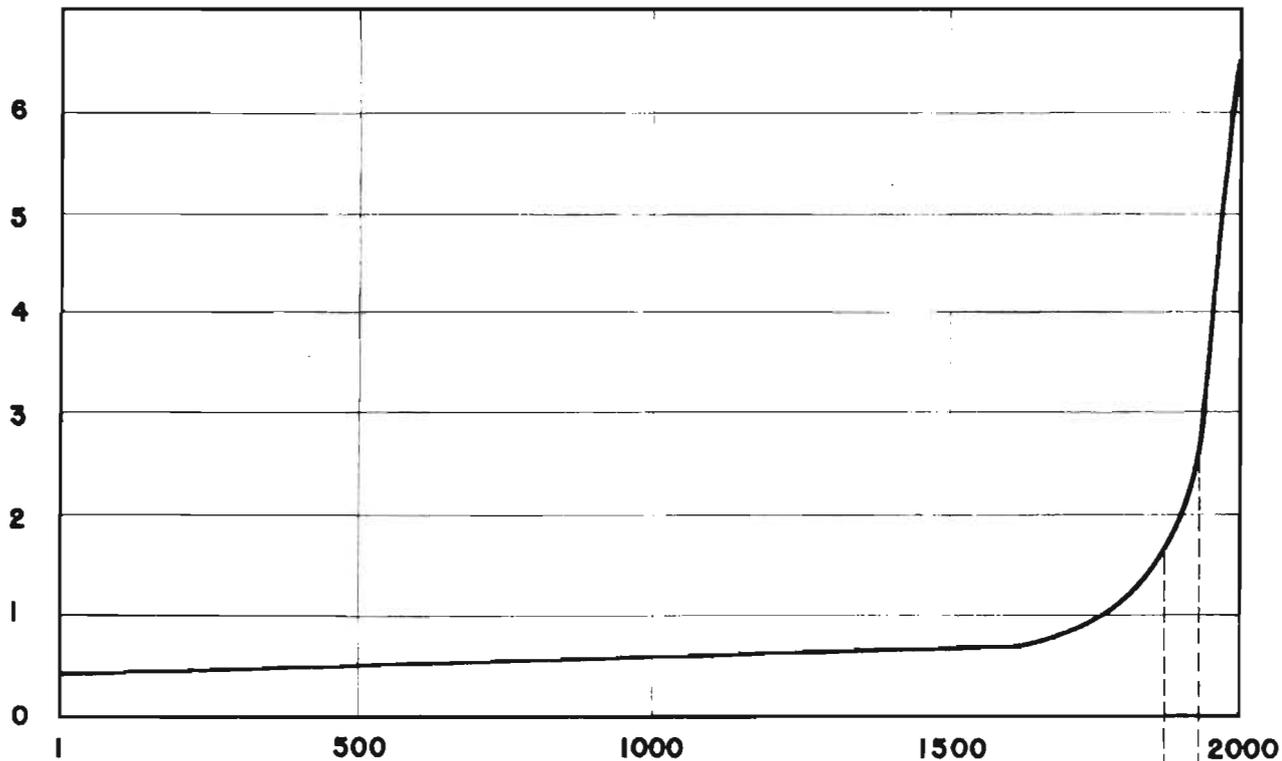
Han Fei-tzu, 500 a.c.

La noción de la existencia de una competencia entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población no se remonta a más de dos siglos, esto es, a la Revolución Industrial y a los escritos de Thomas Malthus. Obviamente, antes también existía el problema de la alimentación, - pero pocos se dedicaron a especular sobre él.

Todos hemos visto alguna vez una gráfica como la de la fig. 1, que indica que la población mundial se mantuvo esencialmente estable desde tiempos bíblicos hasta mediados del siglo XVIII. A pesar de que los crecimientos y las contracciones de la población durante este intervalo, ocurrieron en forma explosiva más bien que gradual, la validez de esta gráfica es generalmente aceptada. Durante este período, la humanidad y su base económica se encontraban -para usar el clisé del día- en equilibrio ecológico. Existía una alta tasa de mortalidad, que balanceaba someramente la alta tasa de natalidad; así se contenía el crecimiento de la población. "Si la actual tasa de crecimiento existiese desde el tiempo de Cristo hasta ahora -declara el Dr. Clement L. Market, jefe del departamento de bioquímica de la Universidad de Yale- la población mundial se hubiese incrementado en es

Fig. 1 **POBLACION MUNDIAL**

miles de millones  
de personas



Fuente: U.S. Department of Agriculture

1960  
1900

te período por un factor de  $7 \times 10^{16}$ . En otras palabras, habría 20 millones de individuos en lugar de cada persona viva actualmente, que es lo mismo que cien personas por cada pie cuadrado" (159).

En 1798 Thomas Malthus escribía en su "Ensayo sobre el Principio de la Población" (118)

"Pienso que puedo, justificadamente, establecer dos postulados:

- 1) el alimento es necesario para la existencia del hombre;
- 2) la pasión entre los sexos es necesaria, y permanecerá aproximadamente en su estado actual...

Tomando pues, mis postulados como ciertos, afirmo que el poder de la población es indefinidamente mayor que el poder de la tierra para producir subsistencias para el hombre.

La población (cuando no es controlada) crece en proporción geométrica.

Las subsistencias aumentan únicamente en proporción aritmética.

Una ligera familiaridad con los números mostrará la inmensidad de la primera potencia comparada con la segunda."

La validez de esta relación ha sido motivo de debate desde su publicación en 1798, generalmente con acusación de pesimista. El hecho es que des-

de la aparición del hombre en la tierra (de 5 a 15 millones de años atrás), la población mundial ha estado aumentando a una siempre creciente velocidad. El tiempo requerido para que la población se duplique se ha ido acortando progresivamente, en especial desde que el hombre aprendió a protegerse de las enfermedades -con el advenimiento de la medicina moderna- se redujeron así drásticamente las tasas de mortalidad sin haberse reducido congruentemente las de la natalidad. Esta aseveración se hace evidente examinando el crecimiento anual promedio de la población mundial

1650-1750	0.3%
1750-1950	0.4%
1950-1960	1.5%
1960-1970	2.0%

Dentro de los próximos 26 años la actual población mundial se habrá duplicado, con el agregado por tanto, de otros 3.7 billones a la "familia humana". Este es un número igual al total que se ha acumulado desde el tiempo del primer habitante de este planeta.

Los avances tecnológicos de finales del siglo XIX -mejoramiento de los sistemas de irrigación y la apertura de nuevas grandes zonas al cultivo agrícola- y el período de diversificación geográfica que se produjo a principios de siglo -empleo de variedades mejoradas, incremento en el empleo de fertilizantes, pesticidas y mecanización- hizo que Malthus y sus lúgubres pronósticos cayesen en el olvido. En la década de 1930 los paí-

ses desarrollados estaban más bien preocupados en fomentar el aumento de población para lo que ofrecían subsidios y premios a las grandes familias.

Mucha gente no comprende todavía la magnitud y la amenaza del "monstruo de la población". Hace más de un siglo y medio que Malthus señaló que llegaría el momento de un fatal desequilibrio entre la producción de alimentos y el aumento de la población, que conduciría inevitablemente al hambre a millones de seres humanos; pero él, en su época no podía pronosticar "las preocupantes y destructivas consecuencias físicas y mentales resultantes de la concentración grotesca de los seres humanos en el ambiente envenenado y estridente de las megalópolis patológicamente hipertrofiadas de hoy día. ¿Pueden los seres humanos soportar el esfuerzo? Los esfuerzos y las tensiones anormales tienden a acentuar los instintos animales -- del hombre y provocar un comportamiento irracional y socialmente estallante entre los individuos menos estables de la multitud enloquecedora"(25).

Suficiente tiempo ya ha pasado para que nos demos cuenta que la Segunda Guerra Mundial ha marcado una línea divisoria en la historia. No solamente somos testigos de la relegación de los estados europeos a un segundo plano y el surgimiento de nuevas superpotencias, sino de la emergencia de un "tercer mundo" (países tropicales del Africa, Asia, latinoamérica, además de los gigantes subtropicales: China e India). Es precisamente el crecimiento colosal en estos países "subdesarrollados" y en "vías de desarrollo" lo que nos ha obligado a mirar un poco atrás para recordar a Malthus y reflexionar sobre la validez de sus profecías.

Para 1980 la población de estos países representará más de 3/4 - partes de la población mundial comparada con menos de 2/3 del total que representa hoy. Es precisamente en estos países donde la falta de alimentos, y particularmente de proteínas, constituye la causa más importante de mortalidad infantil. Deja un número mayor de niños con retardo en el desarrollo físico y, según la evidencia científica reciente -- también con retraso mental. Esto fue comprobado en un estudio llevado a cabo en México durante varios años, y recientemente publicado: niños menores de cinco años con deficiencias proteínicas en sus dietas mostraron - un promedio de trece puntos menos en su coeficiente intelectual que un grupo de control cuidadosamente seleccionado (30).

Careciendo de suficiente proteína los niños (y adultos) se hacen más susceptibles a las enfermedades y muchos de ellos mueren víctimas de enfermedades que no serían de gravedad en un niño adecuadamente alimentado.

La necesidad de alimentar a esta creciente humanidad, proporcionándoles el mínimo de proteínas requeridas para un desarrollo adecuado se presenta como un gran desafío para todos aquéllos que se dan cuenta de la magnitud de la tarea de intentar proveer suficiente alimento de calidad adecuada a los niños y adultos que viven en la actualidad.

Nuevamente, los neo-malthusianos, que consideran que el crecimiento - de la población en los países menos desarrollados sobrepasará la producción de alimentos antes de finalizar la presente década, se les tacha de pesimistas. Los que se oponen a ellos sostienen que basta mirar a la historia

para darse cuenta que ha habido muchos períodos caracterizados por un crecimiento explosivo de la población, pero éstos han sido controlados mucho antes de que los requerimientos alimentarios llegasen a un límite físico de producción. Otros factores, aparte de la alimentación, han jugado un papel igual o más importante para frenar el crecimiento de la humanidad. Argumentan que no existe razón alguna para creer que la presente etapa será diferente, y que continuaremos creciendo indefinidamente en forma incontrolada. Obviamente, la capacidad de la tierra fija los límites; aunque éstos no son rígidos, son cambiantes de acuerdo con el progreso tecnológico.\*

Los problemas inmediatos resultan menos especulativos y se refieren a la situación que estamos viviendo y al desarrollo que tendrá en un futuro próximo. Las dos preguntas que se pueden plantear de inmediato son: ¿En qué medida es adecuada y eficiente la alimentación de la población? ¿Cómo es posible remover las deficiencias?

El tópico crítico que determina cómo se puede aliviar el hambre y la desnutrición depende de que si el nivel y el consumo de satisfactores alimentarios indicados por una demanda efectiva igualará a los necesarios para cubrir los requerimientos. Únicamente, cuando la demanda efectiva y

---

\* Claus Jacobi, uno de los principales científicos seguidores de la línea neo-malthusiana, escribe en su libro "El Diluvio Humano": "Once niños llegaran al mundo mientras usted lee esta frase a una velocidad normal. En el mismo lapso cinco personas habrán muerto. Esa diferencia de seis entre los que nacen y los que mueren es la vida que mata, el mayor peligro que amenaza a la humanidad desde su origen: el exceso de población". Esto significa que la población mundial aumenta a razón de dos personas por segundo y casi ocho mil por hora. (80)

los requerimientos resulten aproximadamente iguales, el problema del hambre y la desnutrición se convierte esencialmente en un problema de producción para satisfacer la demanda.

La mayoría de los granos que se consumen en los países menos desarrollados -éste es el caso de México- no pasan a través de un intercambio vía mercados, sino que son consumidos directamente por sus productores. Además los grupos de población con ingresos más bajos carecen de las entradas mí nimas necesarias para satisfacer sus requerimientos. Por tanto, en la esca la de prioridades lo más importante para un plan de acción inmediato no es promover programas de educación nutricional ni tratar de implementar cambios en las costumbres de consumo de la gente (independientemente de que puedan o no permitirse mejorar sus dietas) urge introducir mejoras en el consumo de nutrientes para quienes se encuentran en el sector de sobrevi-ven cia y los que carecen de posibilidades de adquirir dichos nutrientes - en el mercado.

En resumen el problema central es aumentar la producción mucho más que influir en patrones de consumo y preferencia. Este aumento en la pro ducción tiene por objetivo llevar al país a una situación cercana a la - autosuficiencia, sino a la de tener excedentes, de tal manera de poder di versificarse en dirección de lograr proteínas de alta calidad.

## II. LA NUTRICION EN EL DESARROLLO SOCIOECONOMICO DE LOS PUEBLOS.

La nutrición humana y el desarrollo socioeconómico son dos conceptos estrechamente vinculados, que no es posible desligar puesto que uno depende del otro.

No puede aceptarse que un pueblo cuyos hombres no tengan buen estado nutricional sea capaz de un desarrollo socioeconómico adecuado. Este, a su vez, implica un correcto estado nutricional factor fundamental para alcanzar la mejor condición física y mental del hombre y su bienestar. La nutrición debe ser, por tanto, un fin perseguido por el desarrollo. Al mismo tiempo, resulta el medio indispensable para alcanzarlo.

El desarrollo socioeconómico es un proceso que conduce a elevar la productividad mediante el logro de mayor rendimiento del esfuerzo. Se logra obtener así niveles de vida más elevados.

Este proceso nunca termina, ya que a una etapa conquistada seguirá siempre otra más distante que perseguir.

El incremento en la productividad -que implica un mayor desarrollo socioeconómico- se logra mediante la amplia y adecuada utilización de los recursos humanos y naturales de que disponen los pueblos. Esto entraña la mayor capacitación mental y física de los hombres y la máxima utilización de los recursos con la ayuda de la ciencia y la tecnología moderna.

Mientras los pueblos se limiten al cultivo primario de la tierra y sólo realicen agricultura de subsistencia y aplicación de industrias elementales para satisfacer la inmediata demanda de las necesidades básicas de sus consumidores, no podrán tener los niveles de vida que han alcanzado los que han obtenido mayores rendimientos gracias a la aplicación de mejores sistemas y han logrado así producir bienes de capital - que aceleran el proceso de desarrollo.

Los pueblos que no han obtenido este desarrollo, están condenados a vivir una vida de pobreza y aún de miseria. Dos terceras partes de la población mundial viven en esta dolorosa situación. Desgraciadamente, en ellas se encuentra incluida la mayoría de los países latinoamericanos que no han logrado incorporarse sino lenta y parcialmente a la civilización industrial de nuestro tiempo, que amplía mucho las posibilidades humanas.

La revolución industrial divide al mundo en dos grupos: 1) una minoría selecta, la de los pueblos económicamente avanzados; 2) una mayoría en la que estamos comprendidos, que vive en estado de desarrollo y a gran distancia de los primeros.

El primer grupo está constituido por 33% de la población mundial. En los países comprendidos, la agricultura es eficiente y la industrialización está muy avanzada, con sólo del 2 al 20% de la población ocupada en ella, pero capaces de producir suficientes alimentos para las necesidades propias del país y excedentes para la exportación.

En estas naciones, el consumidor tiene una abundante y diversa oferta de alimentos a bajos precios. La vasta proporción de la población (70-80%) es urbana.

El segundo grupo el "mundo olvidado" -está formado por las naciones en desarrollo, donde el hambre es un compañero frecuente y el temor a la carestía es una amenaza constante. En estas naciones, el alimento -y especialmente el que contiene proteínas de calidad- es escaso y costoso. Los mismos agricultores frecuentemente están cortos de alimentos, y todavía hay, en una mayor proporción, quienes sufren de desnutrición de proteínas.

¿Cuál es la causa de esta gran discrepancia entre los privilegiados y los olvidados? Según Bourlaug muchos factores intervienen, pero cuatro son las principales: 1) la diferencia en la dotación de recursos naturales per capita, es decir, buena tierra de cultivo; 2) la disponibilidad o carencia de tecnología moderna, desarrollada para obtener altos rendimientos; 3) la presencia o ausencia de obras de infraestructura; 4) la adecuada o inadecuada política gubernamental de apoyo a la agricultura. De éstos, los dos mayores problemas de los países en desarrollo son la poca cantidad de tierra arable disponible per capita y los bajos y estancados rendimientos por hectárea.

En la mayoría de estos países la agricultura es ineficiente. El rendimiento es bajo, y así ha sido durante siglos, la tierra está agotada y carente de uno o más de los nutrientes vegetales esenciales, después de cientos de años de continua explotación.

Para lograr un cambio en esta situación, es necesario proporcionar al campesino una serie de adelantos tecnológicos que aumentan en forma sustancial la producción de la tierra.

Entre las consideraciones que pueden hacerse respecto de la situación que prevalece en el mundo, está la de considerar que la gran mayoría de naciones tiene insuficiente desarrollo, cuenta con una economía estática y vive de una agricultura primitiva, una rudimentaria industria y una elemental artesanía, que sólo producen lo indispensable.

Por otra parte, con diferentes grados de desarrollo se encuentran las naciones que han logrado dar un poco más de capacidad a su población, crear mayor número de industrias avanzadas, fortalecer su comercio y, por ello, lograr bienes de capital que las hacen acercarse a la minoría selecta, calificada como "desarrollada". Sin embargo -y este es el punto que queremos destacar- en este grupo intermedio, el desarrollo socioeconómico es poco uniforme.

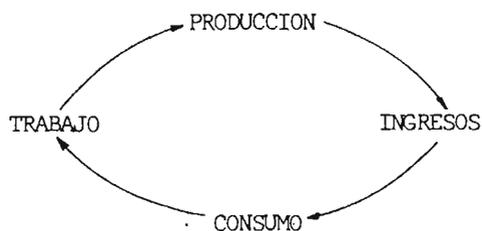
Beneficia a una minoría, básicamente la concentrada en los centros urbanos, mientras que los habitantes del campo continúan viviendo primitivamente, sin que les llegue el progreso ni los bienes conquistados. Parece que dentro de cada uno de estos países latinoamericanos existieran dos países diferentes: uno, el eminentemente pobre, que cultiva el campo y recibe una alimentación muy deficiente, de marcada inferioridad biológica, al que no llegan en forma suficiente los adelantos de la tecnología moderna --

(factores que son la causa de que la población de ese "país" produzca poco, consuma aún menos y contribuya escasamente al progreso).

En el otro "país" existen industrias, comercio, bienes de capital; sus habitantes residen en los centros urbanos, han sido capacitados, han recibido educación, tienen una alimentación adecuada y bien equilibrada - de tal forma que poseen mayores oportunidades para su avance, y son partícipes del progreso y desarrollo general del país.

La estrecha relación que existe entre los niveles de alimentación de un grupo humano y su desarrollo socioeconómico es un hecho innegable. No sólo la situación actual ejemplifica de la relación entre la economía y el consumo de alimentos: el enfoque histórico establece que a medida que los países incrementan su producción agrícola e industrial y empiezan a tener excedentes que les permiten un desarrollo más o menos integral, el consumo de alimentos mejora notablemente tanto en cantidad como en calidad.

El análisis de dicha interrelación se puede explicar en forma simplista como un "proceso circular acumulativo", que gráficamente puede expresarse como sigue: (9)



En este proceso se considera que una buena producción causa mayores ingresos, los que a su vez favorecen el consumo de alimentos y otros bienes; el mejor consumo condiciona más trabajo, lo que tiene por consecuencia una mayor producción, y así se cierra el ciclo.

Este ciclo es acumulativo debido a que tiende a aumentar o a disminuir, de acuerdo con el estímulo o la falla de cualquiera de sus factores.

Por tanto, más que un ciclo bidimensional, se debe de considerar tridimensional, o sea, como una espiral o la rosca de un tornillo. Se puede decir que un país o un grupo humano está en proceso de desarrollo cuando los niveles de los cuatro puntos considerados van en ascenso; y que está o tiende al subdesarrollo cuando el ciclo disminuye.

Este ciclo es una explicación extra simplista. Un análisis un poco más detallado muestra que existen muchos otros factores de importancia que intervienen en forma decisiva en el proceso de desarrollo, ya sea acelerándolo o obstaculizándolo.

Sin entrar a un análisis de los círculos viciosos que pueden complicar el ciclo primario, obstaculizando su evolución, una composición gráfica con el único objeto de mostrar los otros factores que intervienen, sería la siguiente: (111)



Podemos advertir que el desarrollo económico es un proceso que conduce a elevar la productividad humana y a alcanzar mejores niveles de vida. En este proceso intervienen muchos factores.

Sin embargo, sin duda lo fundamental, es el hombre "per se", cuya capacidad para el desarrollo de energía física y mental está subordinada a la calidad de su dieta. La actividad, tanto física como mental trae consigo un desgaste en los procesos metabólicos del organismo humano, que para mantenerlos necesita de una oportuna y adecuada reposición, mediante el suministro de los nutrientes mínimos indispensables.

La historia de la humanidad es un ejemplo evidente de la verdad de esta aseveración, ya que sólo los pueblos bien alimentados han sido capaces de un desarrollo socioeconómico considerable. La alimentación insuficiente mantenida por siglos- que tradicionalmente recibe más de la mitad de los pobla-

dores de Latinoamérica, ha dado lugar a repercusiones biológicas, sociales y económicas de gran significación. La insuficiencia en la alimentación trasciende en la actualidad, a través de un proceso de adaptación a la ingestión reducida de alimentos y con un escaso contenido de proteínas de calidad. Como consecuencia disminuyen los requerimientos hasta que pueden ser satisfechos. Esto produce una situación calificada como desnutrición crónica (164), con características antropológicas como son: complexión reducida, peso inferior, disminución marcada de la energía psíquica y la capacidad para defenderse de la agresión ambiental, de situaciones de "stress", etc. Las bajas reservas de los individuos en estas condiciones los hacen particularmente vulnerables a las enfermedades infecciosas, que tanto prevalecen en las zonas rurales, con morbilidad y mortalidad elevadas, particularmente en la niñez. Hay merma de su capacidad de trabajo y de esfuerzo - circunstancias que motivan una desadaptación social que tanto afecta al individuo en su felicidad y bienestar como daña a la comunidad en que vive y a la nación en su conjunto.\*

La mala alimentación y las repercusiones biológicas y sociales mencionadas, no sólo reducen la capacidad física para el esfuerzo, sino que han establecido, a través del tiempo, un patrón cultural que en diversos aspectos contribuye a impedir el desarrollo socioeconómico.

---

\*"Así como la alimentación insuficiente establece esos fenómenos biológicos de adaptación para ajustar el organismo a las aportaciones alimentarias, asimismo la conducta humana, el esfuerzo y la actividad, están limitados y en relación a la nutrición recibida. A través de los siglos, los pobladores del campo reducen su esfuerzo, su impulso y su afán de progreso, como lógica consecuencia de la pobreza de su dieta".(51)

Resulta claro que el problema nutricional es básicamente una cuestión de proteínas. Actualmente, casi la mitad de la población mundial consume dietas que retardan su desarrollo. La principal carencia en su dieta es de proteína de origen animal, pues su alimentación esta basada principalmente en granos y tubérculos que proporcionan suficientes calorías pero contienen pocas proteínas y de baja calidad, ya que carecen de ciertos aminoácidos esenciales que únicamente se encuentran en proteínas animales y en algunos productos vegetales como el frijol de soya, el brecol, el garbanzo y otras oleaginosas.

Es imposible establecer con exactitud la deficiencia de proteínas que afecta al mundo, por diversas razones, entre las que se destacan la fragmentariedad de las estadísticas disponibles y las variaciones individuales en los requisitos proteínicos necesarios. Aún en una misma persona la necesidad de proteína fluctúa según factores alimentarios tales como la ingestión de hidrocarburos, la temperatura y el trabajo físico que hace; una persona convaleciente requiere más proteínas, lo mismo que las mujeres durante el embarazo y la lactancia.

La deficiencia proteica es especialmente cruel en los niños pequeños.

Desde 1930, varios estudios han mostrado que además de la desnutrición común, productora del estado patológico conocido como marasmo, existe una enfermedad originada no por la falta total de alimento sino por un bajo consumo de proteínas: la conocida como kwashiorkor, bastante difundida

en América Latina. Ambas presentan la mayor incidencia de síntomas clínicos entre niños de seis meses a tres años.\*

Estas enfermedades por deficiencias proteicas pueden afectar sensiblemente a la población infantil, como lo muestra la tabla 2-1.

Las citadas enfermedades son bastante serias. Los casos avanzados requieren de hospitalización; y aún así, cerca de 10% de los pacientes mueren, víctimas de enfermedades infecciosas que, por su pésimo estado nutricional, son incapaces de resistir, (tabla 2-2).

Esto confirma que la deficiencia de proteínas es un grave problema médico y social que demanda la búsqueda inmediata de soluciones.

La desnutrición, los distintos grados de inanición que el hombre manifiesta -como hemos visto- disminuyen su resistencia a las enfermedades y favorecen las infecciones. Estas, a su vez, inhiben la asimilación orgánica adecuada de los alimentos. Y continua así, ininterrumpidamente, el círculo vicioso, tanto en el hombre como en los animales que utiliza.

---

\* En su publicación "Desnutrición y Enfermedad" la Organización Mundial de la Salud, dice acerca de los niños con kwashiorkor y marasmo: "Desde el punto de vista de la salud pública estos niños constituyen actualmente el problema más grave del mundo. El dominio de las enfermedades contagiosas, la instalación de abastecimientos de agua potable y de alcantarillas sanitarias probablemente salvarán muchas vidas, pero sin los alimentos adecuados, especialmente proteínas, estos niños desnutridos no alcanzarán jamás el desarrollo completo posible". (52)

TABLA 2-1

Prevalencia de kwashiorkor y marasmo entre niños de los países subdesarrollados, 1966-69

	Promedio de 18 encuestas	Rango
Kwashiorkor	0.6%	(0-1.6)
Marasmo	1.6%	(0-6.8)
Formas moderadas	15.0%	(5.6-25.8)

Fuente: Bengoa (16)

TABLA 2-2

Análisis de la información sobre 17,198 muertes de niños entre 0 y 5 años en Latinoamérica, 1970.

(Tasas de mortalidad)

CAUSA DE LA MUERTE	NIÑOS POR c/1000 NACIMIENTOS (vivos)	1-4 AÑOS DE EDAD POR c/1000 HABITANTES
Marasmo	4.9	0.5
Kwashiorkor	0.8	0.9
Formas moderadas	13.2	1.5
Todas las causas	64.0	5.0

Fuente: Organización Panamericana de la Salud. (2)

La deficiencia de proteínas se debe a que las plantas y sus productos -que suministran los elementos básicos de la mayor parte de la población mundial- a menudo carecen de uno o más de los aminoácidos esenciales determinantes del valor nutritivo. Los cereales, por ejemplo, suelen carecer de lisina y con frecuencia son pobres en metionina y triptófano. Es, precisamente, por la carencia o bajo contenido de estos aminoácidos por lo que estos productos son inferiores desde el punto de vista de la nutrición humana. De los veinte aminoácidos que requiere el organismo humano, el hombre debe recibir ocho en su alimentación, ya que es incapaz de sintetizarlos.

Quando se dispone de proteínas de origen animal -carne, leche, huevo y pescado- éstas constituyen una fuente concentrada de aminoácidos fácilmente asimilables en proporciones adecuadas para las necesidades humanas.

Existe la urgente necesidad de satisfacer las necesidades proteicas de la humanidad. Las posibilidades de acrecentar la producción de proteínas de alto valor biológico únicamente mediante el aumento del número de animales, son mucho menos prometedoras que las del acrecentamiento de una producción integrada por ganado y cosechas.

A medida que se multiplica la población mundial, se hace evidente que la cría de animales resulta un medio muy costoso para la producción de alimentos balanceados; kilo a kilo es mucho menos conveniente que los cultivos agrícolas. Se requieren siete calorías de carbohidratos vegetales para producir una caloría de proteína de carne de vacuno y aún en el método más

eficiente de crianza de pollos el rendimiento es de una caloría de pollo por cada 3.5 calorías de alimento. ( 91)

Las proteínas animales son difícilmente asequibles. En la mayoría de los países mal alimentados se requeriría de la asignación de grandes superficies de tierra para el pastoreo, donde sería más eficiente dedicarlas a la agricultura obteniendo productos para consumo directo del hombre.

De acuerdo con la mayoría de los pronosticadores, la necesidad de cultivar tierras que actualmente son destinadas a la ganadería, producirá una disminución en el consumo de carne en los países industrializados. Algunos de ellos llegan a predecir la completa desaparición, alguna vez, de la carne. A pesar de que la disminución del consumo de carne es factible, su completa desaparición no lo es. (150)

En un estudio publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el 10 de julio de 1973, se consigna: "Satisfacer las necesidades proteínicas de grandes números de personas de bajos ingresos mediante raciones adicionales de carne, leche o huevos, es una tarea harto difícil". (156)

Los estudios han demostrado que las deficiencias proteínicas deberán ser cubiertas básicamente con productos de origen vegetal. Por ello, la tecnología moderna encaminada a aumentar la producción de alimentos están dirigidas principalmente a la agricultura.

Se ha sobreestimado la importancia de la carne en la dieta. Está comprobado que un desarrollo total y eficiente puede lograrse únicamente con proteínas de origen vegetal, siempre que éstas sean consumidas en la cantidad necesaria y con un balance adecuado.

De hecho, la tecnología química moderna ha logrado sintetizar aminoácidos que, agregados al alimento vegetal, "convierten al grano en carne". Hasta ahora la limitante principal ha sido el alto costo de producción de estos aminoácidos artificiales.

Se han desarrollado mezclas nutritivas complementarias a la dieta diaria, constituidas únicamente por productos vegetales que contienen el balance adecuado de todos los aminoácidos esenciales, con lo que se ha logrado una alta de asimilación de la dieta básica consumida.

Por todo lo anterior, resulta indudable la necesidad de una expansión agrícola, su tecnificación y el incremento en la producción de alimentos, que son un factor determinante en el desarrollo de un pueblo. La industrialización es quizás el elemento más importante para alcanzar ese desarrollo y elevar el nivel de vida. Pero, es preciso señalar la necesidad de que la industria y la agricultura se acerquen más en ese desarrollo.

No debe impulsarse sólo la industria a expensas del desarrollo agrícola: éste es el que ha de proveer de los medios indispensables para vivir. Paralela y conjuntamente, la agricultura y la industria expandidas en forma equilibrada lograrán el aumento del poder adquisitivo del pueblo y la reducción pro-

gresiva de los grupos marginados.

Nos detendremos en este punto para hacer un análisis algo más detallado sobre el tema "industrialización versus agricultura".

Cómo alcanzar un balance adecuado entre el establecimiento de industrias y la expansión de la agricultura es un problema persistente en los países en desarrollo. Los economistas han definido continuamente una deliberada y rápida industrialización, aunque cada vez son más quienes reconocen la importancia de la agricultura como elemento estratégico en el proceso de desarrollo.

Hablar de "desarrollo industrial versus agricultura" es engañoso: lo que ahora se pretende es estudiar la estrecha interrelación entre agricultura e industria y la contribución que cada una puede hacer a la otra.

En verdad, la industrialización ofrece beneficios sustanciales, de carácter dinámico, muy importantes para cambiar la estructura tradicional de la economía. Sin embargo, debemos advertir que una industrialización exitosa depende en forma directa de la obtención de excedentes agrícolas; el ritmo que siga la industrialización está limitado por el paso que lleve el progreso agrícola. (90,97)

Entre los argumentos dados por los economistas para destacar la importancia del desarrollo agrícola están el hecho de que la producción agrícola

puede aumentarse notablemente y en corto tiempo con poco capital, mientras que un desarrollo industrial masivo, que ayude a solucionar el problema del desempleo y a sostener el crecimiento económico, demanda insumos de capital muy elevados. La importación de bienes de capital de la magnitud requerida para este tipo de proyectos no es factible en un futuro próximo. (84)

Por otro lado, son posibles grandes y rápidos cambios en el sector agrícola con cambios tecnológicos moderados que no demandan excesivas infusiones de capital.

Para los países en que el capital no abunda, la forma más rápida para aumentarlo -y a la vez conseguir divisas extranjeras- radica en la exportación de productos agrícolas. (19)

Meier cita como primer punto en un programa de desarrollo económico el aumento al máximo de la producción agrícola (36). Sintetiza en cinco puntos la contribución que ésta tiene en el desarrollo global de la economía:

- 1) El desarrollo económico se caracteriza por un aumento sustancial en la demanda de productos agrícolas. La omisión de expandir la oferta de alimentos en la misma proporción en que aumenta la demanda, frena seriamente el crecimiento económico.

- 2) Hasta que se logra un significativo desarrollo, la exportación de productos agrícolas constituye el primer renglón de abastecimiento de divisas.

- 3) La fuerza de trabajo que requieren el sector de manufacturas y otros sectores en expansión, provienen principalmente del área agrícola.

- 4) La agricultura, como sector dominante en una economía en desarrollo, pue

de y debe de contribuir a la formación del capital necesario para la expansión industrial.

5) El aumento de los ingresos de la población dedicada a la agricultura - constituye un gran estímulo para el desarrollo industrial.

Además de los cambios autónomos en los requerimientos la tasa de aumento anual en la demanda de alimentos,  $D$ , esta dada por:

$$D = p + ni$$

donde  $p$  es la tasa de crecimiento demográfico,  $i$ , el ingreso anual per capita y  $n$ , es la elasticidad-ingreso de la demanda de productos agrícolas.

El aumento de esta demanda tiene gran importancia dentro de las economías en desarrollo, en vista de sus altas tasas de natalidad y las continuamente decrecientes tasas de mortalidad.

Por otro lado, la elasticidad-ingreso de la demanda de alimentos en los países en desarrollo es mucho mayor que la de los países desarrollados. Esto significa que cualquier aumento en el ingreso per capita tiene un impacto - muy fuerte en la demanda de alimentos, mucho más drástica que en las economías avanzadas.

---


$$\text{elasticidad de la demanda} = \frac{\text{cambio porcentual en la demanda}}{\text{cambio porcentual en el precio}}$$

$$\text{elasticidad-ingreso de la demanda} = \frac{\text{cambio porcentual en la demanda}}{\text{cambio porcentual en el ingreso}}$$

Si la oferta de alimentos no crece en la misma medida que la demanda, el resultado es un aumento considerable en el precio de los alimentos que conduce a un descontento político y presión sobre los salarios con los consecuentes efectos adversos dentro del crecimiento industrial, las inversiones y el desarrollo económico.

Si la oferta disminuye -y dada la baja elasticidad en los precios de los alimentos, debida principalmente a la demanda de los granos, que constituyen la base de la alimentación en Latinoamérica- el margen de aumento de precios es limitado.

La repercusión inflacionaria de cualquier aumento en el precio de los alimentos tiene un efecto muchísimo mayor en los países en desarrollo que en los de altos ingresos. Esta es una consecuencia inmediata de la posición dominante del alimento como un bien de salario. En los países en desarrollo, los gastos en alimentación representan del 55 al 70% de los gastos totales, comparados con un 20 a 30% en las economías más avanzadas.

El lento desarrollo de la agricultura en Latinoamérica ha sido un poderoso freno para el crecimiento económico general. Más aún: dada la característica de economía de escala que tiene la mayoría de nuestras industrias, y la estructura en que se desenvuelve la agricultura, se ha venido desarrollando un patrón de distribución del ingreso que ha impedido el crecimiento de un mercado interno consumidor de los productos de la industria doméstica.

Las diferencias entre los ingresos de los habitantes del campo y de los

centros urbanos cada día son más marcadas. Y no es esta brecha en el ingreso el único inconveniente: la marcada diferencia en la productividad de ambos grupos acentúa las disparidades y crea el círculo vicioso al que ya nos referimos.

El problema de la agricultura constituye un cuello de botella que debe de ser removido cuanto antes.

En un estudio realizado por la Comisión Económica de La América Latina\* se sostiene que las primeras medidas que deben tomarse son mejorar el nivel nutricional de las áreas rurales y buscar la mejor combinación de factores que permitan un aumento en la producción mediante el empleo de nuevas técnicas en el campo.

Es necesario proporcionar al campesino los conocimientos y medios necesarios para conservar el suelo, aumentar la productividad, proteger las cosechas y obtener nuevas y mejores variedades, hasta que se llegue a los planos más elevados de la ciencia y la tecnología.

El propósito de alcanzar estas metas lleva implícito, indudablemente un fuerte y progresivo aumento en la producción actual de alimentos. Este aumento es posible mediante una expansión agrícola suficiente, lograda -- únicamente con la tecnificación del campo mediante modernos sistemas de -- producción.

---

\* Política agrícola para acelerar el desarrollo económico de la América Latina (36)

Como tema adicional consideramos importante comentar en forma muy somera el punto de vista totalmente contrario del tratado en este capítulo: la opinión de que no existe, a nivel mundial, una deficiencia de alimentos, y que, al contrario, hay un ligero excedente.

En cuanto a calorías, la producción mundial total es ligeramente superior a la necesaria para cubrir los requerimientos diarios mínimos. Basados en esta información los defensores de esta idea analizan el tema como si se tratase de un problema de distribución únicamente. De hecho, esto es una falacia. Se ha visto que los grupos consumidores de proteínas, consumen tres veces o más del mínimo recomendado; por otro lado según opinión generalizada de los economistas, es más sencillo solucionar el problema por vía del aumento de producción que por mejoras en la distribución (147). Sukhatme (149), sostiene que el único camino que permitiría suministrar una dieta balanceada a los grandes sectores de la población sería por medio de un aumento sustancial en la producción agrícola.

Queda claro que los oponentes de los neomalthusianos basan su ataque en una falacia, en realidad la producción actual resulta insuficiente para satisfacer las actuales necesidades alimentarias mundiales.

### III. EL CASO DE MEXICO

¿Qué caracteriza a la población marginal de México? En primer lugar, está subalimentada; y en segundo lugar, produce o tiene únicamente ingresos para subsistir. Partiendo de esta realidad, nos encontramos con dos problemas: la mala alimentación de esta gran capa de la población y su necesidad de progreso, dejando de producir a nivel de subsistencia.

Si consideramos el hecho de que mediante la especialización en el trabajo, la agricultura científica y la mecanización de las labores agrícolas, un porcentaje tan reducido como el 2% de la población económicamente activa es suficiente para sustentar al resto de la población (92), establecemos que el origen de la desigualdad de ingresos entre la población de México, en cierto modo, radica en que, además de existir una baja productividad y una mala distribución del ingreso, en términos generales hay un exceso teórico de población campesina en relación con la tecnología aplicable.

El objeto de la agricultura y de las demás actividades primarias es obtener alimentos y materias primas. Por tanto, mientras mayor sea el índice de productividad en aquellas, mayor será el bienestar general, en virtud de que una parte más numerosa de la población podrá dedicarse a las actividades secundarias y después a las terciarias y cuaternarias, de tal manera, que en el futuro la mayor parte de la población realizará a estas actividades. (155)

Como comentamos con anterioridad, la nutrición, el trabajo y el desarro-

llo se encuentran estrechamente relacionados. Sin nutrición no es posible trabajar ni estudiar convenientemente, y sin trabajo y estudio eficientes - tampoco es posible el desarrollo económico autosostenido. Por su parte, la creación de capital, descansa fundamentalmente en la tasa de inversión, y - ésta se apoya, en cierta forma, en el propio nivel de nutrición de la población en general. En consecuencia, las condiciones que propician la tasa de crecimiento de los pueblos actualmente "subdesarrollados" o "en vías de desarrollo" pueden ser incrementadas y aceleradas si se incrementa, a su vez, el porcentaje de inversión. Este porcentaje mayor de inversión sólo se puede obtener si se cuenta con un índice más alto de productividad en escala nacional. Únicamente así es posible lograr la satisfacción de las necesidades del pueblo como resultado de un mayor consumo e inversión per capita, mediante el empleo de tecnología avanzada.

La nutrición, pues, se convierte en un factor indispensable para que el desenvolvimiento de las propias actividades productivas se realicen en condiciones cada vez más apropiadas. Una población desnutrida apenas puede producir para subsistir, y resulta evidente que la inversión hecha en tales condiciones no produce los resultados deseados.

No es posible considerar que se pueda obtener una alta capacidad de trabajo y un buen rendimiento si la población sufre de hambre o desnutrición.

La relación entre productividad y nutrición es difícil de demostrar, pues en este caso ya intervienen varios factores ligados con cultura, tecnología, destreza, oportunidad de trabajo, características de la tierra,

etcétera. Sin embargo, existen muchas pruebas experimentales, -además de las sociológicas- que demuestran que un consumo bajo o inadecuado de alimentos causa una disminución evidente en la capacidad de trabajo. La mayoría de estas pruebas se han realizado sobre todo en relación con actividades industriales, atléticas y militares pero es posible extenderlas a todo tipo de tareas, entre otras las agrícolas.

Basado en observaciones sociológicas, el doctor P. Martínez ha acuñado la denominación de "hombre de maíz" para designar a los pobladores mexicanos que consumen más de la mitad de sus calorías diarias de este cereal. Menciona que este "hombre de maíz" trabaja inútilmente una parte importante de su tiempo para criar hijos que se le van a morir antes de alcanzar la edad productiva. Produce la mitad o menos de lo normal debido a las enfermedades y a su incapacidad física. Además, apenas consume -como máximo--- una tercera parte de los bienes económicos indispensables. Este hombre tiene una sobrevida diez años menor, por lo que su período productivo es muy reducido. Concluye que el "hombre de maíz" es socialmente muy caro y que es indispensable que diversifique y mejore su alimentación para que pueda participar activamente en el desarrollo económico global del país.

Aproximadamente 55% de la población total de la república tiene una dieta tan deficiente que condiciona un estado de adaptación biológica calificada por el doctor Zubirán como "desnutrición crónica". (165) A este estrato de la población no le llegan en proporción adecuada ni los alimentos ni los otros bienes y servicios que el país va conquistando. Encuentra así justificación la actitud de ese grupo humano que perpetúa el círculo vicioso tan al-

tamente perjudicial al progreso del país, al que ya nos referimos: escasa producción, exiguos ingresos, bajo consumo y reducida capacidad de trabajo. En tal forma se cierra el dramático círculo. A estos factores se agregan otros de orden cultural o psicológico, sumamente negativos, ya que contribuyen a fijar una actitud resignada para aceptar ese nivel de vida.

Un motivo particular de preocupación por los problemas de nutrición en México lo constituyen las repercusiones sociales que, tanto afectan al individuo en su felicidad y bienestar como dañan a la comunidad en que vive y a la nación en su conjunto.

Al contemplar en su conjunto este triste panorama de la vida nacional, se hace evidente que no es sino la continuada situación que ha prevalecido durante muchos siglos, perpetuada a través de los tiempos y juiciosamente descrita por el barón Alejandro de Humboldt en el "Ensayo Político Sobre el Reino de la Nueva España": "... un tercer obstáculo contra los progresos de la población de la Nueva España y acaso el más cruel de todos, es el hambre. Los indios americanos están acostumbrados a contentarse con la menor proporción de alimentos necesarios para vivir, y su número crece sin que el aumento de subsistencias sea proporcional a ese aumento de población..."

Desgraciadamente, México continúa siendo una nación de desnutridos. Más de sesenta años transcurridos desde el inicio de la Revolución no han sido suficientes para elevar la alimentación global promedio del pueblo a niveles mínimos: los exigidos por las necesidades del organismo humano. Esta situación ha creado lo que el médico mexicano Francisco de P. Miranda, designó con

el nombre de "hipoproteinosis" que no es sino la adaptación gradual del organismo a aportes nutritivos deficientes o insuficientes que no satisfacen los requerimientos de un organismo en actividad normal, con el consiguiente deterioro en las características físicas y mentales del individuo. Indudablemente, la lentitud y el retardo en el aprendizaje que acusan los niños campesinos o hijos de obreros, no son sino una de las manifestaciones del "hambre crónica" padecida por el mexicano.

El doctor Ramos Galván estimaba que en 1950 el 80% de la población padecía hambre; según las investigaciones del Instituto Nacional de la Nutrición, en el período 1960-1970 tal proporción se había reducido muy poco. Esta situación -afirma- se agrava y se vuelve aguda en la población infantil, etapa en la cual la frecuencia del hambre ha aumentado alarmantemente (9). Las cifras de mortalidad prevalentes son una de las expresiones de la magnitud del hambre que sufre el pueblo mexicano. En el grupo infantil de 1 a 4 años de edad, -el período de vida más vulnerable a la desnutrición- la mortalidad ha aumentado a razón de un 10% en los últimos diez años, y en 1972 se atribuyeron a mala alimentación más de 67 defunciones por millar (o sea, -- 350 000 niños por año), en los que con mayor frecuencia la diarrea, la neumonía, el sarampión o la tosferina son agravados por el grave estado de desnutrición de los pequeños. Además, nuestra población se ve diezmada diariamente por 28 defunciones a causa de anemia, avitaminosis u otro estado de carencia, y por 32 defunciones diarias por tuberculosis, padecimiento íntimamente ligado con el estado nutricional. (8)

Por otra parte, un elevado número de defunciones son certificadas como

"debilidad congénita", que se refiere a desnutrición neonatorum, lo que vendría a revelar un índice considerablemente mayor de mala nutrición. Lo mismo podría decirse de la frecuencia de las defunciones por prematuridad. En este renglón debe señalarse que 6700 niños fallecen anualmente por esta razón, en el primer año de vida; indiscutiblemente, la desnutrición materna es un factor de primer orden. La cifra de defunciones por prematuridad -junto con otros índices de desnutrición, como deficiencias de peso y talla, y mortalidad en los lactantes, también revelan la magnitud del grave problema nutricional en la mujer mexicana.

Evidentemente, el futuro del niño, -y por consiguiente la perspectiva de desarrollo físico y mental del individuo- dependen en gran medida de la influencia que diferentes factores biológicos y sociales ejercen desde el primer momento de la gestación. Entre estos factores desempeña un papel de primera importancia la alimentación que recibe la madre desde el momento que inicia la función de engendrar al nuevo ser. Por esto, al abordar los problemas de nutrición en México se debe considerar la importancia que tiene la alimentación de la mujer embarazada y su repercusión en el futuro nuevo habitante que llega a un ambiente físico por lo general impropio y hostil.

Teniendo en cuenta el bajo consumo de alimentos ricos en proteínas de este grupo de la población, pensamos en la necesidad inmediata de actuar para tratar de aliviar este problema.

En general, el desarrollo óseo de los niños mexicanos -sobre todo del medio rural- está seriamente alterado, y la detención del crecimiento pue-

de observarse desde la etapa prenatal. El retraso comienza a ser ostensible a partir de los diez meses de edad, y es máximo a los cuatro años. En relación con el peso, las deficiencias son igualmente graves. Muchos informes revelan que, -en el medio rural- aproximadamente 90% de los niños de edad preescolar tienen más del 15% de déficit respecto de su peso normal. (44)

Este período de la edad infantil, de crecimiento rápido, requiere una alimentación rica en proteínas y minerales. Su influencia es decisiva y determinante del desarrollo físico del sujeto adulto.

A las deficiencias del crecimiento deben agregarse las del desarrollo mental. Cuando la mala nutrición actúa intensamente en los primeros años de vida, el deterioro en la esfera nerviosa y mental se hace evidente desde los primeros días. La depresión, la irritabilidad, el llanto y la hostilidad son características del niño desnutrido (30). En los adultos, la mala nutrición prolongada ocasiona los mismos síntomas de irritabilidad y depresión, a los que se agregan parastésias y el temblor. Esto conduce a una crítica situación de inadaptación social.\* Si la desnutrición es resultante del desequilibrio social y cultural sus consecuencias no se limitan únicamente a la edad infantil y al individuo sino que alcanzan también a la familia y, consecuentemente, a la comunidad.

---

\* "La desnutrición, aunada a factores sociales y ambientales negativos, condiciona, indudablemente, desde los primeros años, un desarrollo irreversiblemente defectuoso de la inteligencia, que nos lleva a contemplar un panorama sombrío para la nación si no se adoptan urgentes medidas de solución". (47)

La capacidad biológica de adaptación del adulto desnutrido le permite llevar una vida limitadamente activa, que en condiciones de "stress" o de agresividad del medio lo coloca con relativa facilidad en un estado patológico que por lo general, reclama oportuna y adecuada asistencia médica y social. En este sentido, no es exagerado afirmar que una gran parte de nuestra población permanece ociosa cerca del 40% del ciclo anual: y por tanto improductiva.\*

Apenas un tercio de la población activa de México es productiva. Con frecuencia se afirma que el 33% de la población es económicamente activa; pero no se dice que en esta cifra se comprende un alto porcentaje de mexicanos no productivos.

El escaso incremento de la producción de alimentos en los últimos años, en desproporción con el aumento de la población podría ilustrar en parte el pobre rendimiento actual de la población económicamente activa en México.

---

\* La doctora Ana María Flores en "La magnitud del hambre en México" (31), se refiere así al impacto del hambre en la economía de nuestro país:

"Los seres hambrientos o desnutridos son individuos abúlicos y perezosos, poco capaces para el trabajo mental y poco aptos para el trabajo físico. Puede afirmarse que su rendimiento es casi nulo, porque cualquier esfuerzo que hacen les produce un desgaste de tal magnitud, que lo consideran, y así es de hecho, superior a sus energías... Estas personas ocasionan fuertes problemas económicos al país, porque no pertenecen a la fuerza económicamente activa, o son trabajadores cuya jornada de labor es poco fructífera y si sobresalen en ella es a costa de su propia vida. En todas las fuentes de trabajo su contribución intelectual o física esta amenazada por las mismas causas. La desnutrición - provoca varias enfermedades que también afectan a la economía nacional, dado que los enfermos pertenecen a las clases humildes y media y recurren a los beneficios asistenciales que el estado les proporciona, lo que ocasiona fuertes gastos y la pérdida de un tiempo -por ausentismo- que debería de dedicarse al aumento de la productividad nacional".

En comparación con otros países cuya estructura económica favorece la buena nutrición colectiva y un elevado índice de productividad, nuestro país, corre el riesgo de no poder bastarse a si mismo y de tener pocas posibilidades de superarse física e intelectualmente, si no se aplica un plan nacional de mejoramiento de la nutrición y una política acertada para incrementar -cuanto antes y en forma significativa- la disponibilidad de alimentos, conforme a las metas óptimas de consumo nacional. La única esperanza es, pues, incrementar intensivamente la producción de alimentos. Ahora bien, este incremento sustancial en la producción descansa en la concurrencia de una cantidad de factores económicos y técnicos -tales como selección de semillas, uso de fertilizantes, empleo de insecticidas, riego adecuado, alta tecnología, etcétera- que obliga a atacar el problema en forma integral y equilibrada desde muy distintos ángulos, lo que hasta el momento no se ha hecho.

Todas las acciones que se tomen deberán eslabonarse en una coordinación de esfuerzos para buscar un objetivo común, a través de programas de largo alcance y a futuro lejano. Si se pretende conducir al país por un sendero de progreso y equilibrada distribución del bienestar, debe ser obligación propósitos del gobierno que esa considerable masa de población rural, sea capaz de obtener los recursos necesarios para alimentarse y mejorar satisfactoriamente las condiciones actuales de su precaria nutrición.

Tratar de cuantificar el problema nutricional existente en México es una tarea harto difícil. En este capítulo nos limitaremos a presentar la dimensión de ese problema.

Para comenzar, haremos un análisis demográfico y ciertas proyecciones del crecimiento de la población con el objeto de establecer su incidencia sobre las necesidades alimentarias. Consideraremos primero al país estático, y luego le daremos un carácter dinámico por la incorporación de consumidores marginales a consumidores en todo el sentido de la palabra. Para efectos del análisis que se hará a continuación examinaremos diferentes estimaciones de la población disponibles y optaremos por una hipótesis intermedia. La población estimada al 30 de junio de 1970 -que ya incorpora varios ajustes- según los diferentes autores, es de 50.7 millones (Navarrete) (18); 51.08 millones (Girault) - (68); ó 51.1 millones (Rodríguez Cisneros) (133).

Trabajando con la estimación de Girault coincidente con las proyecciones del Banco de México -hay que hacer las siguientes aclaraciones: el último censo arroja una cifra de 48,225,238 habitantes (48.3 millones) - que, comparada con la calculada por las proyecciones 51.08 millones, muestra una diferencia de 2.78 millones ( o sea del 5.44% ). Las cifras difieren tanto, porque no se refieren a la misma fecha (la estimación esta referida al 30 de junio de 1970, mientras que lo censal al 28 de enero); además, la estimación incorpora varios ajustes.

Los ajustes que se tomaron en cuenta son:

- 1) Movimientos migratorios de la población
- 2) Ajustes por la proporción por edad y por sexo
- 3) Ajustes por la evolución de la mortalidad

4) Ajustes por la evolución de la fecundidad.

1) En los cálculos demográficos del país se ha considerado a la población como "cerrada", ya que la migración externa es muy reducida.

2) Con respecto al ajuste de edad y sexo, en las proyecciones se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: el grupo de 0 a 4 años de edad es el que sufre mayor omisión en su registro censal; de hecho esta omisión se calculó en 11.8%. Con respecto al grupo 20-29 años se observó una reducción natural de poco más de un millón de habitantes, que representa 29% de la población, que por otro lado corresponde a aquella del grupo de 0 a 4 años.

3) El ajuste en el cálculo demográfico contiene el de la mortalidad. En el caso de México, a partir de la Revolución se inicia el descenso de la mortalidad, con la consecuencia inmediata del aumento de esperanza de vida al nacimiento. Este índice era en 1930 de 32.44 años para los hombres y 34.07 para las mujeres; aumenta a 57.63 y 60.29, respectivamente en 1960. En 1970 las cifras muestran 61.3 y 63.3. Con respecto a la esperanza de vida, es de advertir que los incrementos de este índice son más importantes y claros cuando la esperanza de vida es corta, y conforme se alcanza mayor longevidad, los incrementos se van reduciendo.

4) El último ajuste proviene de la aplicación de las relaciones de fecundidad, encontrándose que la tasa bruta de la reproducción en México es de 3.6 en 1970, una de las más altas del mundo. También es importante mencionar que de las hipótesis propuestas se eligió aquella que supone que el nivel de fecundidad permaneció constante en 1960-1970 y decrece 5% en 1970-1975 y en 10% en 1975-1980.

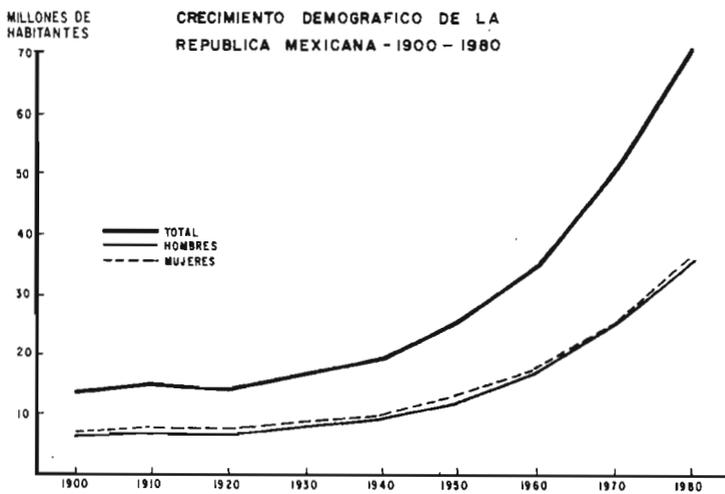


Fig. 2. Crecimiento demográfico de la República Mexicana (1900-1980)

La tabla siguiente resume los principales índices demográficos del país en los últimos 20 años, incluyendo los proyectados.

TABLA 3-1

Indíces demográficos	1960-65	1965-70	1970-75	1975-80
# e° o° hombres (años)	59.59	62.71	65.07	67.05
e° o° mujeres (años)	62.23	65.25	67.61	69.38
tasa bruta de reproducción	3.16	3.16	3.00	2.70
tasa de natalidad (por mil)	44.4	43.8	42.4	39.8
tasa de mortalidad (por mil)	9.9	8.4	7.4	6.5
tasa de incremento (por mil)	34.5	35.4	35.0	33.3

#: esperanza de vida al nacer

Fuente: Elaborada con datos del Banco de México, S.A.

Puede comprobarse que la esperanza de vida ha ido aumentando continuamente. La tasa bruta de reproducción, de 3.16 se espera que se reduzca a 2.7, y la natalidad, de 43.8 a 39.8 por cada mil habitantes. Las tasas de mortalidad calculadas también van en continuo descenso. Es importante destacar la disparidad de dos índices: el de la tasa bruta de reproducción, de 2.7 (uno de los más elevados del mundo) y el de mortalidad, de 6.5 por cada mil habitantes (cifras a nivel de países desarrollados). Este fenómeno es bien conocido en la demografía de países en desarrollo, y responsable del crecimiento acelerado de la población. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, la población censal modificada, (50,513,000 habi-

tantes en 1970) presentó una discrepancia de sólo 1.13% con respecto a los 51,086,000 habitantes que resultan en las proyecciones a la misma fecha. (Esta diferencia carece de importancia para los objetivos del presente análisis).

Con las hipótesis adoptadas, se llega de una población de 51.08 millones en 1970 a una población total de 71.94 millones en 1980: esto significa un crecimiento medio anual de 3.56% entre 1970 y 1975 y de 3.29% en 1976-80. Es decir, la alta tasa de crecimiento demográfico descenderá significativamente a partir de 1976, aunque sin volver todavía al ritmo de crecimiento que se observó en el período 1951-60 (3.1% medio anual). Este desaceleramiento en el crecimiento de la población se origina en el rápido proceso de urbanización, que se continuará observando en el futuro y que históricamente tiende a reducir la tasa de natalidad. El ritmo de urbanización continuará en los próximos años, aunque con un ritmo cada vez más lento, pues la población urbana que creció 5.3% medio anual entre 1961-70, bajará 4.2 en 1977-80.

Analizando la estructura de la población por sexo y edad (tabla 3-3) se comprueba que México tiene una población primordialmente joven. La pirámide de población adquiere la morfología típica de países en vías de desarrollo: un triángulo de base muy amplia constituida por la población joven y un vértice estrecho en el cual se encuentra la población vieja (fig 3). El fenómeno es extremo, y lejos de estar estabilizado se ha agudizado a través del tiempo. Aunque esta pirámide de población corresponde, con los otros índices, a la fase de "despegue" en el desarrollo económico de un pa-

**TABLA 3-2**

**PROYECCION DE LA POBLACION TOTAL EN LA REPUBLICA MEXICANA POR GRUPOS DE EDAD A MEDIADOS DE 1965, 1970, 1975 y 1980. (Millares)**  
Fecundidad decreciente. 5% de 1970 a 1975. 10% de 1975 a 1980.

<i>Grupos de edad</i>	1960	1965	1970	1975	1980
0 - 4	6,719.2	8,046.8	9,566.5	11,182.0	12,542.7
5 - 9	5,341.4	6,518.2	7,856.7	9,385.9	11,011.8
10 - 14	4,517.1	5,294.3	6,468.7	7,807.4	9,355.9
15 - 19	3,531.1	4,284.8	5,267.5	6,440.5	7,781.4
20 - 24	2,977.1	3,492.9	4,245.9	5,320.2	6,105.1
25 - 29	2,544.0	2,924.5	3,441.8	4,195.6	5,175.8
30 - 34	2,190.8	2,492.2	2,874.3	3,590.1	4,139.1
35 - 39	1,841.2	2,136.6	3,438.7	2,819.4	3,332.0
40 - 44	1,482.5	1,785.4	2,079.4	2,379.6	2,756.5
45 - 49	1,224.6	1,434.0	1,725.1	2,015.1	2,311.2
50 - 54	1,060.6	1,165.7	1,371.3	1,655.1	1,938.8
55 - 59	874.6	992.2	1,096.8	1,295.6	1,569.2
60 - 64	657.7	796.9	909.2	1,011.5	1,200.4
65 - 69	576.2	576.2	704.6	809.6	905.6
70 - 74	335.3	393.2	481.5	594.3	687.9
75 - 79	210.3	251.0	290.0	370.6	461.9
80 y +	213.0	223.7	259.4	310.8	385.2
Total	36,005.0	42,808.6	51,086.2	60,891.7	71,940.5

**TABLA 3-3**

**ESTRUCTURA DE LA POBLACION DE LA REPUBLICA MEXICANA PARA 1980 (Millares)**

<i>Edad</i>	<i>Hombres</i>		<i>Mujeres</i>		<i>Ambos sexos</i>	
	<i>Población</i>	<i>%</i>	<i>Población</i>	<i>%</i>	<i>Población</i>	<i>%</i>
0 - 4	6,438.7	8.95	6,104.0	8.48	12,542.7	17.43
5 - 9	5,649.7	7.85	5,362.1	7.45	11,011.8	15.30
10 - 14	4,775.5	6.64	4,560.4	6.34	9,335.9	12.98
15 - 19	3,969.4	5.52	3,812.0	5.30	7,781.4	10.82
20 - 24	3,285.7	4.57	3,119.4	4.34	6,405.1	8.91
25 - 29	2,622.3	3.65	2,553.5	3.55	5,175.8	7.20
30 - 34	2,087.9	2.90	2,051.2	2.85	4,139.1	5.75
35 - 39	1,654.7	2.30	1,677.3	2.33	3,332.0	4.63
40 - 44	1,335.6	1.86	1,420.9	1.98	2,756.5	3.84
45 - 49	1,096.6	1.52	1,214.6	1.69	2,311.2	3.21
50 - 54	916.3	1.27	1,022.5	1.42	1,938.8	2.69
55 - 59	740.2	1.03	829.0	1.15	1,569.2	2.18
60 - 64	567.9	.79	632.1	.88	1,200.4	1.67
65 - 69	426.2	.59	479.4	.67	905.6	1.26
70 - 74	324.3	.45	366.6	.50	687.9	.95
75 - 79	218.9	.30	243.0	.34	461.9	.64
80 y +	186.9	.26	198.5	.28	385.2	.54
Total	36,296.6	50.45	35,643.9	49.55	71,940.5	100.00

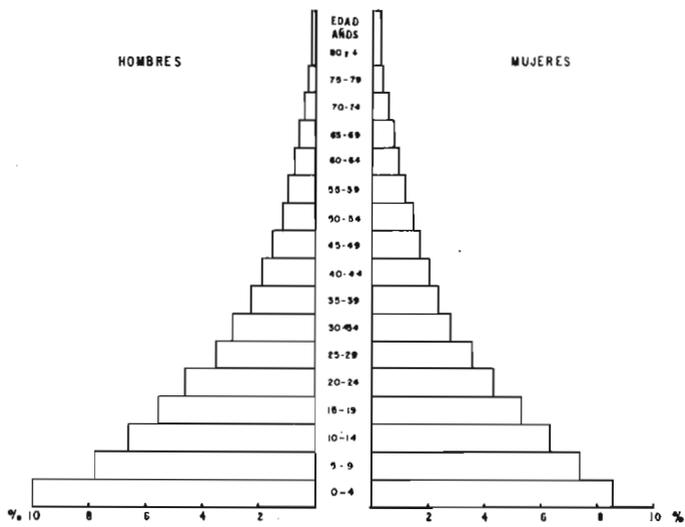


Fig. 3. Estructura de la población mexicana - 1980

ís, el problema no deja de ser alarmante, y sus implicaciones para el futuro -más bien diríamos sus implicaciones presentes- en cuanto a demanda de servicios, fuentes de trabajo y sobre todo, alimentación, son de gran significancia. En la fig 4 se puede comparar la estructura de la población de México con la de un país ampliamente desarrollado como Estados Unidos de América. En los países avanzados, estables en su desarrollo económico y social, la forma tiende a ser rectangular. La población infantil se reduce, primordialmente debido a una disminución del índice de fecundidad; las familias son menos numerosas debido al control voluntario de la natalidad y a la fundación de la familia a edades mayores. También es consecuencia de una mayor esperanza de vida, que da por resultado un aumento de la población adulta e inclusive vieja. Regresando nuevamente al análisis de la estructura de la población del país para 1980, hay otros fenómenos de interés.

TABLA 3-4

PRINCIPALES ESTRATOS DE LA POBLACION EN LA REPUBLICA MEXICANA, SEGUN EDAD Y SEXO PARA 1980 (Millares)

EDAD	HOMBRES		MUJERES		AMBOS SEXOS	
	Población	%	Población	%	Población	%
0 - 4	6,438.7	8.95	6,104.0	8.58	12,542.7	17.53
5 - 14	10,425.2	14.49	9,922.5	13.80	20,347.7	28.29
15 - 24	7,255.1	10.09	6,931.4	9.47	14,186.5	19.56
25 - 64	11,021.5	15.42	11,401.5	15.81	22,423.0	31.85
65 y más	1,156.1	1.6	1,284.5	1.79	2,440.6	3.39
Total	36,296.6	50.55	35,643.9	49.45	71,940.5	100.00

Fuente: Zenteno, B.y Cabrera, G. (161)

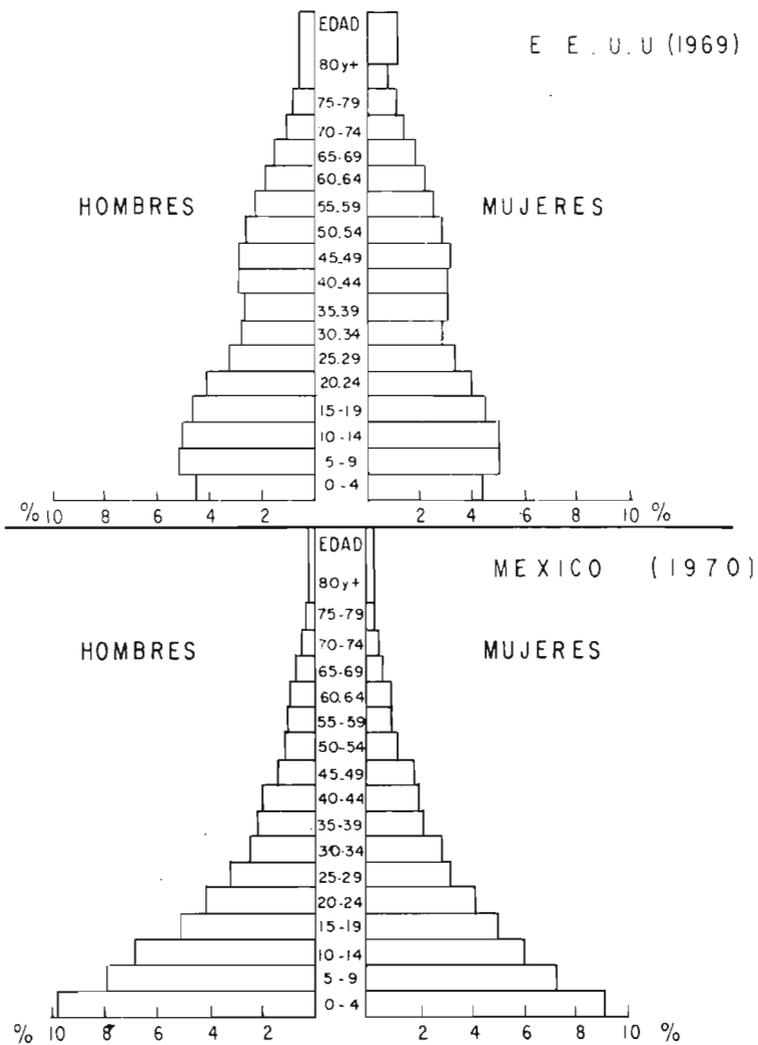


Fig. 4. Estructuras de población comparadas

En 1980, se calcula que habrá 6,438,700 niños y 6,104,000 niñas menores de 4 años, en un total de 12,542,700, lo que representa 17.53% de la población total del país. Serán doce millones de niños, en quienes - una adecuada alimentación será trascendental para su futuro.

En 1980 habrá 10,425,200 niños y 9,922,500 niñas (entre 5 y 14 años) lo que hace un total de 20,347,700 niños en edad escolar, que representan 28.29% de la población total del país. Son veinte millones de niños a los que habrá que proporcionar los medios necesarios para que en el futuro puedan incorporarse a la vida activa del país.

En 1980 la población infantil será de 32,890,400 niños menores de 15 años, lo cual representa 45.8% de la población total del país y 14,186,500, (19.7%), entre 15 y 24 años; esto significa que prácticamente dos terceras partes de la población mexicana de 1980 será infantil, no productiva económicamente, la que en su preparación para el futuro requerirá y absorberá gran cantidad de esfuerzo humano, material y económico. Esa población deberá ser sostenida por otra menos numerosa. En 1980 habrá 11,215,000 hombres y 11,401,500 mujeres entre 25 y 64 años de edad lo que suma 22,423,000 mexicanos en edad productiva, solamente 31.83% de la población del país. El significado de esta cifra es evidente: menos de la tercera parte de la población deberá sostener al resto. Para esa época habrá 1,156,000 hombres y 1,284,500 mujeres mayores de 65 años, lo que da un total de 2,440,600 mexicanos que pueden preverse en su mayoría como inactivos. Esto implica que 3.39% de la población requerirá de sostén para satisfacer las necesidades de la senectud (hospitales, asilos, jubilaciones, etcétera).

En la composición de la población de un país es importante considerar la edad y el sexo. Pero existen otras características demográficas de repercusión en el desarrollo: una es la proporción que vive en el medio rural y la que lo hace en el medio urbano.

Para el estudio de la población urbana y rural se tuvo en cuenta el criterio internacional de considerar población rural la menor de 2500 habitantes. Este criterio tiene grandes limitaciones, sobre todo cuando es aplicado a los países en vías de desarrollo, en los que las poblaciones de 2500 habitantes no tienen condiciones económicas, de producción, servicios y urbanización, que corresponden a poblaciones urbanas, a pesar de ello, este criterio parece valedero para los propósitos de este análisis, tomando simplemente en cuenta que una proporción de la población considerada urbana, tendrá condiciones semiurbanas o inclusive rurales. (La figura 5 muestra la relación entre ambas poblaciones). A principios de siglo, 71% de la población era rural, esto es, vivía en poblaciones no mayores de 2500 habitantes; a través del siglo, la población urbana se fue acercando a la población rural, de modo que en el decenio de 1960 a 1970 la relación se invirtió y predominó la población urbana. En 1980, 67% de la población será urbana y sólo 33% rural. Las implicaciones de este fenómeno son importantes. Antes que nada, es una manifestación de que el desarrollo socioeconómico del país se encuentra en la fase de "despegue" de los países industrializados, ya que el aumento de la población urbana es manifestación de industrialización. Por otro lado, la de urbanización acelerada (con la migración desde campo) agravará aún más el serio problema agropecuario, todavía no resuelto. A la vez, agudizará los problemas propios del urbanismo, la planeación

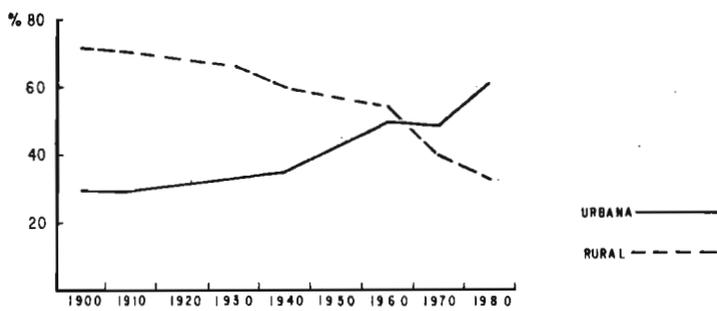


Fig. 5. Población de la República Mexicana- 1980, urbana y rural

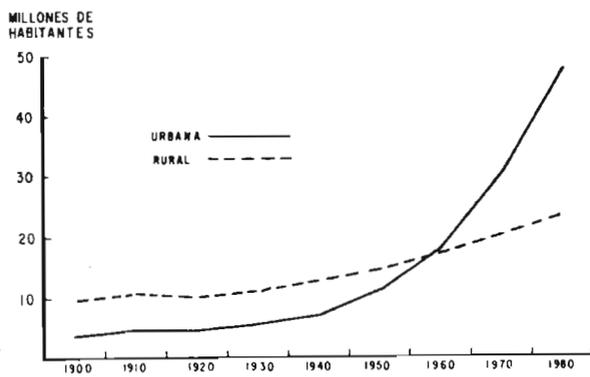


Fig. 6. Población urbana y rural, 1900-1980

ción industrial y las poblaciones marginadas.

En la figura 7 aparece la pirámide de población, dividida ahora en urbana y rural. Obviamente, persiste el fenómeno de una pirámide con gran basamento de población joven y un vértice pequeño de población adulta. Es manifiesto que los problemas socioeconómicos de las poblaciones jóvenes se agudizarán, sobre todo en las áreas urbanas, donde se encontrará el gran porcentaje de niños en edad preescolar y escolar. Resulta claro que el crecimiento disminuya en forma significativa en un futuro próximo, es muy poco probable. Aun cuando se afirme la tendencia al descenso en la fecundidad que actualmente se empieza a observar, el siglo XXI se iniciará con una población no menor de 135 millones de seres.\*

Es evidente pues, que por lo menos en los próximos años, seguiremos multiplicándonos a gran velocidad, sin poder controlar este fenómeno. La única alternativa que se presenta es obvia: hay que aumentar la producción de alimentos por lo menos a la misma velocidad con que crece la población: esto se podrá lograr, únicamente, introduciendo técnicas y métodos de producción modernos, al igual que tratando de ampliar la gama de alimentos -

---

\* En la semana del 14 al 20 de enero de 1974 se efectuó en Cocoyoc, Morelos el Primer Coloquio Internacional Atalaya 1974 con la participación de gran número de especialistas en los problemas del futuro. Del tema "Los problemas demográficos" habló Antonio Carrillo Flores, secretario de la Conferencia Mundial sobre Población de la O.N.U. Expresó su preocupación por la ignorancia en esta materia de los pobladores de América Latina, y urgió a tomar medidas para controlar el crecimiento desmesurado que hasta ahora ha predominado. "Las perspectivas a corto plazo no son muy alentadoras - y seguiremos creciendo a ritmo super-exponencial".

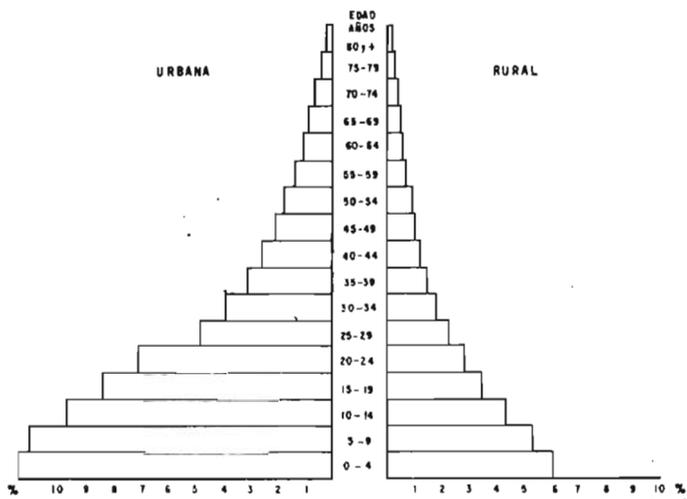


Fig. 7. Población urbana y rural- 1980, por grupos de edad

producidos con la búsqueda de nuevas fuentes de proteínas.

En este punto resulta conveniente hacer un análisis de la situación actual de México en cuanto a su producción de alimentos, para visualizar la magnitud del problema, tratar de explicar algunas de sus causas y proponer ciertas medidas que tiendan a contrarestarlo.

A manera de patrón de referencia y para obtener un panorama general de la disponibilidad de alimentos en el país se emplean las llamadas hojas de balance de alimentos. Complementadas con encuestas directas de consumo, éstas constituyen uno de los instrumentos fundamentales para conocer los problemas nutricionales de la población, para determinar los efectos que se logran con los programas agropecuarios de producción y la política de distribución a la población, y, sobre todo, para facilitar la introducción oportuna de los reajustes que se consideren necesarios para mejorar el panorama, tanto a nivel nacional como regional. La metodología utilizada en la elaboración de las hojas de balance para obtener el factor "disponibilidad" está detalladamente explicada en una publicación especialmente diseñada por la FAO con este propósito (60). Este trabajo es realizado periódicamente en México por investigadores del Instituto Nacional de la Nutrición. (125)

Los datos obtenidos son vaciados en hojas tabulares que en su primera columna contienen referencia a todos los alimentos sujetos a contabilización, (se excluyen únicamente alimentos regionales no sujetos a intercambio comercial como insectos y frutas silvestres); en las siguientes columnas se anotan los datos relativos a producción, importación, exportación, mermas,

almacenaje, usos industriales, forrajes y semillas. Con esta información -sumando a la producción las importaciones y las movilizaciones de almacenes y restando las exportaciones, las mermas y los usos industriales no alimentarios y los otros mencionados, se calcula lo disponible para consumo humano en cada uno de los alimentos, por separado. Una vez obtenida la disponibilidad bruta de alimentos para consumo humano, se divide la cifra entre la de población total para el año en cuestión, para conocer la disponibilidad anual media por habitante. Dividiendo esta cifra entre 365 días, se obtiene la disponibilidad bruta diaria por habitante. Con el empleo de tablas de valor nutritivo de los alimentos, se convierte la disponibilidad bruta por habitante en disponibilidad neta per capita. Y es este el factor que deseamos analizar.

Antes de entrar en un estudio detallado del factor disponibilidad haremos algunos comentarios al respecto.

Primero, las cifras de disponibilidades no deben considerarse como consumos reales, pues de los mercados a la mesa hay nuevas pérdidas y mermas, (por lo que no se vende, lo que desperdicia el ama de casa, lo que se destruye al cocinar, los desperdicios de la mesa, la alimentación de animales domésticos, etcétera). Esto en México se ha calculado que puede ir desde 10% en algunos artículos hasta 20% o más en otros.

"Disponibilidad" de ningún modo es sinónimo de "consumo". Es únicamente un promedio teórico de la cantidad de alimentos que cada mexicano tiene para su nutrición. Sobre todo en el caso de las proteínas, la dis-

ponibilidad global per capita no debe de usarse como un indicador del nivel de nutrición, porque la ingestión individual de proteínas puede no guardar relación con las necesidades fisiológicas. Por diversos factores la mayoría de las personas consumirán más proteínas de las que requieren, si pueden hacerlo; en el caso de México se encontró que los individuos que consumen proteínas de calidad, consumen, por lo menos, tres veces el mínimo recomendado.

Por otra parte, la ingestión de calorías está mucho más relacionada con los requisitos reales. Las cifras de consumo medio de proteínas ocultan enormes desigualdades entre los diferentes segmentos de la población. Los individuos pertenecientes a grupos con bajos ingresos, en posición más vulnerable, tienen mucho más de nutrición insuficiente de la que pueda inferirse de la media.

Incluso cuando la ingestión de proteínas y calorías por familia parecería adecuada, aquellos miembros de la familia con necesidades especiales -el niño en edad preescolar, la madre encinta, en lactancia- con frecuencia reciben menos de lo que sería su parte proporcional.

En el medio rural, el hombre adulto es quien recibe la mayor porción de alimento. Además, debemos notar que los requerimientos mínimos han sido calculados para individuos sanos. De hecho muchos niños se encuentran enfermos 30% del tiempo, y -como vimos en el segundo capítulo- después de un periodo de enfermedad, la demanda de proteínas en un niño es por lo menos del doble que en situaciones normales. Esto significa que, una dieta que hubiese si-

do adecuada para un niño sano resulta deficiente para uno convaleciente. Y lo mismo sucede en los adultos.

Un análisis totalmente análogo se aplica a las mujeres embarazadas y en lactancia, que tienen una mayor demanda de proteínas por lo general no satisfechas.

Por último, debemos tomar bien en cuenta es el hecho -subrayado por la FAO, de que no porque se logre la cifra mínima recomendada se debe considerar que ya no hay escasez de alimentos; se aconseja que se debe promover un excedente de por lo menos 15%, para abastecer a la población de escasos recursos. Teniendo en consideración, todos los factores anteriores, que accentúan aún más la situación deficitaria del país, haremos una presentación muy breve de las disponibilidades de proteínas en nuestro país.

El balance realizado por el INN en el año de 1970, (el último), utilizó la información de quince fuentes oficiales, la cual fue ajustada y complementada con gran número de encuestas directas (125,126).

La tabla 3-5 muestra cuál es la situación.

TABLA 3-5

Nutrimiento	Disponibilidad por habitante	Mínimo recomendado
Calorías	2619	2750
Proteínas totales (g)	72.0	80
Proteínas animales (g)	22.7	30

El cuadro muestra que los volúmenes totales ni siquiera satisfacen las necesidades teóricas mínimas de la población. En cuanto a calidad, el déficit es obvio: una marcada carencia de proteínas. (En el año en que se hizo el balance anterior, la población total del país se había estimado en 48.3 millones de habitantes).

El déficit diario de proteínas per capita es:

$$80\text{g} - 72\text{g} = 8\text{g}$$

lo que da un déficit total para el país de

$$\begin{aligned} (48.3 \times 10^6) \times 8\text{g} &= 38.64 \times 10^4\text{g} \\ &= 38.64 \times 10^4\text{kg de proteínas.} \end{aligned}$$

Esto representa una deficiencia anual de

$$38.64 \times 10^4\text{kg} \times 365 = 141,036,000\text{kg de proteínas / año}$$

Por medio de los factores de conversión, podemos calcular la equivalencia de 141 millones de kg de proteínas (por ejemplo en kg de carne): 5g de carne de vacuno contienen 1g de proteína, de modo que el déficit de proteínas equivale a  $141,036,000 \times 5 = 705,180,000$  kg de carne anual. Si sabemos que una res proporciona en promedio 165 kg de carne deshuesada y lista para el consumo humano, (9), requeriremos de  $705,180,000/165 = 4,273,818$  reses adicionales por año, que llegan a la mesa.

En realidad, el problema es más dramático. Si analizamos las cifras del censo de 1970 -donde se preguntó en cada vivienda cuantos días en la -

semana previa al censo se consumió carne, huevos, leche y pan de trigo- encontramos la siguiente distribución.

TABLA 3-6

(en miles de habitantes)								
	cero días	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días
carne	9,938	8,161	8,872	7,360	3,016	1,421	1,335	8,122
huevos	11,173	3,958	6,264	5,071	2,423	1,331	1,390	16,615
leche	18,348	1,685	1,797	1,524	740	457	907	22,768
pan de trigo	11,292	2,853	2,683	2,122	1,104	712	1,264	26,195

Tratar de incorporar a estos grupos no consumidores a individuos que consuman el mínimo diario de proteína de calidad recomendado, es una tarea ardua y representa un verdadero reto para las fuentes tradicionales de producción. Con sólo observar un poco la tabla 3-6 podemos detectar la existencia de un gran déficit de alimentos. Debemos suponer que los individuos que actualmente consumen no dejarán de hacerlo; por ello la fuerte cantidad extra que se requiere producir es para suplir a aquellos grupos que ahora no son consumidores. Debemos tener presente que deberá producirse - fuerte cantidad adicional por la demanda que originará el aumento natural de la población; población infantil que, si deseamos sea productiva después, - habrá que alimentar adecuadamente. El déficit se incrementa cuando sumamos

las cantidades que requerirán las madres encintas y en lactancia. Como podemos advertir, el panorama no se presenta muy prometedor en un futuro inmediato.\*

La amenaza del hambre se encuentra tan próxima que resulta imposter-gable el tomar una acción de inmediato y no continuar haciendo plantea--mientos del problema y proponer soluciones grandielocuentes.

---

\* Un artículo del Lic. Rodríguez Cisneros, director de estudios sobre -proyecciones agrícolas del Banco de México -aparece a ocho columnas en la primera plana de "Excelsior" (16/I/74): "Faltarán en 1976 carne, tri-go y azúcar". "Agricultura precaria: 93% de labriegos producen sólo pa-ra ellos". En este artículo Rodríguez Cisneros advierte para los pró-ximos años habrá déficit muy serio de varios productos agrícolas y de -origen pecuario. "En general -dice- la producción agropecuaria se prevé insuficiente para satisfacer la demanda. Para 1976 se calcula el faltan-te en, por lo menos, seis mil seiscientos millones de pesos". "Esto es muy serio -señala- si consideramos que el 40 % de la población destina 60% de su ingreso a la adquisición de alimentos". Vaticina el investiga-dor que para 1976 el faltante de carne de bovino será de 20%; el déficit deberá cubrirse con incrementos en los precios, de tal suerte que solo tendrán acceso a ella los grupos con mayor capacidad de compra.

#### IV. PROTEINAS

"En las plantas y en los animales existe una sustancia que es sin duda la más importante de todas las conocidas en la materia viva y sin la cual la vida sería imposible en nuestro planeta. Esta sustancia ha recibido el nombre de proteína". (65)

Así escribía en 1838 Gerard Johannes Mulder, holandés especialista en química agrícola. Fue en sus artículos donde la palabra proteína (del griego "proteios", que significa primero) apareció por primera vez.

Este nombre le fue sugerido por Berzelius. Fue una denominación bien elegida, pues de todos los compuestos químicos las proteínas deben ser clasificadas en un lugar preponderante, por ser la sustancia de la vida.

Las proteínas son uno de los tres principales componentes orgánicos de la materia viva (con los glúcidos y lípidos), pero se destacan sobre los otros dos por la importancia y variedad de sus funciones biológicas. Constituyen, aproximadamente, la mitad del residuo seco del organismo (70% del cuerpo es agua). De las proteínas totales del organismo, más de un tercio se encuentran en los músculos, donde una proteína -la miosina- forma las fibras, que son el elemento contractil fundamental del movimiento muscular. Los huesos y cartílagos contienen otro 20% que, en forma de colágeno, contribuye a la estabilidad estructural del esqueleto. En la piel se encuentra por lo menos 10%, en forma de queratina -típica proteína de la epidermis-- para proteger los tejidos interiores del ambiente exterior.

En cada cuerpo humano existen decenas de miles -quizá cien mil- clases diferentes, de proteínas. Todas desempeñan un papel específico e importante.

La hemoglobina, que se encuentra en el interior de los hematíes, tiene como función principal combinarse con el oxígeno en los pulmones para liberarlo en los tejidos; la tripsina, la pepsina y muchas enzimas similares, toman parte fundamental en la digestión de los alimentos; el citocromo C y otras enzimas oxidorreductoras catalizan la oxidorreducción de los principios inmediatos en el interior de las células.

Las enzimas son de las proteínas más importantes del organismo, ya que resultan indispensables para la puesta en marcha y dirección de las miles de reacciones químicas realizadas en el interior del cuerpo.

Muchas hormonas son también proteínas. Estos notables productos de la actividad secretora de los órganos endócrinos son transportados por la sangre -en cantidades pequeñísimas- a los tejidos y allí juegan un papel decisivo en la regulación del ritmo y la dirección del metabolismo. También -- son proteínas los anticuerpos de la sangre, que defienden al organismo contra los virus (que a su vez, son también proteínas) y contra las sustancias nocivas producidas por las bacterias patógenas... Esta enumeración podría continuarse indefinidamente, pero la terminaremos mencionando que los genes -unidades básicas de la herencia- están constituidos por un tipo particular de proteínas llamadas nucleoproteínas.

Con tal diversidad de funciones, se comprende que la variedad de su --

estructura química debe ser paralela. En efecto, el número de las proteínas identificadas es inmenso y continúa aumentando rápidamente.

Químicamente, las proteínas son grandes polímeros, formadas por cadenas de unidades que se repiten en una determinada secuencia. Estas unidades son los grupos péptidos, constituidos por monómeros que son  $\alpha$  aminoácidos.

Una molécula de proteína contiene cientos o miles de aminoácidos de unos veinte tipos diferentes; sin embargo, el número de diversas posibles combinaciones entre ellos da lugar a la inmensa cantidad de proteínas conocidas. La diferencia entre una proteína y otra reside en la distinta cantidad y secuencia de aminoácidos que contenga su cadena. Esto es lo que las hace tan específicas en sus propiedades y su acción.

Existen en forma natural cerca de 80 aminoácidos diferentes pero únicamente 26 han sido identificados como constituyentes de las proteínas, y apenas unos 20 han sido encontrados en las proteínas animales. Siendo todos ellos ácidos  $\alpha$  amino-carboxílicos, tienen varias propiedades químicas análogas, como la de formar grandes cadenas poliamídicas al reaccionar el grupo amino de un ácido con el grupo carboxilo de otro ácido; se desprende una molécula de agua, y los residuos quedan unidos por un enlace peptídico, (-CONH-).

Dependiendo del número de residuos de aminoácidos que contiene la molécula, se tienen los dipéptidos, tripéptidos, y así, hasta los polipéptidos. Por convención a los péptidos con un peso molecular superior a 10,000

se les denomina polipéptidos, arriba de éste valor, proteínas.

Los péptidos han sido estudiados principalmente como un paso preliminar al estudio y determinación de la estructura de las proteínas. Sin embargo, algunos péptidos son de gran importancia: así, el tripéptido glutathiona se encuentra como constituyente de casi todas las células vivas; el nonapéptido oxitocina, es una hormona segregada por la pituitaria, que controla las contracciones uterinas; el  $\alpha$ -corticotropina, formado por reducidos de 39 aminoácidos es uno de los componentes de la hormona adrenocorticotropica ACTH.

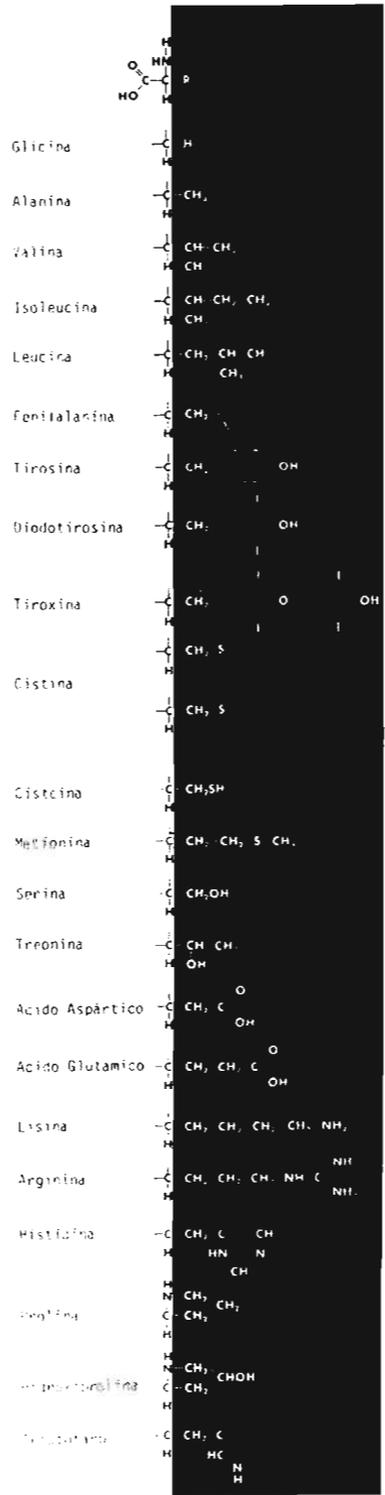
En el presente estudio nos limitaremos a presentar los aminoácidos constituyentes de las proteínas encontradas en los alimentos.

Los aminoácidos pueden representarse por la fórmula generalizada ---  

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{R} \end{array}$$
 donde -como ya indicamos- cerca de 22 grupos diferentes pueden ocupar la posición denotada por R.

La figura 8 muestra los 22 aminoácidos más comunes obtenidos en la hidrólisis de proteínas.

Antes de iniciar un estudio y hacer la clasificación de las proteínas, es importante analizar algo más a fondo la función de los aminoácidos, ya que las proteínas contenidas en los alimentos son desdobladas en el tubo digestivo, durante la digestión, por medio de hidrólisis hasta sus componentes: los aminoácidos; estos son absorbidos, pasan a la circulación por-



F. 8

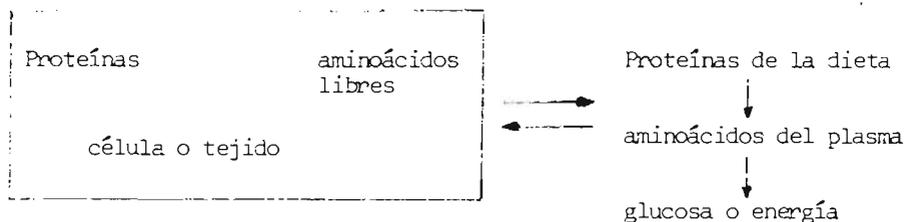
tal y llegan al hígado. Una parte de ellos es convertida en glucosa (glucogénesis) o energía; otra parte es incorporada en proteínas hepáticas; y el resto -la mayor parte- se libera lentamente a la circulación general y llega a los diferentes tejidos, donde es utilizada para sintetizar las proteínas titulares.

Hemos visto que cada una de las proteínas tiene una composición definida de aminoácidos, por lo que la síntesis de proteínas es tan eficiente como adecuada sea la proporción en que se encuentran los aminoácidos circulantes. Cuando el patrón de aminoácidos circulantes es muy diferente -del que tiene la proteína que se requiere sintetizar, la eficiencia de incorporación es muy baja. No sólo no debe haber deficiencia en los aminoácidos indispensables -llamados esenciales-, sino que el exceso de alguno -de ellos, además de resultar inútil, en ocasiones es indeseable porque puede llegar a inhibir la síntesis de la proteína.

Uno de los factores determinantes en el patrón de aminoácidos indispensables circulantes es la composición de las proteínas de la dieta. Por ello, se distinguen, proteínas de alta y baja calidad nutricional, según su patrón de aminoácidos esenciales, que determina o no una alta eficiencia de incorporación de los aminoácidos en proteínas del organismo. De esto podemos inferir que los llamados aminoácidos esenciales son aquéllos que deben encontrarse en la dieta, ya que el organismo no es capaz de sintetizarlos, o por lo menos no los sintetiza en cantidades suficientes.

Las proteínas del organismo no son estables. Dentro de cada célula o

tejido, sufren un continuo proceso de recambio según el siguiente esquema:



Como se indica, cada proteína se desdobra en los aminoácidos que la constituyen, que quedan libres y forman una "poza" metabólica, (especie de almacén que representa la fracción de aminoácidos disponibles de modo inmediato para empleo metabólico por las distintas células del organismo). Estos aminoácidos pueden ser utilizados para sintetizar las diferentes proteínas tisulares o entran en intercambio bidireccional con los aminoácidos del plasma. Así, por ejemplo, una molécula de triptófano que formaba parte de una molécula de miosina pasa a la "poza" intracelular de aminoácidos libres y tiene igual oportunidad de ser reincorporada en una nueva molécula de miosina que ir a formar parte de cualquier otra proteína de la célula, o de ir a otros tejidos, o de llegar al hígado, donde a su vez, puede ser incorporada, nuevamente liberada y transformada en glucosa o directamente en energía.

El recambio de proteínas es tal, que permite la pérdida de aminoácidos, sobre todo por transformación en glucosa (que en sí es una función muy importante de las proteínas). Hay otras pérdidas, como las debidas a descamación de células de la piel y las mucosas, reabsorción incompleta de las secreciones digestivas, etcétera.

Todo ello hace necesario que el organismo obtenga del medio ambiente --

los aminoácidos que ha perdido. Casos más claros son las demandas para el crecimiento, el embarazo y la lactancia.

A pesar de que la indispensabilidad de los aminoácidos fue detectada desde principios de este siglo, no fue sino hasta 1930 -después de que - William C. Rose descubrió la treonina en la caseína de la leche- cuando se pudieron identificar y cuantificar todos los aminoácidos requeridos por el hombre. Esto se logró suministrando dietas que contenían únicamente -- aminoácidos purificados, en lugar de proteínas.

Actualmente se acepta que son ocho los aminoácidos esenciales: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. Los niños requieren, además de los ocho anteriores, de histidina. No se ha demostrado que el organismo es capaz de sintetizar histidina, sin embargo, no existe ninguna evidencia de que el adulto lo requiera para sus funciones vitales.

A pesar de las numerosas investigaciones realizadas, hasta el momento no se ha logrado determinar exactamente las necesidades de aminoácidos esenciales. Toda la información con que se cuenta resulta incompleta para establecer en forma precisa los requerimientos cuantitativos de éstos. En -- contraste, se cuenta con suficiente información para precisar los requerimientos totales de nitrógeno.

La tabla 4.1 resume la información existente (128):

TABLA 4.1

Aminoácido	mg por día		mg por Kg por día (adultos)*	patrón sugerido (mg por g de proteína)**
	hombres	mujeres		
Isoleucina	700	550	10	18
Leucina	1100	730	14	25
Lisina	800	700	12	22
Metionina + Cistina	1100	700	13	24
Fenilalanina + Tirosina	1100	700	14	25
Treonina	500	375	7	13
Triptófano	250	168	3.5	6.5
Valina	800	650	10	18

Fuente: WHO Technical Report No. 522 (128)

\* Calculado tomando el límite superior de requerimientos individuales.

\*\* Suponiendo un nivel seguro de consumo de proteína de 0.55g/Kg por día  
(promedio para hombres y mujeres).

Holt y Snyderman (128) realizaron extensas investigaciones para determinar los requerimientos de aminoácidos en un grupo de niños de 0-1 año de edad.

Por otro lado, Nakagawa estudió a un grupo de niños entre 10-12 años.

La tabla 4.2 resume los resultados de estas investigaciones.

TABLA 4.2

Aminoácido	niños 0-1 año		niños 10-12 años	
	mg/Kg por día a	patrón sugerido (mg por g de pro- teína) b	mg/Kg por día c	patrón sugerido (mg por g de pro- teína) d
Histidina	34	14	0	0
Isoleucina	119	85	30	37
Leucina	229	80	45	56
Lisina	103	52	60	75
Metionina + Cis- tina	45 + Cis	29	27	34
Fenilalanina + Ti- rosina	90 + Tir	63	27	34
Treonina	87	44	35	44
Triptófano	22	8.5	4	4.6
Valina	105	47	33	41

Fuente: WHO Technical Report 522 (128)

- a. Valor mínimo que es necesario ingerir para un crecimiento normal.
- b. Calculado asumiendo que el valor seguro promedio de consumo de proteína de leche para este rango de edad es de 2g por Kg de peso.
- c. Nivel mínimo de consumo de aminoácidos que mantiene un balance positivo de nitrógeno en el organismo.
- d. Para convertir el requerimiento de aminoácidos a concentración en proteínas se consideró como nivel seguro promedio de ingerencia de proteína, para este grupo de edades, de 0.8g/kg por día.

Los patrones sugeridos para niños hasta de 1 año fueron calculados analizando la composición de la leche materna -que se considera como un alimento completo y adecuado- y se extrapoló y ajustó para calcular el patrón para los niños

mayores.

Como mencionamos anteriormente, la medida de la calidad de una proteína está dada por la eficiencia con que es empleada para el crecimiento o mantenimiento del organismo. Esta calidad está determinada primeramente por su composición en aminoácidos; pero, existen otros factores de importancia que afectan la utilización de la proteína.

El total de proteína obtenida de la dieta depende de la cantidad de alimento consumido y del contenido de proteínas en éste. Alimentos con un bajo contenido de proteínas pueden proveer al organismo de proporciones adecuadas de proteínas si éstos son consumidos en cantidades suficientes, - pero dado que la cantidad de alimentos consumidos esta determinada en gran parte por los requerimientos de energía más que por los de proteína, la -- ingestión de estos alimentos es cortada antes de haber satisfecho los requere-- rimientos de proteína. Por ejemplo, si los requerimientos de proteínas y - energía de un niño de 18 meses son tomados como 14.5 g de proteína de huevo o su equivalente (ingestión mínima segura) y 1180 Kcal (4.9 MJ) por día, - es posible considerar lo que ocurre cuando se le suministra un alimento como por ejemplo, yuca. Este vegetal proporciona 1.2g de proteína y 338 Kcal (1.41MJ) de energía por cada 100g consumidos. Cuando los requerimientos de energía han sido satisfechos totalmente, mediante la ingestión de - cereal, la ingestión de proteína llega apenas a 5.25g. En tales condicio-- nes, no es de esperarse que el niño consuma suficiente alimento para satisfacer sus requerimientos de proteína, independientemente de la calidad de - ésta.

La concentración de proteína en los alimentos se obtiene al multiplicar el contenido de nitrógeno por 6.25, ya que la gran mayoría de proteínas contienen 16% de nitrógeno. El valor así obtenido es designado como "proteína cruda" e incluye no sólo el nitrógeno de las proteínas -es decir, de los aminoácidos- sino además, una cantidad variable, generalmente pequeña, de otras fuentes de nitrógeno. El contenido real de proteínas en los alimentos es prácticamente desconocido, de tal forma que las estimaciones de los requerimientos de proteínas están basados en un balance global de nitrógeno, hecho con base en el consumo y excreción de éste (más adelante explicaremos cómo se efectúa dicho balance).

El contenido de aminoácidos en los alimentos no es necesariamente absorbido en su totalidad por el organismo. La disponibilidad disminuye cuando la digestión o la absorción no es completa. Generalmente, 90% de los aminoácidos de proteínas animales son absorbidos, pero este valor puede llegar hasta 80% y en ocasiones menos para los aminoácidos de algunas proteínas de origen vegetal.

La disponibilidad de aminoácidos en las proteínas de los alimentos puede disminuir como resultado del proceso de calentamiento excesivo, como ocurre en la producción de leche en polvo, harina de carne, concentrados proteicos de pescado, etc., y se ha visto que afecta primordialmente a la lisina y a los aminoácidos que contienen azufre. Con todo, la cocción doméstica y el enlatado comercial producen pérdidas prácticamente despreciables.

Por último, por medio de pruebas biológicas se ha determinado la impor

tancia de un adecuado balance de aminoácidos. Se ha encontrado que el exceso de un aminoácido esencial hace aumentar en forma notable el requerimiento de otro aminoácido esencial: por ejemplo, el sorgo y el maíz tienen un alto contenido de leucina y esto hace que los requerimientos de triptófano e isoleucina aumenten en individuos cuya dieta está basada en dichos cereales.

La calidad de una proteína puede ser estimada a partir de su contenido de aminoácidos, comparada con un patrón de referencia (como el de la tabla 4.3) Las investigaciones parecen demostrar que para que pueda efectuarse la síntesis de una proteína, todos los aminoácidos contenidos en ésta deben encontrarse en las cantidades adecuadas en el sitio donde se realizará dicha síntesis. La deficiencia de cierto aminoácido limitará la síntesis de la proteína en una proporción igual al porcentaje de aminoácido faltante. Esto es, si pudiese conocerse la composición de una "proteína ideal" (una que contenga todos los aminoácidos esenciales en suficiente cantidad para satisfacer los requerimientos, sin excesos), sería posible medir fácilmente la calidad nutritiva de cualquier otra proteína, calculando el déficit de cada aminoácido esencial comparado con el contenido en la "proteína ideal". El aminoácido limitante (es decir aquel cuyo déficit sea el mayor comparado con la proteína ideal) determinará el valor nutritivo total de la proteína. En la práctica, Block y Mitchell (128) sugirieron a la proteína del --huevo como ideal, ya que tiene un valor biológico muy próximo a 100, (muy parecido a los valores de la tabla 4.3 ). Usando la proteína de huevo como estándar, calcularon los déficits de aminoácidos de una gran cantidad de alimentos y los compararon con sus respectivos valores biológicos. La eleva

da correlación encontrada, hace suponer que el procedimiento es válido.

TABLA 4.3

Aminoácido	niveles recomendados	
	mg por mg de proteína	mg por g de nitrógeno
Isoleucina	40	250
Leucina	70	440
Lisina	55	340
Metionina + Cistina	35	220
Fenilalanina + Tirosina	60	380
Treonina	40	250
Triptófano	10	60
Valina	50	310
Total	360	2250

Adoptando como estándar los valores de la tabla 4.3 la clasificación de lo adecuado o inadecuado de una proteína o una mezcla de ellas en la nutrición -según su contenido de aminoácidos- se calcula por el siguiente cociente:

$$\text{calidad} = \frac{\text{mg de aminoácido en lg de proteína de prueba}}{\text{mg de aminoácido en el patrón de referencia}} \times 100$$

Esto nos permite visualizar, ahora más claramente, por qué las proteí-

nas de origen vegetal son inferiores a los de origen animal; además, la importancia que tiene ingerir una dieta balanceada, aún cuando sea única mente de productos vegetales, ya que es precisamente lo monótono de la - alimentación lo que origina en gran parte el problema nutricional.

De lo anterior, podemos inferir que las necesidades proteínicas de un individuo dependen: a) de la magnitud de sus pérdidas obligatorias de nitrógeno (úrea y creatina, ácido úrico y amonio urinarios, parte de las enzimas digestivas no reabsorbidas y que se pierden con las heces, y proteínas tegumentarias del pelo, de las uñas y de las células que se descaman); b) de las proteínas necesarias en situaciones especiales (crecimiento, embarazo y lactancia); c) de las pérdidas originadas por situaciones de --- "stress".

Existen dos métodos para encarar el problema de las necesidades proteínicas: 1) el método factorial, basado en las estimaciones de las pérdidas obligatorias de nitrógeno; 2) el llamado del balance de nitrógeno, basado en mediciones de la cantidad mínima de nitrógeno que es necesario ingerir para mantener un equilibrio de nitrógeno en los adultos o de crecimiento adecuado en los niños. Este segundo método es relativamente novedoso y hasta ahora no ha sido aplicado en México. Todos los informes sobre requerimientos y recomendaciones de proteínas para la población mexicana han sido calculados por el método factorial. Por ello es el que aquí presentamos brevemente.\*

---

\* Una presentación del segundo método se encuentra detallada en el reporte conjunto de expertos en necesidades de proteínas de la FAO/OMS de 1973. (128)

El método factorial propone analizar las necesidades de nitrógeno según la siguiente ecuación:

$$\text{Necesidades de nitrógeno} = 1.1 (\text{Nu} + \text{Nf} + \text{Nt} + \text{Nc}) + \text{Ne} + \text{Nl} \times \text{Fc}$$

donde, Necesidades de proteínas = necesidades de nitrógeno  $\times$  6.25, y

Nu= nitrógeno urinario

Nf= nitrógeno fecal

Nt= nitrógeno tegumentario

Nc= nitrógeno (proteínas) necesario para el crecimiento

Ne= nitrógeno (proteínas) necesario para el embarazo

Nl= nitrógeno (proteínas) necesario en la lactancia

Fc= factor de corrección por la calidad de la proteína de la dieta

1) Los tres primeros factores (Nu, Nf y Nt) corresponden a las pérdidas obligatorias de nitrógeno. Se llaman así, porque existen aun cuando no se ingieran proteínas. Si, por el contrario, la ingestión es elevada y superior a las necesidades, el exceso se excreta, sobre todo en la orina.

Para conocer las pérdidas mínimas de nitrógeno, se han realizado experimentos con individuos sanos alimentados con una dieta sin proteínas. Los resultados señalan, a grandes rasgos lo siguiente:

a) Nitrógeno urinario mínimo o basal: depende en gran medida del metabolismo basal (MB) del individuo, excretándose en promedio alrededor de 2 mg de nitrógeno por cada Kcal de MB. Así, un adulto cuyo MB sea de 1700 kcal tendrá una excreción diaria de alrededor de 3400 mg de nitrógeno.



b) Nitrógeno fecal basal: es sumamente variable de individuo a individuo y de día a día, pero por lo general nunca pasa de 600 mg diarios de nitrógeno.

c) Nitrógeno tegumentario: no ha sido debidamente cuantificado. El estudio de Sirbu y colaboradores (23) es quizás uno de los más completos en cuanto a las pérdidas tegumentarias de nitrógeno en sujetos normales en una unidad metabólica y sin sudoración aparente.

En cuanto a las pérdidas de nitrógeno en el sudor, parece existir una gran variabilidad determinada no sólo por los volúmenes de sudor sino -- también por las concentraciones de las sustancias azoadas. Los estudios las sitúan entre 0.7 y 1.0 mg de nitrógeno por ml de sudor.

Bourges y colaboradores (23) en un grupo de individuos normales que realizan ejercicio intenso (caminata a 6.4 Km/h y 10% de pendiente en una banda sinfin durante 60 minutos), encontraron pérdidas hasta de 467 mg de nitrógeno en el sudor de una hora, cifra que extrapolada a 4 horas por ejemplo, equivale a 1868 mg de nitrógeno en individuos cuya ingestión apenas llegaba a 2.5 ó 3 veces esa cantidad. En estos experimentos, 50% del nitrógeno fue ureico y el restante 50% pudo haber sido en gran parte aminoácido. Si se considera que en climas tropicales los trabajadores manuales pueden producir varios litros de sudor, las pérdidas de aminoácidos -- por esta vía son cuantiosas.

Recientemente, se determinaron las pérdidas obligatorias de nitrógeno en heces y orina en 100 jóvenes y encontraron una excreción urinaria de ---

$1.7 \pm 0.3$  mg/Kcal basal ó  $37.1 \pm 5.1$  mg/Kg de peso corporal y una excreción fecal de  $0.4 \pm 0.1$  mg/Kcal basal u  $8.8 \pm 2.3$  mg/Kg de peso corporal. (23)

2) Nitrógeno para crecimiento: en promedio, por cada Kg de peso hay 180g de proteína. Este dato permite calcular, para cada edad, las necesidades de nitrógeno para crecimiento.

3) Nitrógeno para "stress": es bien sabido que las agresiones ambientales son capaces de alterar el balance de nitrógeno. Considerando que -- aún la vida diaria esta llena de estímulos agresivos --de índole física pero sobre todo psicológica-- el Comité FAO/OMS consideró necesario establecer un margen de seguridad por este concepto, en sus recomendaciones. A falta de datos precisos, se llegó al acuerdo de elevar las recomendaciones en un 10%.

4) Nitrógeno para embarazo y lactancia: estas dos situaciones agregan un factor de necesidades nutricionales en la mujer. Se considera que -- en los nueve meses de embarazo se depositan 900g de proteína (aunque, obviamente, las necesidades no son homogéneas a través de este período). Se ha aceptado que se deben de agregar diariamente 3.3g de proteína (528 mg de nitrógeno) a las necesidades normales. Durante la lactancia (para la -- producción óptima de 850 a 900 ml. de leche) se consideró necesario elevar las recomendaciones diarias de proteína en la mujer en por lo menos 15g -- (2400 mg de nitrógeno).

5) Factor de corrección por la calidad proteínica: todos los factores

anteriores permiten calcular las necesidades mínimas de utilización de proteínas. Pero en la práctica, en ninguna dieta hay una utilización total de la proteína ingerida: esto debe tomarse en consideración al formular las recomendaciones, introduciendo un factor de corrección.

El parámetro más conveniente para medir la calidad de la proteína, el UPN, que es la proporción del nitrógeno retenido por el organismo en relación con el asimilado después de la digestión y absorción gastrointestinal.

El factor de corrección sugerido por el Comité de Expertos FAO/OMS es el siguiente:

$$\frac{100}{\text{UPN de la dieta}}$$

Por otro lado, las necesidades proteínicas de los diferentes individuos de una población homogénea no son iguales, pero se distribuyen en forma normal (de acuerdo con una campana de Gauss). Las recomendaciones deben ser superiores al promedio, más dos desviaciones estándar, para que al menos el 98% de la población quede cubierta.

El Comité FAO/OMS utilizó los datos disponibles y, siguiendo el esquema factorial propuesto concluyó que en la población adulta, con una dieta cuyo UPN sea del 100%, el promedio de las necesidades es de 0.59g de proteína/Kg de peso; sumadas dos desviaciones estándar es de 0.71g de proteína/Kg de peso.

Utilizando la metodología y recomendaciones de la FAO/OMS, el Institu

to Nacional de la Nutrición formuló las recomendaciones para la población mexicana. La corrección más importante que fue necesaria hacer es la surgida del tipo de dieta que se consume en nuestro país. Esto no fue sencillo puesto que -como vimos, en el capítulo anterior- México es un país heterogéneo en muchos aspectos, entre los que se incluye el dietético. La mayoría de la población rural consume una dieta pobre, monótona e insuficiente, compuesta de maíz, frijol y chile, con la presencia eventual de productos de origen animal; para esta dieta se ha estimado un UPN de 40 a 45%. Por otro lado, la mayoría de la población urbana recibe una dieta más variada, de mayor calidad, que eleva el UPN hasta un valor estimado entre 65 y 70%. A fin de no caer en la complicación de -- dar recomendaciones separadas para los dos tipos de población, se tomó el punto medio de un UPN de 55%, que da un factor de corrección de  $\frac{100}{55} = 1.8$ . De esta forma, la cifra índice de 0.71g/Kg de peso queda convertida en -- 1.28g de proteína por Kg de peso, aplicable a los adultos.

Niños lactantes (0-4 meses). Se aceptó la cifra 2.3g de proteína de leche por Kg de peso. Debe corregirse cuando el alimento no sea leche.

Lactantes (5-11 meses). En la mayoría de las recomendaciones se dan cifras menores a las aquí presentadas, debido a que las necesidades de proteína por Kg de peso disminuyen en esta edad. Sin embargo, en México --so-- bre todo en el área rural- el destete se realiza de una manera incorrecta; se usan alimentos de baja calidad proteínica como son los cereales diluidos (atoles y similares) y en cantidad insuficiente. Este esquema no sólo obedece al bajo poder adquisitivo de la población, sino, en gran parte, a prejuicios y hábitos dietéticos. Se decidió que lo más seguro es suponer que esta situación es general y, por tanto se recomiendan 2.5g de proteína, parte de leche y parte de suplementos para este grupo de edad.

No puede excluirse el tema de la lactancia prolongada de las recomendaciones para un país como el nuestro. En primer término, debe quedar claro que la desnutrición comienza a menudo durante el primer año de vida, aunque por su evolución lenta no se expresa plenamente sino en la etapa preescolar. El factor más importante que determina lo anterior es la producción subnormal de leche materna. Por ello, si bien la lactancia garantiza la presencia de un buen alimento, su volumen insuficiente y en ocasiones con bajas proporciones de algún compuesto esencial, es causa de desnutrición.

Niños de 12 a 23 meses. Con base en las consideraciones para el grupo anterior y en la alta frecuencia de enfermedades infecciosas durante el segundo año de vida, se asignó una cifra igual, de 2.5g de proteína por Kg de peso.

Niños de 2 a 3 años. Las recomendaciones de la FAO/OMS aconsejan 24g para un niño de 14 Kg que es el peso promedio de este grupo. Esta cifra es insuficiente, dado el tipo de proteína de la dieta del preescolar en México; por ello se asignó la cantidad resultante de corregir la recomendación del comité internacional con el UPN de la dieta que consumen estos niños: esto eleva el valor a un mínimo de 32g. Se está considerando elevar esta recomendación mínima, en vista de la morbilidad producida en esta edad por las enfermedades infecciosas. Para un niño preescolar es casi imposible consumir la cantidad de cereales que aporten cifras mayores a la recomendada -- (460g de maíz, por ejemplo); por ello, las cifras recomendadas llevan implícita la necesidad de usar parcialmente algunos alimentos de mayor concentración y calidad proteínica que los cereales, como leche, huevos y leguminosas.

Niños de 4 a 6 y de 7 a 10 años. Se recomiendan, respectivamente, 40 y 52g

diarios de proteína de buena calidad.

Mujeres embarazadas y en lactancia. Respectivamente deben agregarse 10 y 30g a las recomendaciones de la mujer. Estas dos cifras son mayores que las de la FAO/OMS, porque aquí también es preciso considerar la baja calidad de la dieta consumida y el habitual deterioro que la secuencia ininterrumpida de embarazo-lactancia-embarazo, etc., deja en la mujer.

Para los otros grupos, las recomendaciones se obtienen por proporcionalidad. En los adultos basta multiplicar el peso teórico por 1.28 - gramos.

La tabla 4.4 resume las recomendaciones anteriores.

Terminaremos este capítulo presentando la clasificación de las proteínas y esbosando brevemente cómo se efectúa la síntesis de proteínas en el organismo.

### Clasificación

Seleccionar un sólo criterio para la clasificación de las proteínas resulta imposible, debido a su gran número y complejidad. Obviamente, la composición química no puede emplearse como un criterio para clasificarlas, como sucede en la gran mayoría de compuestos químicos. Hasta la fecha la clasificación se ha basado, -en forma arbitraria- en su solubilidad en diferentes reactivos, la coagulación con el calor, las reacciones de precipitación y los productos obtenidos de la hidrólisis de las proteínas.

Existen tres clases generales de proteínas: simples, conjugadas y derivadas.

TABLA 4.4

EDADES (meses y años cumplidos)	PESO TEORICO (Kg) *	ENERGIA (Kcal)	PROTEINAS (g)
Niños ambos sexos			
0-3 meses		120/Kg	2.3/Kg
4-11 meses		1100/Kg	2.5/Kg
12-23 meses	10.6	1000	27
2-3 años	13.9	1250	32
4-6 años	18.2	1500	40
7-10 años	26.2	2000	52
Adolescentes masculinos			
11-13 años	39.3	2500	60
14-18 años	57.8	3000	75
Adolescentes femeninos			
11-18 años	53.3	2300	67
Hombres			
18-34 años	65.0	2750	83
35-54 años	65.0	2500	83
55 y más	65.0	2250	83
Mujeres			
18-34 años	55.0	2000	71
35-54 años	55.0	1850	71
55 y más	55.0	1700	71
Embarazadas		+ 200	+10
En lactancia		+1000	+30

\* pesos promedio para la edad central del período

Fuente: Recomendaciones de Nutrientos para la población mexicana (23)

1. Proteínas simples. Al hidrolizarse únicamente dan como productos aminoácidos. Se subdividen en los siguientes grupos:

a) albúminas: proteínas solubles en agua y en soluciones salinas diluidas, precipitan por saturación con sulfato de amonio (ejemplos: la albúmina de huevo y del suero sanguíneo, la lactoalbúmina, etcétera).

b) globulinas: insolubles en agua, solubles en soluciones salinas diluidas, coagulan con calor y precipitan a media saturación con sulfato de amonio -- (ejemplo: globulina de huevo y globulinas del suero sanguíneo, incluyendo a la gama globulina).

c) glutelinas: insolubles en agua o soluciones salinas diluidas, solubles en soluciones ácidas o básicas diluidas (ejemplos: la glutenina del trigo y la onizenina del arroz).

d) prolaminas: insolubles en agua o soluciones salinas diluidas, solubles en soluciones de alcohol de 70-80% (ejemplos: la ceina del maíz y la gliadina del trigo).

e) histonas: solubles en agua, ácidos o bases diluidas, insolubles en hidróxido de amonio diluido; coagulan con calor; tienen propiedades básicas debido al elevado porcentaje de aminoácidos que las constituyen; generalmente se presentan combinadas con los ácidos nucleicos o con la hematina (ejemplo: la globina de la hemoglobina)

f) protaminas: solubles en agua e hidróxido de amonio diluido, no coagulan con calor, pero pueden ser precipitadas con alcohol de su solución en ácido sulfúrico; también precipitan con cloruro de sodio o sulfato de amonio; son las proteínas naturales más sencillas que se conocen con un reducido número de aminoácidos y sus reacciones son fuertemente básicas; se encuentran únicamente en combinación con los ácidos nucleicos (ejemplos: la salmina, estu

rina, etc. -proteínas del espermatozoide de los peces).

g) albuminoides (escleroproteínas): insolubles en cualquiera de los reactivos mencionados anteriormente; tienen un elevado contenido de azufre; y se encuentran únicamente en los tejidos animales y actúan como material estructural, de soporte o material de protección (ejemplos: la queratina de los cuernos, plumas, pezuñas, pelo, uñas etc., la elastina y la condrina de los ligamentos; el colágeno de los tendones y cartílagos).

2. Proteínas conjugadas. Contienen una proteína simple en combinación con un grupo no proteínico (prostético o protésico). Este grupo no proteínico puede ser un pigmento, un carbohidrato, un lípido; etcétera. Los subgrupos en que se dividen estas proteínas son:

a) nucleoproteínas: están formadas por la combinación de proteínas simples (histonas y protaminas) combinadas con un ácido nucleico. Estos compuestos se encuentran en todas las células vivas (vegetales, animales, microorganismos); son uno de los constituyentes más importantes del núcleo celular -de ahí su nombre- pero también han sido identificadas en el citoplasma (aparentemente, forman en su totalidad a los virus). El interés primordial por este grupo se debe a su participación en los fenómenos de reproducción celular y transmisión de las características hereditarias, así como en la síntesis de las otras proteínas celulares.

b) glucoproteínas: el grupo prostético es un carbohidrato, generalmente polisacáridos, que puede constituir hasta 35% del compuesto, dando lugar a una proteína con un bajo contenido de nitrógeno (ejemplos: las proteínas de la saliva, el humor vítreo del ojo, la gelatina de pescado). Estas sus

tancias son viscosas y por tanto sirven como lubricantes y agentes preventivos, como la mucosa que recubre al estómago e intestinos, impidiendo la autodigestión de las vísceras.

c) fosfoproteínas: en estas proteínas el grupo protésico lo constituye el ácido fosfórico (ejemplos: la caseína de la leche y la vitelina -membrana protectora que se forma alrededor del óvulo fecundado para impedir la entrada posterior de espermatozoides).

d) cromoproteínas: un pigmento constituye el grupo protésico; se les conoce también como metaloproteínas pues la proteína simple se combina con gran facilidad con metales como el hierro, magnesio, cinc, cobre, cobalto, etcétera y adquieren una coloración característica (ejemplos: muchos compuestos biológicos de gran importancia: tanto la ferroporfina -- (hem) como la ferriporfirina (hemina) que se combinan con la proteína simple, globina, para formar la hemoglobina y la metahemoglobina, respectivamente; la mioglobina, los citocromos -llamados también transeletronasas por su propiedad de traspasar electrones al reducir y oxidar alternativamente su hierro- enzimas tan importantes como las catalasas y peroxidasas; las flavoproteínas -enzimas que contienen derivados de la riboflavina).

e) lipoproteínas: todos los lípidos, pero predominantemente los fosfolípidos, las cefalinas, y los esterios del colesterol forman con las proteínas simples las lipoproteínas; están estrechamente ligadas a fenómenos de transporte de grasas (entran en la formación de sustancias como la tromboplastina del pulmón, y en grandes proporciones forman parte del cerebro y el plasma sanguíneo).

3. Proteínas derivadas. Todas las sustancias obtenidas durante el curso

de los procesos de degradación de las proteínas, sean simples o conjugadas, se engloban en la denominación de proteínas derivadas. Son entidades de dudosa individualidad.

La subdivisión que de ellas se hace tiene poco fundamento físico-químico, y en todo caso refleja el tamaño de los productos obtenidos ya sea por una hidrólisis parcial o por un rearrreglo molecular irreversible de los aminoácidos originales (desnaturalización):

- a) Proteínas derivadas primarias o desnaturalizadas: son producidas como resultado de la acción del calor, del empleo de alcohol, ácidos, bases o algún otro agente químico, agitación violenta, etcétera, en estos casos hay un rearrreglo molecular que origina una proteína con diferentes propiedades de la original (ejemplo: las proteínas coaguladas obtenidas a partir de diferentes proteínas naturales, como la albúmina de huevo, al ser tratada con los agentes arriba mencionados).
- b) Proteínas derivadas secundarias o péptidos: a medida que la hidrólisis de una proteína avanza, la gran y compleja molécula se divide en moléculas más pequeñas de diferente tamaño, que se siguen dividiendo hasta convertirse en péptidos que pueden contener hasta dos aminoácidos únicamente; los grupos resultantes de la hidrólisis de la proteína, en la primera segmentación cuando todavía quedan moléculas grandes, se llaman proteosas (moléculas más grandes) y peptonas (fragmentos más pequeños); se caracterizan por no ser coagulables por el calor y por precipitar con las sales neutras; en realidad, no son compuestos individuales, sino mezclas de derivados proteicos de diferentes tamaños; tienen poca importancia en el estudio de las proteínas.

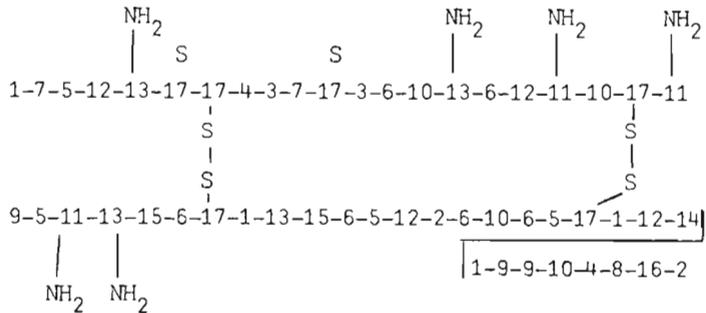
## Síntesis de Proteínas.

Dado el suministro adecuado de aminoácidos, hemos visto que la célula, los va ensamblando en los ribosomas y forma un polipéptido que va aumentando el tamaño hasta constituirse en una proteína, Una célula sintetiza en ocasiones decenas e inclusive centenas de diferentes proteínas.

La primera pregunta que surge es: ¿En qué forma sintetiza la célula la estructura exacta que requiere, de entre la inmensidad de alternativas, esta dísticamente con la misma probabilidad? Si simplemente un par de aminoácidos que intercambien su posición en la cadena del polipéptido determina la formación de un compuesto totalmente diferente de la proteína deseada, ¿cómo la célula "conoce" la secuencia exacta y precisa que deben tener los --cientos o miles de aminoácidos integrantes de la proteína que va a sintetizar? Para ejemplificar esta cuestión analicemos la síntesis de una de las proteínas más sencillas conocidas, cuya estructura y secuencia de aminoácidos ha sido totalmente determinada: la insulina. Esta hormona es sintetizada por el páncreas en las células específicas llamadas islotes de Langerhans y tiene la función de controlar los niveles de azúcar en la sangre.

La insulina, a pesar de ser una de las proteínas más pequeñas, no deja de tener una fórmula muy compleja. Una molécula de insulina consta de 777 átomos, de los cuales 254 son de carbono, 377 de hidrógeno, 65 de nitrógeno, 75 de oxígeno y 6 de azufre. Forman 2 cadenas de polipéptidos, una de 30 aminoácidos y la otra de 21, unidas entre sí por átomos de azufre. En total, en una molécula de insulina se distinguen 17 aminoácidos diferentes. Una mo

lécua de insulina humana tiene la siguiente estructura:



- |             |                     |               |
|-------------|---------------------|---------------|
| 1. Glicina  | 7. Isoleucina       | 13. Glutamina |
| 2. Alanina  | 8. Prolina          | 14. Arginina  |
| 3. Serina   | 9. Fenilalanina     | 15. Histidina |
| 4. Treonina | 10. Tirosina        | 16. Lisina    |
| 5. Valina   | 11. Asparagina      | 17. Cistina   |
| 6. Leucina  | 12. Acido Glutámico |               |

La molécula de insulina está formada por dos cadenas llamadas cadena 'A' y cadena 'B', con pesos moleculares de 2400 y 3600, respectivamente. La cadena 'B' se encuentra representada en la figura 9. Se puede ver que no existe ninguna regularidad en su estructura y que el menor cambio origina otro producto. De hecho, la insulina de diferentes animales difiere unicamente en la posición de algunos aminoácidos; la insulina de res tiene en la posición 9 y 10 de la cadena 'A' colocados serina y valina respectivamente, mientras que la insulina de caballo tiene en estas mismas posiciones glicina e isoleucina, en contraste con serina e isoleucina que tiene la insulina del -

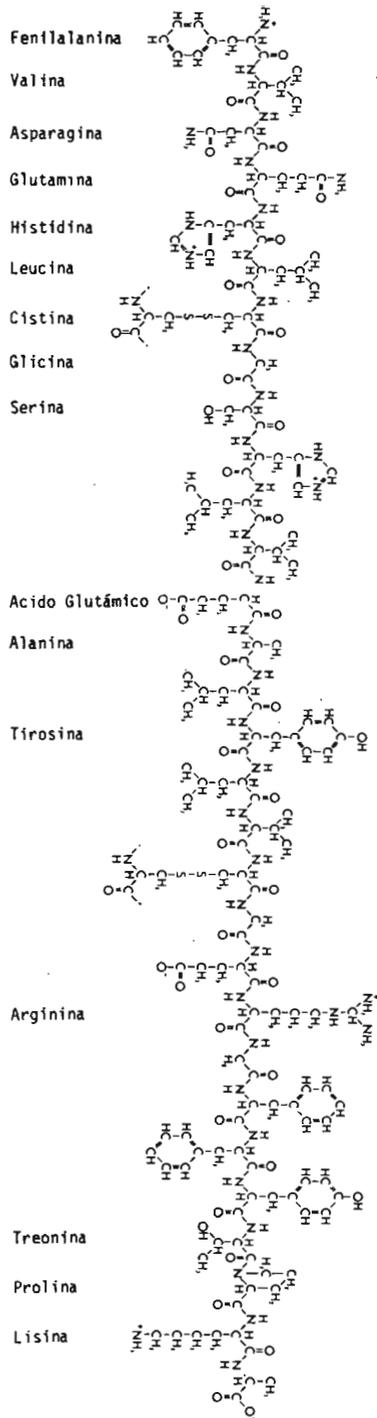


Fig. 9

hombre.

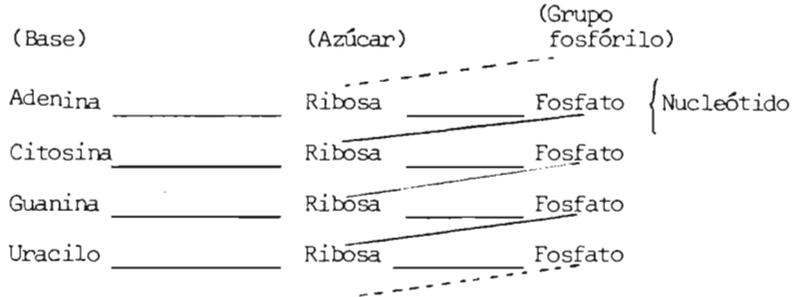
Cuando los islotes de Langerhans están sintetizando esta cadena rechazan el inmenso número de posibilidades de sintetizar otras estructuras que tengan exactamente la misma proporción de los 16 aminoácidos diferentes que forman la cadena 'B'. De hecho, existen  $6 \times 10^{59}$  posibles arreglos que se obtendrían únicamente variando la secuencia de aminoácidos, pero - sólo un arreglo es insulina.

Las "instrucciones" para la secuencia particular que debe de tener - cada proteína residen en los ácidos nucleicos.

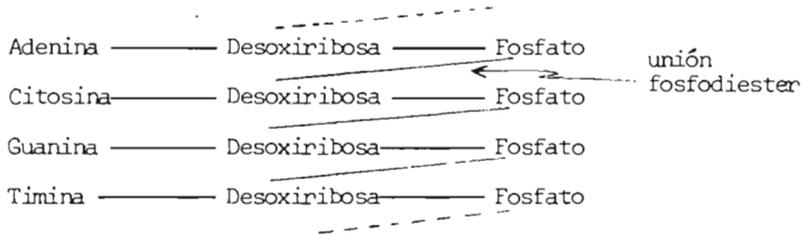
Los ácidos nucleicos son moléculas gigantes distribuidas en todas las células vivas. Están formados por una concatenación de unidades más simples -o nucleótidos- cada uno de los cuales contiene una base púrica o pirimidinica, un azúcar de cinco átomos de carbono (pentosa) y un grupo fosforilo. La pentosa puede ser, según el caso, ribosa dando lugar a los ácidos ribonucleicos (ARN), o puede ser una desoxiribosa formando entonces los ácidos desoxiribonucleicos (ADN). La distinción que se hace entre los ácidos ribonucleicos y los desoxiribonucleicos se basa en la naturaleza de la pentosa que entra en su constitución, pero también toma en cuenta la naturaleza de las bases que lo forman. Los ADN contienen las cuatro bases siguientes: adenina, guanina, citosina y timina. Por su parte los ARN contienen las tres primeras y en lugar de la timina entra el uracilo.

Según esta definición, un ARN es una macromolécula en cuyo interior se

ría posible aislar una cadena como la que se presenta a continuación:



Del mismo modo se podría aislar, a partir de un ADN, una cadena con la siguiente estructura:



Las bases púricas se derivan de un núcleo común (la purina) y son: adenina (A) y guanina (G). Las pirimidínicas se derivan del mismo núcleo; la pirimidina, y son: citosina (C), timina (T) y uracilo (U). Su unión con una pentosa constituye un ósido, llamada en este caso nucleósido.

El producto obtenido de la esterificación de un nucleósido por el ácido fosfórico constituye un nucleótido.

Regresando al problema de la secuencia de los aminoácidos en una proteína, actualmente se sabe que es la secuencia de bases en el ADN la que deter--

mina el orden de los aminoácidos. Una terna (secuencia de tres bases) constituye un "código" que especifica a un aminoácido en particular. Con las cuatro bases se pueden formar 64 diferentes ternas según la secuencia en que se encuentren, de tal modo que tenemos un número igual de posibles códigos.

Así pues, "las cuatro letras del idioma del DNA, nos proveen del vocabulario" suficiente para designar todos los aminoácidos; de hecho, algunos aminoácidos han sido identificados con más de un código.

El ADN solo no dirige la construcción de la proteína directamente. Su mensaje es primeramente transcrito a una molécula denominada ácido ribonucleico mensajero (mARN).

El mARN contiene uracilo (U) en lugar de la timina (T) del ADN. La molécula de RNA se forma a partir de la ADN por un proceso de acoplamiento basado en el hecho que U se acopla a A y G se acopla a C. Así, durante la -- transcripción de ADN en ARN las cuatro bases A,G,T y C del ADN dan lugar respectivamente a U, C, A y G en el ARN.

Este mensaje en código es leído del mARN y traducido en la construcción de una molécula de proteína. Este proceso se lleva a cabo en los ribosomas y requiere de la asistencia de unas moléculas más pequeñas de ARN llamado - ácido ribonucleico de transferencia (tARN), que es el encargado de llevar a los aminoácidos al sitio indicado. Cada tARN es específico a un aminoácido particular, al que se une con la ayuda de una enzima. Este tARN posee un -

"anti-código" que corresponde al código particular de la molécula de mRNA. El ribosoma se desplaza a lo largo de la molécula de mRNA, descifrando sucesivamente cada código: de esta forma controla la correcta colocación de los aminoácidos apropiados a según que son suministrados a la célula. A medida que los aminoácidos van llegando, se unen a la cadena peptídica por medio de enzimas, hasta completar la síntesis de la proteína.

Los trabajos que llevaron a descifrar el código genético fueron iniciados en 1961 por Marshall W. Nirenberg y J. H. Matthaei, quienes sintetizaron una forma simplificada de mRNA, formado por sólo un tipo de nucleótido y encontraron que era capaz de dirigir la síntesis de una cadena similar a una proteína formada por un solo tipo de aminoácido. Su mRNA artificial era el polinucleótido "poli-U" que contenía únicamente urácilo como base. Al ser agregado a una mezcla de aminoácidos extraídos de las células de una bacteria (*Escherichia coli*) donde había sustancias suministradoras de energía, originó la síntesis de un polipéptido compuesto sólo de fenilalanina. Así se encontró que el código poli-U (UUU) era específico a la fenilalanina.

A la fecha se ha logrado establecer el código general para la incorporación de todos los aminoácidos. Algunos de ellos son:

Alanina	CUG	Isoleucina	UAA, AAU
Arginina	GUC	Leucina	UAU, UUC
Asparagina	UAA, CUA	Lisina	AUA

Acido aspártico	GUA	Metionina	UGA
Cistina	GUU	Prolina	CUC
Fenilalanina	UUU	Serina	CUU
Glicina	GUG	Tirosina	AUU
Acido Glutámico	AUG	Treonina	UCA
Glutamina	AGG, ACC	Triptófano	UGG
Histidina	AUC	Valina	UUG

Por último, debemos explicar como está plegado el polipéptido en el espacio ocupado por la molécula de proteína. Determinar la estructura espacial es un trabajo muy arduo. Pero, por medio de técnicas cristalográficas sofisticadas -principalmente difracción de rayos X- se ha logrado determinar tres estructuras en las cuales se pueden agrupar casi la totalidad de las proteínas conocidas, ya sea en una estructura o en la combinación de dos de ellas. Estas son:

1. Hélice alfa: le da a la cadena polipeptídica una estructura lineal, como lo muestra la fig. 10 en perspectiva tridimensional. Los átomos de la unidad (CONHC) que se repite periódicamente, se encuentra en un solo plano; en cambio de ángulo entre una unidad y la siguiente ocurre en el átomo de carbono que tiene unido el grupo 'R'. La hélice se mantiene rígida por medio de puentes de hidrógeno (líneas rectas discontinuas) que se establecen entre el hidrógeno unido al nitrógeno de un grupo y el oxígeno unido al átomo de carbono tres grupos más adelante. La línea curva discontinua indica las vueltas que da la helice.

2. Configuración beta: aparece en la figura 11. Dos o más cadenas de polipeptidos se unen formando estructuras cristalinas. Aquí los puentes de

hidrógeno no contribuyen a la organización interna de la cadena, como en el caso de la hélice alfa sino que unen los átomos de hidrógeno de una cadena a los átomos de oxígeno de la otra. La configuración beta se encuentra asociada a las proteínas de varias fibras y se cree que en los músculos y en otras estructuras contráctiles del organismo hay una transición reversible de la configuración alfa a la beta, cuando éstos se encuentran en acción.

3. Cadena al azar: configuración que toma el polipéptido cuando la molécula se encuentra en solución, en la cual no se han formado puentes de hidrógeno. La configuración plana de las unidades repetitivas (CCONHC) se conserva, pero la cadena gira alrededor del átomo de carbono al que están unidos los grupos R. Esta configuración se obtiene a partir de una hélice alfa cuando los puentes de hidrógeno se rompen por entrar en solución. Una cadena polipeptídica es capaz de cambiar reversiblemente de una hélice alfa a estructura al azar, dependiendo del balance ácido-base de la solución en que se encuentre. (fig. 12)

#### GLOSARIO

1. Balance de nitrógeno= nivel en que no hay pérdida ni ganancia en el total de nitrógeno del organismo.
2. REP: Relación de eficiencia de la proteína= ganancia, en peso corporal - dividido entre el peso de la proteína consumida.
3. VB: Valor biológico= cociente de la cantidad de nitrógeno fijado en los tejidos entre el total de nitrógeno que atravesó la pared estomacal.

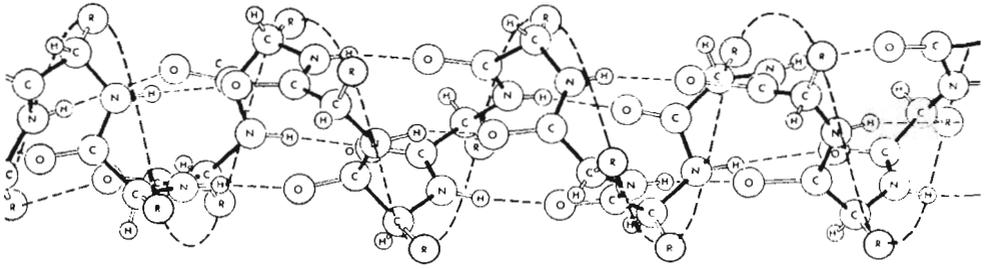


Fig. 10. Hélice Alfa

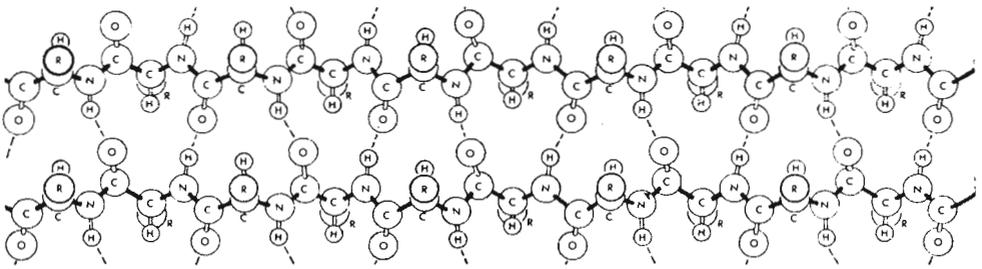


Fig. 11. Configuración Beta

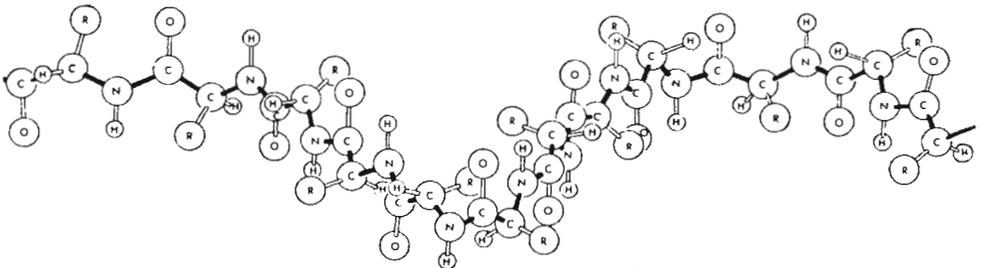


Fig. 12. Cadena al Azar

4. UPN: Utilización protéica neta= cociente del nitrógeno fijado por el organismo, entre la cantidad de nitrógeno que pasa al intestino. (Es equivalente al valor biológico corregido por la digestibilidad).

5. Digestibilidad= se define por medio del cociente:

$$D = \frac{I - T}{I} \times 100$$

donde:

I Nitrógeno total ingerido con la dieta en estudio

T Nitrógeno total desechado

(estas relaciones son medidas generalmente sobre ratones en el laboratorio).

6. Proteína cruda= se calcula multiplicando el contenido de nitrógeno analizado, para un alimento, por el factor 6.25 (Algunos alimentos contienen nitrógeno de origen no protéico, y otros difieren en su contenido de nitrógeno del 16% asumido; en tales casos hay que emplear factores diferentes de 6.25).

7. MB: Metabolismo basal= gasto energético por unidad de tiempo en un individuo en condiciones basales. Así medido, el MB representa el gasto de energía teóricamente mínimo para mantener las funciones del organismo. Depende de la masa corporal metabólicamente activa o masa magra y guarda una proporcionalidad directa simple con la superficie corporal. En un adulto, el MB suele ser alrededor de 1000 Kcal/m<sup>2</sup> de superficie corporal, y tomando 1.7m<sup>2</sup> como la superficie promedio del adulto, sería de 1700 Kcal/día. Una expresión práctica -que se puede usar para adultos normales, sin grandes desviaciones en su composición corporal- es:

$$MB = 1 \text{ Kcal/Kg de peso/hora}$$

8. Condiciones basales= aquellas en que se encuentra un individuo sano, en completo reposo físico y mental, inmediatamente después de despertar de un -

período de sueño normal y 14 horas después del último alimento.

9. Kcal: Kilocalorías= la unidad de energía metabólica más empleada, aunque recientemente se ha pensado en que sería más correcto utilizar el kilojulio. Por razones prácticas en nutrición se usa con más frecuencia la palabra caloría en vez de kilocaloría.

Las siguientes relaciones operan:

$$1 \text{ Kcal} = 10^3 \text{ calorías} = 4.184 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ KJ} = 0.239 \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ MJ} = 139 \text{ Kcal}$$

## FERTILIZACION FOLIAR

De todos los factores que contribuyen al aumento de la producción agrícola a corto plazo (pesticidas, semillas mejoradas, mecanización, etc.) los mayores rendimientos y el más alto retorno sobre la inversión provienen del empleo de fertilizantes químicos. Su aplicación a tierras subfertilizadas tiene efectos asombrosos. En una situación típica, la razón del peso de grano adicional producido por unidad de peso de nutrientes aplicados puede ser tan alta como 10 a 1 (119). Visto de otra forma, con una inversión únicamente de este tipo pueden producirse aumentos rápidos en los rendimientos de las cosechas de entre 100 y 200%.

Por estar disponible para la explotación agrícola casi permanentemente durante largos lapsos, la misma superficie su utilización repetida -muchas veces en forma de monocultivos- hace que las reservas de nutrientes disminuyan en forma variable para cada elemento hasta llegar a un grado tal que no pueden disponer las plantas del mínimo necesario para producir una cosecha remunerativa. Por otra parte, la erosión eólica y pluvial, así como la lixiviación, también contribuyen a disminuir las reservas nutrientes del suelo. Esta es la razón por la que deben devolverse al suelo parte de los elementos que se extrajeron en forma de cosechas.

Actualmente, más de 60 millones de toneladas de los llamados nutrientes primarios -nitrógeno, fósforo y potasio- son suministrados a la agricultura por medio de los fertilizantes químicos, independientemente -

de otros nutrientes, consumidos en proporciones menores.

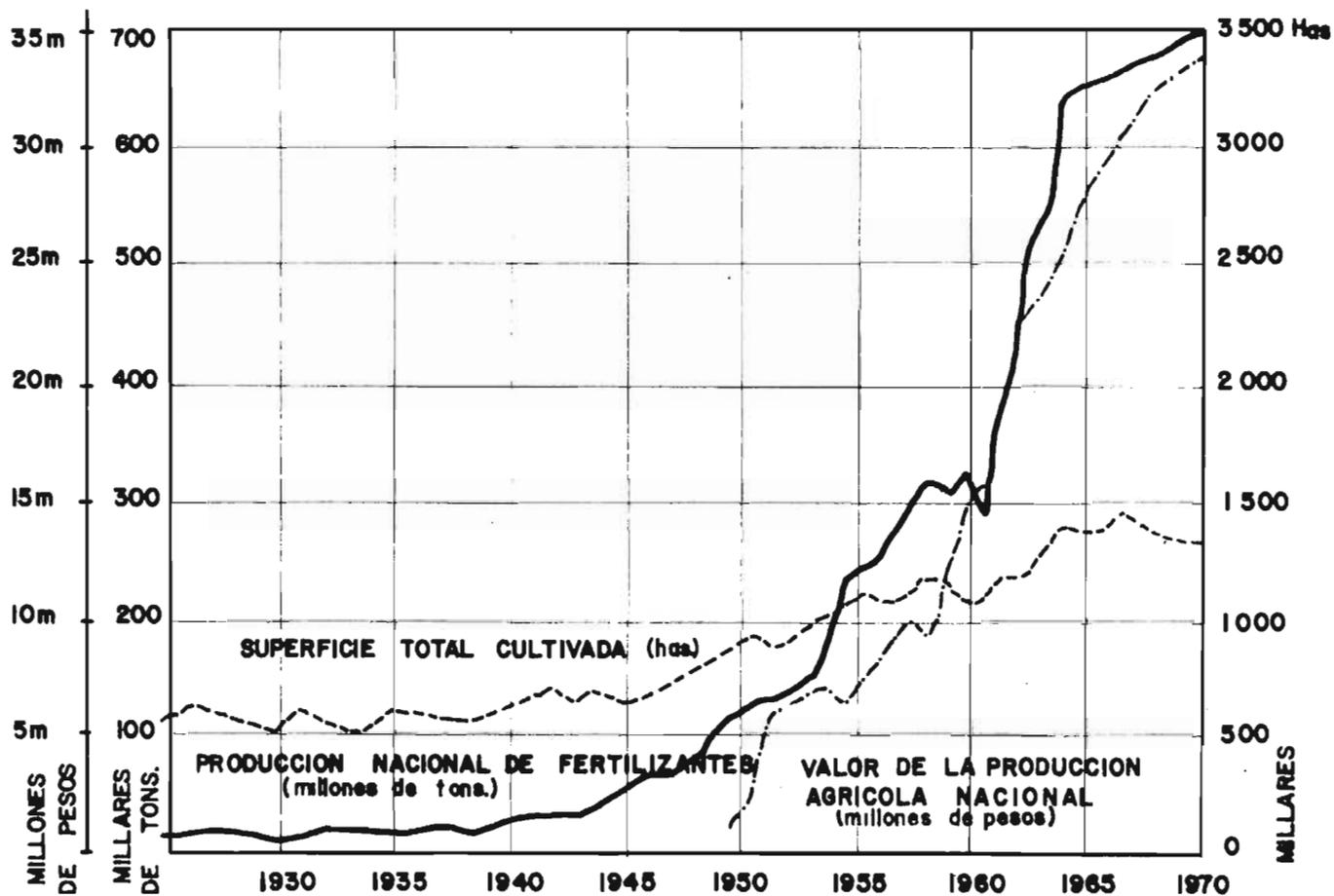
Mediante el análisis del suelo se determina la cantidad de elementos nutrientes que contiene; se establece así el fertilizante o abono adecuado para suplir las deficiencias encontradas. Esta fase es decisiva para la cosecha, pues del acierto con que se seleccione el o los fertilizantes que se aplican y de la forma en que se haga, dependerá que se llegue a recoger una cosecha cuyo rendimiento no sólo sea aceptable, sino óptimo. Aunque el uso de los fertilizantes aumenta considerablemente los costos de cultivo, permite lograr rendimiento en suelos trabajados intensivamente - por muchos años.

La gráfica 13 muestra el efecto que tiene sobre la producción el empleo de fertilizantes. Se observa que la superficie cultivada no ha aumentado en la proporción correspondiente al incremento del valor de la cosecha.

Por su rápido aumento y por el uso cada vez más generalizado que de ellos se hace, los fertilizantes parecen haber sido el factor que más influencia relativa ha tenido en las variaciones del crecimiento de la producción agrícola (mediante sus efectos sobre los rendimientos por hectárea).

Desde 1950 hasta la fecha, el consumo aparente de los nutrientes básicos (N, P y K) se ha incrementado constantemente; y, aunque su ritmo de crecimiento tiende a disminuir, sigue siendo todavía muy acelerado. Entre 1951-1960 el consumo de estos nutrientes creció 27.1% medio anual, pa

Fig. 13 PRODUCCION NACIONAL AGRICOLA Y DE FERTILIZANTES 1925—1970



ra reducirse en la década siguiente a 15.5% en la primera mitad, y a -- 10.9% en la segunda. (Véase tabla 5.1 ). Consideradas las necesidades de los suelos y las características de los cultivos practicados en el país, el consumo aparente de fertilizantes nitrogenados y fosfatados ha significado siempre alrededor de 95% del consumo aparente total.

Para obtener los kilogramos de nutrientes por hectárea, se utilizaron las cifras de superficie fertilizada y su importancia relativa en la superficie total cosechada, como aparecen en la tabla 5.2.

TABLA 5.1

CONCEPTO	1951	Promedio del trienio		
		1959-61	1964-66	1968-70
(miles de toneladas)				
TOTAL	19.8	171.3	351.5	531.4
Nitrógeno	15.3	127.9	251.8	385.0
Fósforo	4.4	36.1	78.8	119.7
Potasio		7.3	20.9	26.7
Kg de nutriente/ha	39.2	95.9	88.4	95.4
Tasas de incremento anual				
	1952-60	1961-65	1966-70	1952-70
TOTAL	27.1	15.5	10.9	20.1
Nitrógeno	26.6	14.5	11.2	19.6
Fosforo	26.3	16.9	11.0	20.1
Potasio	23.4	6.3		

Fuente: Guanos y Fertilizantes de México, S.A.

TABLA 5.2

CONCEPTO	1950	1960	1965	Promedio del trienio 1968-70	
(a) Superficie cosechada	10,436.1	12,598.1	14,996.4	14,632.2	
Superficie fertilizada (b)	505.1	1,782.5	3,975.4	5,570.3	
Importancia relativa	4.8	14.2	26.5	38.1	
<u>Tasas medias de incremento anual</u>					
	<u>1951-60</u>	<u>1961-65</u>	<u>1966-70</u>	<u>1951-70</u>	<u>1961-70</u>
Superficie fertilizada	13.4	17.4	8.8	13.5	13.5

(a) miles de hectáreas

(b) por cientos

Fuentes: Superficie fertilizada: Censos agrícola, ganadero y ejidal

Superficie cosechada: Cifras de la Dirección General de Economía Agrícola de la S.A.G.

La superficie fertilizada aumentó de 1951 a 1960 a un ritmo (13.4% medio anual) inferior al consumo de nutrientes (27.1%), en consecuencia la densidad de nutrientes por hectárea aumentó de 39.2 kilogramos en 1951 a 95.9 en 1960. Sin embargo, bajó a 88.4 Kg en 1965, como resultado de un aumento más rápido en la superficie fertilizada con respecto al del -

consumo de nutrientes ocurrido de 1961 a 1965, de 17.4% medio anual en comparación con 15.5%. De este último año a 1970, el aumento del área fertilizada (8.8% media anual) vuelve a ser inferior al del consumo de nutrientes (10.9%), lo cual da lugar a que la densidad de nutrientes alcance en 1970 un nivel de 95.4Kg, semejante al que se obtuvo en 1960. Debido a la evolución de la superficie fertilizada descrita antes, su participación relativa en la superficie cosechada total ha ido en aumento: de 4.8% en 1950, pasó a 14.2% en 1960, 26.5% en 1965 y, finalmente, al 38.1% en 1970.

Uno de los métodos novedosos, con que se han logrado resultados prácticos inmediatos para incrementar los rendimientos por medios económicos es el uso de la técnica llamada fertilización foliar. Siendo relativamente una novedad en la práctica agrícola general, su teoría y aplicación difieren de los fundamentos y procedimientos convencionales de fertilización. Para estimar mejor esta diferencia, conviene hacer una sintética exposición sobre la teoría de la nutrición de las plantas, para luego exponer los principios de la fertilización foliar. Así se podrán apreciar las diferencias entre ambas técnicas y su complementación.

Los vegetales -como todo organismo vivo- necesitan reponer los elementos consumidos en una cantidad de procesos que implican su conservación, crecimiento y reproducción. Estos procesos (síntesis, transformación y degradación de los elementos que constituyen las plantas) se denominan metabolismo.

Con el objeto de reponer los elementos nutrientes consumidos durante su metabolismo, los vegetales disponen de la capacidad de absorción de nutrientes del medio ambiente -tanto del suelo como de la atmósfera- por la vía radicular y por sus partes aéreas respectivamente.

El sistema radicular está formado básicamente por las raíces, que convergen en el tallo en su parte subterránea. El sistema aéreo de las plantas comprende parte del tallo, las ramas, las hojas, las flores y los frutos.

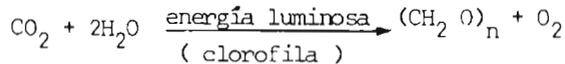
Los nutrientes absorbidos por las raíces ascienden por el tallo y, a través de las ramas, llegan a las hojas, allí se realiza la asimilación, por el proceso de la fotosíntesis. Puede considerarse que aquí principia la alimentación de la planta, porque es donde se inicia la síntesis y transformación de los compuestos que necesita para sus funciones metabólicas.

Por esta particularidad, se pueden suministrar nutrientes a las plantas aplicándolos directamente en sus partes aéreas, capaces de asimilarlos igual que los traslocados desde las raíces, a veces con coeficientes de aprovechamiento más elevados.

Esto tiene mayor relevancia si se considera que los principales elementos nutrientes requeridos por los vegetales se pueden agrupar en: a) compuestos orgánicos oxidables; b) elementos minerales; c) agua. Por eso es posible proporcionar a las plantas los elementos que necesitan, en

cada etapa crítica de su desarrollo, con oportunidad y efectividad antes no lograda.

En forma general, el proceso de la fotosíntesis puede representarse por la siguiente ecuación:



(El proceso inverso, la respiración, hace posible que los azúcares puedan degradarse hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , liberando energía). La planta toma los nutrientes minerales necesarios para su alimentación cuando entran éstos en solución con el medio acuoso edáfico (solución del suelo). A continuación se produce el fenómeno de intercambio iónico con la planta. Dentro del sistema radicular, los elementos nutrientes son trasportados a la parte aérea de la planta; al llegar a las hojas, se inicia el proceso de la fotosíntesis mediante el cual las plantas fijan el bióxido de carbono atmosférico y lo trasforman en azúcares con ayuda de la clorofila y en presencia de la energía luminosa.

Los azúcares así sintetizados son utilizados en la síntesis posterior de los otros constituyentes esenciales de las plantas, como son los lípidos, almidón, cápsulas celulares, aminoácidos y proteínas. Para ello requieren de los nutrientes que han absorbido y que se encuentran en las hojas, al igual que la energía liberada durante la respiración.

Resulta, pues, indudable la importancia de la estructura y el funcio

namiento de las hojas, como el aparato de la planta que posibilita la transformación del  $\text{CO}_2$ . Así, al aprovechar los elementos minerales y el agua que llegan a ellas, proveen a los demás órganos de los nutrientes requeridos para sus funciones.

Gracias al uso de los radioisótopos fue posible valorar la eficiencia de la absorción de nutrientes por los órganos aéreos, de los cuales las hojas -por la considerable superficie que presentan y por su estructura- son las más importantes vías de absorción.

Las hojas tienen en su superficie una membrana lipoidal -denominada cutícula- que representa un obstáculo para la absorción, aunque también poseen pequeñas aberturas -llamadas estomas- en cantidades considerables. Estas no son importantes desde el punto de vista de la absorción de nutrientes. Inmediatas a la cutícula se encuentran las células de la epidermis, cubiertas por una delgada capa de pectina, que se puede extender a través de la cutícula formando pequeños pasos, atravesando las hojas hasta el tejido parenquimatoso. Esto ha sugerido la existencia de canales intercuticulares.

Se ha estudiado la permeabilidad de la cutícula a iones de los nutrientes comunes y se encontró que la penetración es función lineal del tiempo, lo que es típico de la difusión simple y totalmente independiente de la presencia de estomas. Sin embargo, la cutícula es más permeable a los cationes que a los aniones y tiene la propiedad de intercambiar cationes

por medio de hidrógeno elemental.

Cuando la cutícula se hidrata, se expande, y las concreciones cerosas en su superficie se apartan y facilitan la penetración. Se presenta el fenómeno inverso cuando la cutícula se deshidrata por desequilibrio de la economía acuosa de la planta, lo cual motiva que se contraiga e impida la penetración.

Una vez que los nutrientes pasan, se encuentran con las membranas celulares de la epidermis, que no son continuas sino que presentan pequeñas prolongaciones plasmáticas denominadas ectodesma. También las células vivas están interconectadas con elongaciones plasmáticas denominadas plasmaderma. Aquí comienza de hecho la nutrición foliar, dependiendo de la eficiencia del ectodesma que presenten los tejidos epidérmicos. Cuando los nutrientes se encuentran en el ectodesma, son transportados a las células epidérmicas por un proceso complejo de difusión y por procesos metabólicos que requieren energía, producto de oxidaciones. Por otra parte, parece que moléculas pequeñas pueden pasar por otros caminos, independientemente del ectodesma:

La penetración de los nutrientes por los estomas y espacios intercelulares y su posterior asimilación, son difíciles de definir. Sin embargo, es un hecho que con soluciones que contengan agentes tensoactivos se desplaza el aire contenido en los estomas y se permite la incorporación de los nutrientes. Así la absorción foliar pasa por dos etapas, la primera de las cuales es un proceso no metabólico irreversible, con utiliza-

ción de energía. Por ello, el mecanismo de absorción foliar es una combinación de los diferentes procesos de difusión e intercambio iónico.

Una planta en desarrollo requiere todos -o casi todos- los dieciséis nutrientes. Nueve de ellos, los macronutrientes, los necesita en grandes cantidades; y en mucho menores, los siete micronutrientes. La mayoría de las plantas obtiene del aire tres de los micronutrientes - (carbono, hidrógeno y oxígeno), los otros los obtiene del suelo.

Los macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) son los principales componentes de los fertilizantes: son las sustancias representadas por el grupo de tres números, como 10-12-8 ó 20-5-5, que denotan el contenido de nutrientes que hay en el fertilizante. Por lo general se refieren al porcentaje de nitrógeno, pentóxido de fósforo (frecuentemente llamado ácido fosfórico o fosfato) y potasio soluble en agua (comunmente  $K_2O$ ), que se encuentran disponibles para la nutrición de la planta. Los otros tres macronutrientes son calcio, magnesio y azufre.

Los micronutrientes esenciales en orden de importancia relativa son: hierro, cloro, cobre, manganeso, cinc, molibdeno, boro, cobalto, fluor y níquel.

La esencialidad de un elemento se puede delimitar por los siguientes puntos:

- 1) Es esencial cuando su falta produce un crecimiento anormal, impide completar su ciclo de vida o produce la muerte prematura de la planta.
- 2) Es específico y no puede ser remplazado por otro.
- 3) Influye directamente sobre el crecimiento o metabolismo ( no por algún efecto indirecto, como sería actuar sobre otro elemento presente en la planta en nivel tóxico para esta, es decir por antagonismo).

Los macronutrientes pueden estar contenidos en el suelo -por lo menos parcialmente- como es el caso general. Es posible suplir sus deficiencias antes de la siembra, agregando al suelo los nutrientes que hagan falta, en forma de fertilizantes.

Cuando la planta está ya en su desarrollo y es preciso darle los nutrientes que le hagan falta, su aplicación no puede hacerse fácilmente y resulta excesivamente costosa. Entonces sólo queda un recurso para salvar las siembras: las aspersiones foliares de fertilizantes que contengan los nutrientes que puedan remediar la deficiencia.

En el caso de la deficiencia de micronutrientes -que sólo representan unas cuantas partes por millón en la composición de las plantas- se presentan algunos problemas en su aplicación.

Las dosis que se deben de aplicar tienen una limitada tolerancia: si no se suministran en la cantidad mínima requerida, no se logra el efecto buscado; pero si se sobrepasa su concentración, pueden alcanzar niveles tóxicos. Los micronutrientes aplicados al suelo pueden inutilizarse al ser absorbidos por los coloides del suelo, es decir, fijados por el mismo. Además, como los micronutrientes deben ser moderadamente solubles para que puedan ser aprovechados por la planta, se corre el riesgo de que sean disueltos en la tierra y lixiviados por el agua, con lo que se pierden para la planta. También en este caso, el único medio económicamente atractivo es la aplicación foliar de fertilizantes líquidos, adecuadamente preparados.

Puesto que mediante la introducción de nutrientes por la vía foliar se logra un inmediato abastecimiento de la planta, este método ofrece gran interés para fines prácticos. Especialmente puede proporcionar servicios muy útiles en los casos en que se trata de eliminar de modo rápido, síntomas de deficiencias, como también para complementar el abastecimiento de nutrientes provenientes del suelo. En la práctica, esta clase de suministro de fertilizantes se efectúa con mucho éxito en los Estados Unidos, tanto con fertilizantes fosfóricos como con urea. Varios investigadores encabezados por Tukey (1), lograron notable éxito tratando a la remolacha azucarera con fosfato de potasio tres semanas antes de la cosecha. No

sólo el rendimiento sino también el contenido de azúcar experimentaron aumentos importantes.

En la Unión Soviética se está trabajando intensamente en este campo. Se realizan experimentos de fertilización foliar con variedades de cereales en grandes áreas -de 2000 hectáreas aproximadamente. Se han logrado, por ejemplo, aumentos sustanciales en el contenido de proteína de los granos mediante la aplicación de fertilizantes a base de sales de amonio.

Según el resultado de investigaciones norteamericanas, se ha podido comprobar que la combinación de fertilización foliar y radicular conduce a un significativo aumento del rendimiento. Esto lo muestra la tabla 5.3 con resultados obtenidos por Kaindl en plantas experimentales:

TABLA 5.3

Tipo de fertilización	Materia seca (mg)	Dosis aplicada ( $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 10^{-3}\text{g}$ )
0	101.74 <sup>±</sup> 3.88	0
Foliar	132.09 <sup>±</sup> 7.91	26.8
Radicular	139.92 <sup>±</sup> 3.16	26.8
Foliar + radicular	176.48 <sup>±</sup> 6.20	29.4

Fuente: Acosta Sierra (1)

A continuación presentamos una lista de casos en los que son -  
efectivas, y de hecho insustituibles, las aspersiones foliares:

1. Cuando por alguna razón no se fertilizó el suelo con la dosis necesaria y al desarrollarse el cultivo se observa la necesidad de una fertilización un poco más tardía que incrementa el rendimiento.
2. Al observar que -por las características del suelo o de los fertilizantes sólidos aplicados- no cuenta la planta con suficientes nutrientes disponibles, en el momento crítico del ciclo del cultivo, para lograr el rendimiento esperado.
3. Cuando las plantas presentan deficiencias específicas o bastante definidas, en relación con uno o varios nutrientes, y es necesario corregirlas rápidamente.
4. En caso de que resulte antieconómico o difícil fertilizar el suelo en etapas de desarrollo vegetativo (por ejemplo, cuando esté totalmente cubierto el cultivo y no puede penetrarse al campo). La aplicación aérea a las hojas resuelve el problema.
5. Porque sea necesario un tratamiento con reguladores del desarrollo, para inducir o retardar la floración o la moderación de los frutos.
6. Si algunas características físicas o químicas del suelo impiden o dificultan la asimilación de cierto nutriente.
7. Cuando se requieren aplicaciones hormonales para lograr que se mejore la fructificación y evitar la excesiva caída de flores y frutos. Entonces, es muy recomendable, proporcionar a la planta los nutrientes necesarios para contribuir a la acción de las hormonas, al mismo tiempo que se hace la aplicación hormonal.

8. Para aprovechar el costo de aplicación simultánea de insecticidas y fungicidas.
9. Cuando, por razones de mercado, conviene alcanzar un rendimiento máximo y ya se ha realizado el programa de fertilización al suelo.
10. Frente a fenómenos meteorológicos como inundaciones o cuando, las plantas a causa de las lluvias intensas prolongadas sufren serias pérdidas de nutrientes por lixiviación y por lavado de sus hojas, la única forma de -suplir estas pérdidas es por medio de fertilización foliar.

Por último, haremos una descripción de las principales funciones de los nutrientes esenciales.

### Macronutrientes

Nitrógeno Es absorbido por la planta en forma de iones nitrato y amonio. El nitrógeno es, quizás, el nutriente más importante de los vegetales. Los compuestos del nitrógeno comprenden de 40 a 50% en peso de la materia seca del protoplasma celular. Por esta razón, el nitrógeno se requiere en cantidades relativamente grandes durante todo el proceso de desarrollo de las plantas. De ahí se infiere que sin un adecuado abastecimiento de tal nutriente, no puede haber un desarrollo apreciable y las plantas permanecen debilitadas. Las proteínas que son de tanta importancia -especialmente - en las semillas y frutos- no son sintetizadas en cantidades adecuadas si existen deficiencias de nitrógeno.

El nitrógeno forma parte importante de la molécula de clorofila --- ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) -sin la cual la fotosíntesis es imposible- y de compuestos tan relevantes como los aminoácidos, las amidas y los alcaloides.

Algunos compuestos de nitrógeno tienen gran movilidad en la planta, y ello los capacita para que transporten fácilmente abastecimientos de este elemento a los puntos vitales donde más se requieren. Por lo general

esta transferencia va de los tejidos viejos a los puntos jóvenes de crecimiento, donde -por el desarrollo mismo- el nitrógeno disponible puede ser insuficiente. El hecho de que los síntomas de deficiencia de nitrógeno aparezcan primero en las partes viejas de las plantas y no precisamente en los sitios de crecimiento, alrededor de las yemas terminales, es debido a esta movilidad del nitrógeno.

Fósforo Se requiere en mucho menor cantidad que el nitrógeno. La mayoría de los suelos contienen grandes cantidades de fosfatos en forma de apatitas (fosfatos de calcio complejos), complejos de hierro y aluminio y compuestos orgánicos. Sin embargo, comúnmente son insolubles y la planta no puede aprovecharlos.

Se sabe desde hace mucho tiempo que el fósforo es un elemento imprescindible para el desarrollo de la planta, pero sólo recientemente se encontró que está involucrado en muchas de las reacciones bioquímicas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, las grasas y las proteínas en las que los compuestos fosforilados actúan como intermediarios y a menudo como conservadores o abastecedores de energía para reacciones específicas, como las que ocurren en la respiración.

El fósforo tiene importancia especial en la germinación y en el metabolismo de las plantas recién nacidas, ya que contribuye a la formación de las partes reproductoras del vegetal; además, resulta indispensable en la formación de la semilla y los frutos, así como en el adecuado desarrollo de las raíces. Esto se debe a que es un importante constituyente de los ácidos nucleicos, las fitinas y los fosfolípidos. Actúa también en forma de fosfatos, como amortiguadores químicos para mantener un balance ácido-base en las células de la planta.

Se sabe que el fósforo juega un papel importante en el funcionamiento eficiente y utilización del nitrógeno. A esto se debe que algunos de los síntomas de deficiencia de fósforo sean iguales o muy parecidos a los provenientes de falta de nitrógeno.

Potasio Difiere del fósforo y el nitrógeno en que no se sabe en forma definitiva si es un constituyente del protoplasma. Sus funciones no están -

claramente determinadas, pero es indiscutible que se requiere en grandes cantidades para un desarrollo correcto de la planta, y no puede ser sustituido por compuestos tan próximamente relacionados a él, como son el sodio o el litio. En la planta se presenta en forma de sales inorgánicas solubles en los tejidos, o como parte del anión de ácidos orgánicos.

El potasio contribuye particularmente a la síntesis y movilidad de los carbohidratos. Es el promotor del metabolismo del nitrógeno. Por ello bajos niveles de este elemento producen acumulación de aminoácidos que retardan y limitan la síntesis de proteínas.

Otras funciones en que el potasio desempeña un papel predominante son: 1) regulación de las condiciones del agua dentro de la célula y de las pérdidas de agua por transpiración; 2) es un acelerador de la acción enzimática de varias reacciones de la fotosíntesis, especialmente en condiciones de poca intensidad luminosa.

Se ha demostrado que el contenido de potasio en las plantas generalmente es más alto de lo necesario para el desarrollo saludable, debido a que los vegetales lo absorben en exceso. Por el otro lado, las deficiencias serias de potasio causan inevitablemente la muerte del vegetal.

Calcio. No sólo cumple con la función de ser un nutriente, sino que es ampliamente usado para corregir la acidez de algunas tierras. La planta requiere pequeñas dosis de  $Ca^{++}$  y generalmente lo obtiene de algún compuesto de calcio presente en la tierra.

El calcio se encuentra principalmente en las hojas; en las semillas y los frutos las cantidades son muy pequeñas. Una de sus funciones principales es la de constituir parte de la membrana celular, en forma de peptato de calcio. Esta función tiene primordial importancia pues si el calcio es remplazado por algún otro elemento esencial (como el magnesio o el potasio), las sustancias orgánicas y sales minerales del interior de las células son fácilmente lavadas a través de las paredes.

Este elemento está íntimamente relacionado con la actividad de desarrollo en las meristemas y es especialmente importante en el desarrollo de las raíces, en donde tiene tres funciones: 1) en la división celular; 2) en la elongación de la célula; 3) en la detoxificación de los iones hi--

drógeno. Es característica en las plantas con deficiencias de calcio el presentar un sistema radicular inadecuado.

A pesar de ser muy soluble en el agua, no parece moverse libremente de las partes viejas a las partes jóvenes de las plantas. Por esta razón, las deficiencias de calcio muestran sus efectos en las puntas de crecimiento.

Magnesio. Su característica principal radica en que es el único mineral que forma parte de la molécula de clorofila. Por esto, la deficiencia de magnesio se manifiesta comúnmente como clorosis (amarillamiento de las partes verdes).

Además, se encuentra relacionado con numerosas reacciones enzimáticas y se le considera como el más efectivo activador de estas sustancias. Está asociado a los compuestos fosforados que proporcionan energía y es un elemento importante en la síntesis de las nucleoproteínas. Actúa como transportador de fosfolípidos. Tanto él como el fósforo se acumulan en las semillas.

El magnesio parece ser muy móvil dentro de la planta. Cuando se presentan deficiencias, aparentemente es traslocado de los tejidos viejos a los jóvenes y ahí se utiliza en el proceso de crecimiento.

Azufre. Es un constituyente de muchas proteínas vegetales, especialmente en forma de cistina y metionina que contienen 26.7 y 21.5% de azufre, respectivamente. También forma parte de la glutatióna, que interviene en la respiración de la planta.

La teoría más reciente sostiene que las uniones sulfuro del ácido tiónico,  $\text{SSCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ , son los puntos en que la planta transforma la energía radiante del sol en energía química. De ser así, el azufre se convertiría en uno de los elementos nutrientes más importantes.

En la práctica, una deficiencia de azufre es causa del retardo en el crecimiento de la planta, acompañada de una intensa clorosis.

Los requerimientos de azufre son pequeños. Generalmente son obtenidos del suelo, de gases industriales que se distribuyen en la atmósfera o de los sulfatos que incidentalmente contienen los fertilizantes. Sin embargo, cada vez se conocen más áreas de cultivo que presentan deficiencias

de este elemento, por lo que se debe recurrir a la fertilización. Estas deficiencias presentan muchas características parecidas a las ocasionadas por falta de nitrógeno. Pero, existe una diferencia notable: mientras que el nitrógeno de las hojas viejas puede traslocarse a los tejidos jóvenes, el azufre de las proteínas sulfuradas no es movable.

### Micronutrientes

En general, en las plantas son constituyentes de ciertas enzimas, como promotores o inhibidores. Se requieren en cantidades pequeñísimas. Pero a pesar de esto la carencia de cualquiera de ellos origina graves trastornos en el desarrollo y la salud de la planta. Muchas veces el suelo carece de uno o varios micronutrientes, y forzosamente hay que agregarlos. Debido a las pequeñas dosis en que se aplican, el método más eficiente de hacerlo es fertilizando foliarmente.

Hierro. La forma metabólicamente activa parece ser el ión ferroso, puesto que tejidos vegetales con altas concentraciones de ión férrico pueden mostrar las características de la deficiencia de hierro.

Es constituyente de algunas enzimas respiratorias (en especial la catalasa, la peroxidasa y el citocromo b y c) y de sistemas de oxidación (como la hidrogenasa y la xantina). También se presenta en las reductasas de nitritos e hiponitritos, que están relacionados con las reacciones en cadena por las cuales los nitratos se reducen a amoníaco en la planta. Es, además, un elemento esencial en la formación de la clorofila, a pesar de que no forma parte de la molécula.

Boro. Igual que los otros micronutrientes, la planta lo requiere en cantidades pequeñísimas. A pesar de ello, es un elemento insustituible. El término "micronutriente" es especialmente aplicable a este nutriente, ya que el exceso es tan perjudicial como su carencia.

Se le han asignado por lo menos quince diferentes funciones en las plantas. Así, actúa en el transporte de azúcares en la planta; influye -

sobre la movilidad de los compuestos amino-solubles, de modo que tiene - cierta participación en la síntesis de proteínas; controla el paso de agua al interior de las células; tiende a conservar al calcio en forma soluble dentro de la planta; desempeña el papel de regulador en la relación potasio-calcio.

Zinc. Interviene como componente de algunos sistemas enzimáticos principalmente en la anhidrasa carbónica y la carboxilasa. La auxina -de la cual hablaremos más adelante- es una hormona que promueve el crecimiento, requiere del zinc para mantenerse en niveles adecuados.

La diferencia entre las dosis necesarias y los niveles en que es tóxico, es sumamente pequeña. Por ello debe de regularse cuidadosamente su suministro al vegetal.

Manganeso. La deficiencia de este elemento se presenta comúnmente en suelos alcalinos y en aquéllos con gran acidez, y origina una disminución en la actividad fotosintética. Actúa como agente oxidante del hierro. Por esto, un exceso de manganeso ocasiona deficiencias de hierro, ya que el disponible es oxidado a hierro ferroso, (no metabolizable por el vegetal).

Cobre. Se ha mostrado en una muy directa asociación con los cloroplastos y las proteínas, aunque sus funciones no son muy claras. Es esencial para una serie de enzimas de reacciones oxidorreducción, como la tirocinasa, la casa, reductasa de nitritos etcétera.

Molibdeno. Fue uno de los últimos micronutrientes identificados. No se conoce claramente su función en la planta, sobre todo porque los requerimientos totales de molibdeno son infinitesimales.

Se cree que, al igual que la mayoría de los micronutrientes, está asociado con un grupo de enzimas en la reductasa de los nitratos. Las leguminosas son las plantas más sensibles a deficiencias de molibdeno, pues las bacterias que se forman en sus nódulos para fijar el nitrógeno requieren de cierta proporción de este elemento.

Cloro. Constituye la adición más reciente al grupo de nutrientes esenciales. No se lo reconoció como tal hasta después de 1954. Se desconoce - prácticamente cuál es su función en el desarrollo de las plantas pero está comprobado que su ausencia causa la muerte del vegetal. Se ha demostrado que el ión cloro acelera la fotosíntesis en vitro, y se está estudiando si esto mismo ocurre en vivo.

La mayoría de los suelos contienen cierta cantidad de cloro que la planta puede utilizar, por lo tanto este elemento carece de mercado como fertilizante.

## HIDROPONIA

Como en párrafos anteriores explicamos la mecánica básica de la nutrición de la planta y la función de los nutrientes esenciales, es pertinente la mención de los principios fundamentales de una técnica de cultivo relativamente antigua, pero a la que en los últimos tiempos se está prestando mucha atención y esta recibiendo gran impulso para su desarrollo e implementación a nivel comercial. Se trata de la quimocultura o hidroponía, que adquiere la jerarquía de arte e industria, plena de posibilidades prácticas y promisorias perspectivas.

La hidroponía consistió en cultivar plantas sobre arena o grava donde únicamente hay que agregar soluciones que contengan un balance adecuado de los nutrientes esenciales. Los elementos químicos suministrados son exactamente los mismos que una planta absorbe de suelos fértiles. La ventaja principal de la hidroponía es que resulta factible obtener altos rendimientos en zonas donde la tierra es estéril o tóxica para el crecimiento de la planta. Los rendimientos inclusive pueden superar a los obtenidos en cultivos ordinarios, ya que es posible aumentar sensiblemente la densidad de la plantación en relación con la superficie disponible.

El principal factor limitativo de la expansión de un cultivo ordinario es la necesidad de reservar a cada planta un cubaje de tierra para que encuentre su nutrición. Por el contrario, en hidroponía la planta no realiza ningún esfuerzo para encontrar los nutrientes que necesita, por ello, sus raíces son siempre muy reducidas pero bombean por ósmosis la solución

en todo su largo, pues tienen el alimento al alcance inmediato. Así, por ejemplo, se puede aumentar la densidad de plantación de tomates de cuatro plantas por metro cuadrado en plena tierra, a doce en cultivo sin tierra. Generalmente se admite un aumento de 70 a 120% de la plantación.

En Bélgica, desde hace muchos años se practican cultivos hidropónicos de plantas forrajeras. Para ello se emplean cajones superpuestos, de aproximadamente un metro cuadrado. Se colocan los granos en cada panel y se les suministra la solución nutriente. Al cabo de ocho días, se obtiene la hierba densa (avena, maíz, cebada), verde y tupida que ya puede ofrecerse a los animales. Así, en ocho días pueden transformarse 10 kilos de semillas en 40-60 kilos de forraje -según el tamaño de los granos- alimento suficiente para unas diez cabezas de ganado.

La técnica es sencilla: se emplean cajones de metal o de concreto recubiertos interiormente por una capa de pintura de asfalto, (para evitar dañar los cajones mismos y a la vez impedir el envenenamiento de la solución); se llenan con arena, grava u otro material inerte y ahí se siembran las plantas que únicamente requieren de aire, luz solar y el suministro de la solución nutriente.

Los cultivos hidropónicos son fácilmente manejables, pero presentan la única desventaja de su elevado costo si no son operados en gran escala. Esta técnica resulta costeable únicamente cuando se cultivan grandes extensiones, o para vegetales con un alto valor intrínseco. Sin embargo, está cobrando cada vez más aceptación, por su simplicidad y conveniencia de --

manipulación.

Actualmente existen varias granjas hidropónicas en operación comercial. En Japón, hay una localizada en Chofu -cerca de Tokio- con 200 hectáreas, y otra menor en Otsu, con 125 hectáreas que en 1967 produjeron cerca de -- 40,000 toneladas de diversos vegetales, (un rendimiento de más de 120 toneladas/hectárea!). Otras instalaciones importantes se localizan en Meilland, Francia, en Génova, Italia, en el desierto del Negev en Israel, y en Bahamas. En Puerto Rico existen varias granjas pequeñas (entre 5 y 6 hectáreas de extensión), que a toda capacidad producen anualmente un promedio de 500 toneladas cada una. Los rendimientos más extraordinarios son los reportados por el Dr. W.F. Gericke, quien en su plantación experimental de la Universidad de California logró producir tomates 60 días después de la plantación con rendimientos de 600 a 700 toneladas por hectárea, cuando la producción normal -en condiciones ordinarias de cultivo- es de 30 a 50 toneladas por hectárea. También produjo patatas a razón de 500 toneladas por hectárea, mientras que la producción media por hectárea en tierra es de 25 toneladas.

En México, el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego -dependencia de Recursos Hidráulicos- anunció a fines de 1973 que ha instalado en La Laguna un centro de investigación a cargo de un grupo de ingenieros químicos dedicados exclusivamente al estudio de la implantación de la hidropónia en escala comercial. Este centro ya ha logrado cultivar exitosamente algunas leguminosas y varias hortalizas.

Como ya expresamos, los minerales que se deben suministrar con los mismos que la planta tomaría de un suelo fértil y bien abonado, sólo que son proporcionados directamente en soluciones acuosas. No existe una solución óptima o ideal: según el tipo de vegetal que se cultive, variarán las proporciones relativas de los nutrientes; pero, en todos los casos deberán estar presentes todos los elementos esenciales.

Al tratar la fertilización foliar hemos enlistado los nutrientes esenciales e indicado cuales son sus funciones en el desarrollo y mantenimiento de la planta. Lo único que resta es mencionar en qué forma se suministran en la técnica hidropónica. El carbono, hidrógeno y oxígeno son captados del aire y el agua, como sucede con los vegetales que se cultivan en la tierra. Los otros iones pueden ser suministrados en una gran variedad de sales altamente solubles, de producción industrial común y de bajo costo. Los macronutrientes generalmente provienen de soluciones que contienen nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, cloruro de potasio, sulfato de calcio, sulfato de magnesio, fosfato monocálcico, fosfato monoamónico y sulfato de amonio, que se combinan en diferentes concentraciones, según sea necesario. Para los micronutrientes, las sales más frecuentemente empleadas son: sulfato ferroso o citrato de amonio férrico para el hierro; sulfato o cloruro de manganeso para el manganeso; ácido bórico o borax para el boro; para el ión cobre: sulfato de cobre, y para el zinc: sulfato de zinc. El molibdeno se requiere en proporciones tan pequeñas, que generalmente es suficiente el que se encuentra disuelto en el agua como impureza.

Existe gran cantidad de fórmulas para preparar las soluciones nutritivas. El empleo de una u otra dependerá de varias condiciones principalmente del vegetal de que se trate y de la disponibilidad de una u otra sal. Sin embargo, ya en la práctica, rápidamente se llega a encontrar cual es la fórmula más adecuada para el cultivo en caso. Entre las fórmulas estándar más comúnmente usadas, están:

Fórmula 1 De Beckhart y Connors (Estación Experimental Agrícola de Nueva Jersey):

Sulfato de amonio	30 gramos
Fosfato de potasio (monobásico)	57 "
Sulfato de magnesio	114 "
Nitrato de calcio	486 "
Para disolver en 300 litros de agua	

Fórmula 2 De la Universidad de Berkley, California:

Nitrato de calcio	90 gramos
Nitrato de potasio	90 "
Fosfato ácido de amonio	20 "
Sulfato de magnesio	30 "
Para disolverse en 400 litros de agua	

Fórmula 3 De R. Withrow, (Universidad de Purdue):

Sulfato de magnesio	123 gramos
Fosfato monopotásico	67 "
Cloruro de calcio	138 "
Nitrato de potasio	150 "
Nitrato de amonio	338 "

para disolver en 500 litros de agua

Además, hay que preparar una solución que contenga los micronutrientes; en un litro de agua se disuelven:

Nitrato férrico	8.0 gramos
Nitrato de manganeso	5.4 "
Sulfato de zinc	0.40 "
Sulfato de cobre	.005 "
Acido bórico	0.20 "

que hay que agregar a cada 200 litros de solución de macronutrientes.

El diseño de los recipientes es muy diverso y varía según las necesidades. La gran mayoría son variantes de uno fundamental: un cajón que tiene forma de V muy abierta y una débil pendiente hacia uno de los extremos que permite drenar la solución nutritiva que no se ha absorbido y volverla a utilizar. En las grandes instalaciones se emplea una pequeña bomba que distribuye la solución nutritiva por aspersión a todo lo largo de la plantación y se encarga de recircular los sobrantes.

Para juzgar como impráctico este sistema de producción se suele emplear el argumento simplista de que lo que sobra es tierra. Pero no tiene ninguna validez. Este método es intentado para zonas donde la tierra es improductiva o estéril. Es cierto que el costo inicial de una instalación hidropónica puede ser elevado, comparado con los cultivos en tierra, pero ese gasto se logra amortizar antes de un año. A cambio de - la inversión inicial, se obtiene una notable superación en calidad y, sobre todo, en la cantidad de las cosechas. Esto, aunado a la sencillez del laboreo, la reducción del área de cultivo y la altísima eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes. hace que el sistema hidropónico resulte de ennegable conveniencia actual y de promisorias perspectivas futuras.

## RIEGO POR GOTEO Y POR ASPERSION

De todos los factores que intervienen en la producción de alimentos, ninguno es más antiguo ni de mayor importancia que el arte de la irrigación.

Es un hecho comprobado por hallazgos históricos y arqueológicos que la irrigación constituyó un factor primordial en el desarrollo de las antiguas civilizaciones.

Todas las grandes religiones -judaísmo, cristianismo, mahometismo y budismo- se originaron y florecieron en áreas donde el agua era escasa, por lo menos durante algunas épocas del año. Por ello, resulta sorprendente que a pesar de los inmensos avances logrados por el hombre en todas las áreas, la irrigación haya quedado en un estado de estancamiento. Resulta difícil -- aceptar que la mayoría de las prácticas de irrigación actuales son casi idénticas a las establecidas por el hombre desde la más remota antigüedad. Si por un momento nos olvidamos de ciertos refinamientos introducidos (como el empleo de concreto en vez de mampostería, el uso de compuertas sofisticadas o la aplicación de revestimientos a los canales), la irrigación por gravedad que actualmente se diseña en la mayor parte del mundo es, en esencia, la misma que se ha empleado desde tiempos inmemoriales.

El tipo de irrigación predominante, que comprende de hecho casi 85% de la irrigación total mundial, es el que se efectúa por gravedad. Consiste -- fundamentalmente en desviar una corriente de agua de una fuente o depósito,

por medio de surcos y canales, y permitirle fluir cuesta abajo, únicamente por gravedad. El agua que así recorre los canales se filtra en la tierra humedeciéndola y, por tanto irrigándola. La mera descripción de este principio de irrigación evidencia las serias desventajas que ofrece. Al ser un mecanismo muy poco controlable, su eficiencia es bajísima.

Podemos definir la eficiencia de transporte y aplicación del agua de irrigación como la relación existente entre la cantidad de agua que ha mojado la zona de raíces del cultivo y la cantidad de agua desalojada de la fuente. Esta, a pesar de ser una definición muy general, es útil para nuestro propósito.

En general, con el método de zanjas abiertas e irrigación superficial, menos de la mitad del agua empleada llega a las plantas. Algunos proyectos de irrigación que han sido bien planeados, diseñados y operados tienen eficiencias que van desde 0.35 hasta 0.70 con un promedio de 0.47.

En México, la eficiencia promedio de los proyectos de irrigación va de 20 a 40%. Es tan baja debido, parcialmente, a las pérdidas en el transporte, ocasionadas por la filtración y evaporación; también en parte las pérdidas se deben a la mala distribución de los campos y a la ignorancia del campesino sobre técnicas de aplicación del agua. A esta baja efectividad hay que agregar los efectos de erosión, gasto excesivo de agua y filtración profunda. Todo esto da como resultado global una menor productividad de la tierra y una peor calidad del agua.

La baja eficiencia y los riesgos que se presentan, no son las únicas desventajas de la irrigación por gravedad. Entre sus otros deméritos, el principal es el requerimiento de grandes cantidades de agua, que demanda amplias instalaciones de almacenamiento, grandes capacidades en los canales, mayores estructuras y extensos sistemas de drenaje: esto exige fuertes inversiones de capital. De 5 a 10% del área cultivable es absorbida por los drenajes, las líneas principales y los conductos laterales. Y más, el agua desperdiciada al emplear métodos ineficientes, restringe el área que puede ser irrigada con una cantidad determinada de agua, eleva los costos del proyecto por unidad de área, reduce los beneficios de la inversión y limita su viabilidad.

La preparación del terreno para la irrigación por gravedad requiere de destreza y conocimiento de las condiciones locales; resulta costoso y muy laborioso. Las pérdidas de productividad ocasionadas por deposición de las capas superiores de tierra fértil, la salinización y la nitración del suelo, tiene como consecuencia última el reducir el rendimiento total.

En síntesis, comparada con los métodos modernos, la irrigación por -- gravedad tiene las siguientes desventajas:

1. Se requiere de más agua por unidad de área irrigada (las pequeñas aplicaciones son prácticamente imposibles).
2. Existe el peligro de acumulación de agua en el subsuelo, con la consecuente inundación, salinidad y nitración.
3. Se requiere de una cuidadosa preparación del terreno que incluye agromesura, removido de la tierra y nivelación (que generalmente disminuye la fer

tilidad de la tierra.

4. Exige una aplicación cuidadosa del agua, con pendientes adecuadas en los canales y una vigilancia continua para conseguir lo que se puede considerar una cobertura de agua adecuada.

En México, la agricultura se explota en dos formas: 1) con agua de temporal; 2) con agua de riego.

La primera -que ocupa 82% de la superficie cultivable- está condicionada por factores climáticos, y su operación generalmente se realiza en condiciones de bajísima productividad.

Contrariamente, la agricultura de riego es más productiva, no obstante que en estas áreas la operación de los sistemas de riego tropieza con un -inadecuado aprovechamiento del agua disponible. El trazado defectuoso de -los canales de distribución y la carencia de revestimiento adecuado en ellos origina pérdidas de agua por infiltración y evaporación, en proporciones que fluctúan -según la Secretaría de Recursos Hidráulicos- entre 35 y 60%. Por otra parte, la ausencia de prácticas de estabilización del suelo en los vasos de las presas ha originado la acumulación de azolve, con la consiguiente reducción de la capacidad de almacenamiento. A estos factores debemos agregar la deficiencia en la nivelación y drenaje de las tierras irrigadas, e inapropiados métodos de riego aplicados por los usuarios, lo que han conducido al rápido ensalitramiento de varias zonas de riego.

La modernización de las técnicas de irrigación ha sido muy lenta. Sólo

a fines del siglo pasado se dieron los primeros pasos que permitirían el desarrollo de nuevos métodos de riego. Hace aproximadamente cincuenta años fue introducido en escala comercial el riego por aspersión, y hace menos de diez el riego por goteo.

### Riego por Aspersión

Puede describirse brevemente como un sistema que simula a la lluvia en todos sus aspectos, aunque con una significativa excepción: es una lluvia totalmente controlada, tanto en duración como en intensidad.

El riego por aspersión está basado en la distribución del agua a través de un sistema de tuberías de plástico -sumamente ligeras, principalmente de P.V.C.- que son portátiles y fácilmente acoplables donde los aspersores están montados a intervalos regulares. La gran variedad de tamaños y diseños, y la diferente distribución de los aspersores permiten operar el sistema a muy variadas presiones, lo cual origina a tal diversidad de características de flujo, que este sistema resulta lo suficientemente versátil para ser adaptado a numerosísimas condiciones agrícolas diferentes.

La irrigación por aspersión se ha estado usando en pequeña escala desde hace muchos años. Pero desde hace poco tiempo -y debido a los notables avances logrados en la fabricación de metales ligeros no corrosivos, tuberías de PVC y estandarización de los accesorios hidráulicos- esta técnica -ha logrado gran aceptación y difusión. En países con carencia y problemas de agua tan serios como Israel, -donde casi la totalidad de la agricultura

se realiza en condiciones adversas, porque la mayoría de los terrenos - son áridos o semiáridos- estas técnicas de riego no sólo han permitido cosechar en forma normal sino obtener rendimientos extraordinarios. Las contribuciones del riego por aspersión pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1) Cuando el sistema ha sido diseñado adecuadamente y todos sus componentes seleccionados de acuerdo con las condiciones del viento, el tipo de cosecha y las propiedades tierra-agua, el sistema puede ser operado con eficiencias hasta de 80%. Consecuentemente, se requiere menos agua por unidad de tierra que en los sistemas de riego gravitacional.
- 2) El exceso de irrigación, que produce inundaciones y salinización, queda prácticamente eliminado en este sistema. A menos de ser necesaria para lixiviar sales, es posible eliminar la infiltración profunda.
- 3) La irrigación puede ser programada con mayor facilidad de acuerdo con los requerimientos de la planta, la textura y la profundidad de la tierra. De esta forma los cultivos con raíces poco profundas pueden ser irrigados en forma ligera y más frecuente, con gran uniformidad en la distribución. En pocas palabras, el riego por aspersión asegura la adecuada irrigación.
- 4) A medida que transcurre el tiempo, nuevas tierras deberán ser incorporadas a la agricultura para satisfacer las necesidades de una creciente población, y para remplazar las tierras abandonadas por la salinización y la pérdida de fertilidad. Muchas de estas tierras tendrán poca profundidad y mala conformación. Solamente será posible hacerlas productivas mediante la irrigación por aspersión. Estas tierras vírgenes o desérticas se encuentran invariablemente alejadas de los depósitos de agua y requieren largas líneas de transporte, posiblemente a través de grandes pendientes. En estas circuns

tancias, las consideraciones económicas son el factor determinante, que exige la máxima eficiencia en el transporte y la aplicación del agua.

5) Por último, tiene gran importancia el hecho de que el riego por aspersión ofrece la posibilidad de una integración agrícola completa, es decir, un diseño ingenieril en micro-escala a nivel de agricultor. Esto contrasta notablemente con los sistemas tradicionales, en que la preocupación fundamental es el transporte del agua hasta los bordes del terreno. Este efecto es fácilmente comprensible ya que una planeación de irrigación superficial a nivel de agricultor individual resulta imposible.

#### Riego por Goteo.

En los últimos seis años, este nuevo sistema de riego ha captado la atención de los especialistas, ya que ofrece muchas ventajas no comparables a ningún otro sistema.

El riego por goteo implica el suministro de agua a la cual se le han agregado fertilizantes solubles, directamente al área de la zona de la raíz. Se suministra en cantidades pequeñas, medidas con precisión por medio de emisores patentados (llamados Netafim) y mojando únicamente el área de la zona de las raíces. En esta forma se repone lo que la planta consume de humedad y nutrientes diariamente. La superficie de la zona de la raíz se mantiene siempre húmeda, con lo cual se logra una baja tensión de humedad de la tierra. La tierra deja de actuar como un almacén de agua, lo que permite que terrenos con una estructura burda y mala calidad, sean capaces de producir grandes cosechas.

Al introducir los fertilizantes al sistema de riego se logra una -- altísima eficiencia de fertilización. No se observa agua libre en la - superficie, pues únicamente una pequeña zona se encuentra recibiendo el agua gota a gota. Así, las pérdidas por evaporación y el crecimiento - de hierba son mínimos.

La irrigación con riego por goteo no cubre la totalidad del campo con agua como es el caso en los sistemas de riego por gravedad, con surcos y por aspersión.

Por medio de este sistema se logran mayores y mejores rendimientos por unidad de tierra irrigada, empleándose con gran éxito en tierras pobres, - con agua de mala calidad y eliminando los problemas de contaminación y ni- tración. El ahorro en el consumo de agua puede llegar hasta 85%.

El riego por goteo ofrece grandes ventajas, especialmente en zonas á- ridas, regiones agrícolas caracterizadas por suelos salinos, donde el agua de riego tiene un elevado contenido de sales minerales, y en regiones donde la evapotranspiración es grande.

He aquí los principales beneficios alcanzables:

- 1) Un marcado aumento en el rendimiento de las cosechas, que muchas veces es el doble o más del producto obtenido en tierras irrigadas por surcos y canales, o aún por aspersión.
- 2) Obtención de cosechas en zonas donde no se consiguen por medios conven- cionales de irrigación, debido a los daños causados por la salinidad.

3) Posibilidad de acortar significativamente el ciclo de cultivo y obtener cosechas tempranas.

A pesar de las enormes ventajas que el riego por goteo ofrece, el sistema no es complicado. Sus integrantes son:

- 1) Una sola unidad maestra constituida por una válvula, un medidor de presión, un medidor de flujo y un filtro.
- 2) Un distribuidor de fertilizante por donde pasa el agua que lo transporta, en la cantidad precisa.
- 3) Una línea principal o alimentadora que surte a los ramales secundarios.
- 4) Ramales secundarios o laterales, que son tuberías de polietileno o PVC, de 12 a 16 mm de diámetro en las cuales estan los orificios en que se insertan los goteros con espaciamientos de 50 a 100 cm.

El espaciamiento entre las laterales es muy variable: depende de la textura de la tierra y del cultivo de que se trate, aunque en general varía desde 90 centímetros hasta 6 metros. La descarga de agua también es variable, pero el gasto promedio va de dos a cuatro litros por hora en cada gotero. La cantidad de fertilizante disuelta es predeterminada en tal forma que las pérdidas son prácticamente nulas.

Las ventajas que se consiguen por el empleo de este método pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1) No se requiere de la abertura de surcos o canales, con lo cual también se eliminan los problemas asociados con la nivelación del terreno.
- 2) Al no existir un flujo de agua en canales se evita la erosión de la tierra y la pérdida inútil de agua.

- 3) La distribución de agua es sumamente uniforme y fácilmente controlable ya que sólo se moja la zona de las raíces de la planta.
- 4) Fácilmente pueden variarse los gastos de agua ajustando las aberturas de los goteros. La evaporación de agua y el desperdicio de fertilizante se minimizan. Además, hay gran ahorro en el empleo de herbicidas ya que solamente es irrigada la zona donde la planta absorbe los nutrientes. Existen grandes áreas donde no hay humedad y, por consiguiente, se encuentra muy poca maleza.
- 5) El uso de insecticidas es mucho más efectivo ya que el aplicado a las hojas no es lavado por el agua de irrigación.

En los últimos tres años se han instalado en México más de 8000 hectáreas de sistemas de irrigación por goteo, principalmente en las granjas frutícolas de guayaba en Aguascalientes, de aguacate en Yauatepec y Puebla, de higo en Baja California y de nueces en Torreón. Los estupendos resultados que conseguidos han hecho pensar en la necesidad de diversificar la implementación de esta técnica a otras regiones y otros tipos de cultivos.

En nuestro país hay aproximadamente setenta millones de hectáreas consideradas como áridas o semiáridas, o sea, el 36% de la superficie total. Ante la imperante necesidad de incorporar estas tierras, ahora estériles, a la producción agrícola, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, dentro de su Programa Nacional de Riego, firmó un convenio de asistencia técnica con el Centro de Aplicación de Recursos Acuíferos de Israel. Una de las metas más ambiciosas del programa es proporcionar a los ejidatarios y pequeños propietarios de escasos recursos un sistema de riego por goteo de bajo costo y

operación simplificada, que no requiera el uso de maquinaria generadora de presión, con un diseño sumamente simple, una inversión inicial muy reducida y adaptable a condiciones topográficas difíciles.

Un argumento erróneo muy empleado es el que sostiene que la limitante principal para la implementación de estos sistemas de irrigación en las zonas áridas del país es la escasez misma de agua de riego. La afirmación no es válida, pues se sabe que a partir de mayo de 1974 se estableció un programa de instalación de bombas solares para la extracción de agua de las zonas desérticas de México. La primera, instalada en Caborca, Sonora, beneficiará a cerca de dos mil habitantes.

El programa es sumamente ambicioso: bajo la supervisión técnica del grupo Sofrates, de Francia, se pretende construir a ritmo acelerado mil bombas solares en una unidad industrial levantada con este único propósito. Con esto se logrará fomentar el rápido establecimiento de centros agrícolas.

El principio técnico de operación de estas bombas se basa en un motor térmico que trabaja a partir de la diferencia de temperaturas que se establece entre la fuente de agua fría (muchas veces apenas a 20, 50 ó 100 metros de profundidad) y la fuente caliente (agua calentada por la energía solar). Varias de estas bombas funcionan ya en Senegal, Níger, Mauritania y Alto Volta, con resultados altamente satisfactorios.

MANIPULACION GENETICA DE COSECHAS.

La civilización del hombre fue evolucionando en torno de los cereales y su domesticación. Hasta el presente, siguen siendo la principal fuente de carbohidratos y energía del hombre. Un hecho que se suele pasar por alto es que aún hoy los cereales siguen siendo la principal fuente individual de proteínas en la dieta de la mayoría de la población mundial.

Sin embargo, como mencionamos anteriormente, los cereales en general no son un alimento equilibrado, ya que no tienen un balance adecuado de aminoácidos. Son deficientes principalmente en lisina y triptófano; por ello, sus proteínas son de calidad inferior desde el punto de vista nutricional.

Es lamentable que una gran proporción de la población mundial y de nuestro país ingiere dietas compuestas principalmente por cereales; por consiguiente, está afectada por distintos grados de malnutrición y deficiencia proteínica.

Durante más de treinta y cinco años se realizaron programas de ingeniería genética (fitogenética), tendientes a mejorar el valor nutritivo de la proteína de maíz. El primer enfoque de la cuestión fue intentar aumentar el contenido total de proteína de los granos. Se desarrollaron líneas genéticas con una doble concentración proteínica (por ejemplo 16% contra 8%); pero estas líneas con un alto contenido proteínico no

dieron muestras de gran mejoramiento en lo que respecta a su valor nutritivo, a causa de la constante carencia de lisina y triptófono.

En 1963 el Dr. E. T. Mertz y sus colaboradores de la Universidad de Purdue, descubrieron que el gen mutante "Opaco-2" del maíz modifica el patrón de aminoácidos en la proteína del endosperma del grano, y produce una semilla con un mayor contenido de lisina y triptófono.

Por otro lado, después de la segunda guerra mundial, el Dr. O. A. Vogel, en la Universidad de Washington State, había logrado desarrollar varias líneas de trigo enano derivadas de la variedad japonesa Norin-10. En 1949, el Dr. Norman Bourlaug empezó a hacer cruzas entre variedades mejoradas de trigos mexicanos y dos de los trigos del Dr. Vogel. Las mejores de estas cruzas -todas las cuales llevan el gene del enanismo del Norin-10- dieron por resultado una serie de variedades que han establecido marcas mundiales de rendimiento.

El trigo reaccionó en forma muy favorable cuando se cambió la arquitectura de la planta, acortándole la pata de tal manera que las nuevas variedades enanas llegaron a dar rendimientos de seis a ocho toneladas por hectárea, cuando se fertilizó en forma intensa.

Ambos descubrimientos marcaron el principio de una nueva etapa en la investigación de la manipulación genética de las cosechas. Originaron la creación del primer centro de investigación fitogenética del mun-

do, en México.

Por el otro lado se trabaja en la búsqueda de nuevas especies híbridas que produzcan altos rendimientos por hectárea. Estos hechos han dado lugar a la iniciación de un vasto programa de investigación para lograr el mejoramiento de los cereales, principalmente maíz, trigo y arroz.

El CIMMYT -Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo- es el resultado de actividades cooperativas entre el gobierno mexicano y la Fundación Rockefeller. Es una institución internacional autónoma, científico-educativa que realiza actividades de investigación y adiestramiento en cultivo de maíz y trigo, con la finalidad de lograr variedades mejoradas de un elevado valor nutricional y el perfeccionar las técnicas de producción de las especies de altos rendimientos. Además del apoyo de la Fundación Rockefeller y del gobierno mexicano, esta institución cuenta con el asesoramiento y la ayuda financiera de la Fundación Ford, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Agencia para el Desarrollo Internacional, de Estados Unidos. Los espectaculares logros y el magnífico funcionamiento del CIMMYT indujo al establecimiento de otros centros internacionales de investigación como el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz, en Filipinas; los Centros Internacionales de Agricultura Tropical, en Colombia y en Nigeria, y el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas, en la India. A este conjunto de actividades y a los progresos en la producción cerealera se les conoce popularmente como la "Revo

lución Verde", de la cual nuestro país es indudablemente, precursor y líder mundial.

El hecho de que los cereales constituyen el alimento básico de muchas familias de bajos ingresos, hace que la introducción de las variedades mejoradas sea un método prometedor para aliviar las deficiencias proteínicas sin introducir modificaciones en la dieta habitual. El empleo de las nuevas variedades ofrecen un considerable incremento en la producción de alimentos en las zonas donde se consume maíz y trigo. También abren posibilidades de una amplia gama de ventajas de largo alcance, mediante el mejoramiento de la nutrición de los seres humanos y del ganado.

Sin entrar a analizar las técnicas genéticas que emplean en el desarrollo de híbridos y nuevas variedades, brevemente plantearemos las diversas dificultades con que tropezaron los científicos del CIMMYT para introducir entre los agricultores las nuevas semillas mejoradas.

En el caso del maíz, los mutantes originales Opaco-2 y Harinoso-2 fueron identificados en variedades de maíz adaptadas ecológicamente al clima templado del "cinturón de maíz" de Estados Unidos. Por tanto, no eran adecuados para la producción directa en las regiones tropicales y subtropicales, en las que podían producir, precisamente, las mayores ventajas.

Los nombres descriptivos "Opaco-2" y "Harinoso-2" indican las apa-

riencia física opaca, sin brillo, similar a la tiza de los granos en que por primera vez se aislaron e identificaron estos mutantes. Estas características representaban un obstáculo para los agricultores, que están acostumbrados a producir el tipo de maíz duro y hendido, de aspecto limpio, terso y lustroso.

La naturaleza blanda y feculenta del grano original da por resultado un menor peso específico de la semilla. Esto, a su vez, provoca una pérdida de rendimiento de 10% a 15% en función del peso.

Los tipos de grano blando parecen ser más vulnerables al ataque de enfermedades e insectos, tanto en el campo como durante el almacenamiento. Las últimas investigaciones indican que esto se debe al endosperma blando y no a la calidad altamente nutritiva del grano -como antes se creía- ya que se han obtenido variedades con aumentos de lisina y triptófano del orden de 43 a 220%.

El 11 de marzo de 1973 se dio fin a la etapa inicial del proyecto financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el que tenía por finalidad establecer un plan intensivo de trabajo que permitiría superar las dificultades encontradas en las variedades originales.

El programa genético y de reproducción desarrollado entre 1970 y

1973 -en el que intervinieron treinta y un países- ha demostrado que es posible obtener maíz vítreo, de endosperma duro, de alto contenido proteínico, de alto rendimiento y con características agronómicas convenientes para una amplia variedad de medios.

No obstante los casi idénticos recursos profesionales y enfoques de investigación que pudieron haber conducido a resultados tecnológicos igualmente significativos, el éxito obtenido en el caso del mejoramiento de la producción nacional del trigo puede calificarse de "espectacularmente mayor" que el logrado en el caso del maíz.

El Dr. Delbert Myren establece cuatro explicaciones principales:

- 1) Entre los dos cultivos, maíz y trigo hubieron diferencias importantes de localización, con sus correspondientes diferencias de calidad en los terrenos, especialmente en lo que se refiere a disponibilidad de riego. Se irrigó una mayor superficie de trigo que de maíz, ya que la producción de maíz en México depende primordialmente de la precipitación pluvial.
- 2) Los productores de maíz difieren de los de trigo. Los primeros son predominantemente productores de subsistencia; mientras que los segundos se dedican a la producción comercial y tienen un mayor nivel de alfabetismo.

3) Probablemente las explicaciones más importantes para el enorme éxito en la producción de trigo radican en ciertas diferencias técnicas entre los dos cultivos:

a) En el caso del trigo las nuevas variedades habían sido creadas con una mayor protección a las enfermedades que causaban pérdidas muy fuertes en las variedades ordinarias mientras - que en el maíz no existía ninguna enfermedad que constituyese un problema serio.

b) Las semillas de los nuevos maíces híbridos tenían que comprarse para cada temporada de siembra, mientras que la semilla de trigo, en caso necesario podía ser multiplicada por el propio agricultor o por los productores vecinos.

c) El nuevo maíz híbrido tuvo menor adaptación ecológica inherente que el trigo. Esto significa que el maíz necesita de más investigación y desarrollo locales específicos.

4) Finalmente, la superficie dedicada al cultivo del maíz en México es ocho veces mayor que la destinada al trigo, y hay cuarenta veces más productores de maíz que de trigo. Estas diferencias en números y dimensiones entre los dos cultivos, afecta seriamente la facilidad con la cual puede difundirse la nueva tecnología a través de los métodos de extensión y divulgación.

Midiendo los resultados del trabajo realizado en escala nacional en

términos del cambio escendente de los rendimientos por unidad de superficie, se puede visualizar claramente el fuerte contraste que existe entre ambos cultivos. El rendimiento medio de maíz obtenido en 1940 fue de 626 Kg/hectárea; en tanto que en 1960 llegó a 1341 Kg/hectárea.

De esta manera, durante un período de veinte años el rendimiento de maíz aumentó en 34%, mientras que el rendimiento del trigo ascendió en 76% (o sea más del doble de la cifra correspondiente al aumento obtenido en el maíz). El rendimiento pasó de 750kg/ha en 1940 a 2056kg/ha en 1960.

La diferencia se acentuó de 1960 a 1963, cuando el trigo registró una ganancia de 54 por ciento en el rendimiento unitario, en tanto que durante el mismo período el rendimiento de maíz permaneció constante.

Las cifras de 1970 muestran que el rendimiento de maíz alcanzó niveles superiores a una tonelada, (120 Kg/ha), que equivale a un aumento de 44% sobre el rendimiento alcanzado en 1960. Sin embargo, en trigo se registraron ganancias considerablemente mayores: se alcanzó un rendimiento medio de 2800Kg/ha, para todo el país, o sea 109% arriba del rendimiento medio de 1940.

Estas condiciones hicieron que durante los últimos años se intensificaran notablemente los esfuerzos de investigación y difusión de los

maíces híbridos; se llegó a obtener resultados experimentales muy satisfactorios. Pero, tenemos que recordar que si los conocimientos obtenidos en las investigaciones científicas no se aplican a aquellas esferas del bienestar humano donde más se necesitan, las investigaciones se convierten en un ejercicio científico estéril. Este concepto fue reconocido por los científicos que laboran en el CIMMYT, cuando dieron su apoyo y un gran impulso al Plan Puebla.

El Plan Puebla se estableció con el interés de conocer y desarrollar algunas de las formas que ayuden a solucionar, a corto plazo, dos problemas crónicos de los productores de subsistencia en México: 1) los bajos niveles de rendimiento de la producción; 2) los bajos ingresos y nutrición deficiente de la mayoría de la población rural.

Sus objetivos esenciales del Plan son:

- 1) Acelerar el aumento de los rendimientos de maíz de temporal en una región determinada.
- 2) Sistematizar la metodología del proceso de cambio para su posible aplicación en otros ámbitos sociales y económicos.
- 3) Desarrollar un programa de enseñanza y capacitación de técnicos con base en las experiencias adquiridas en la solución de los problemas

del pequeño agricultor dentro de una economía subsistencia.

La región seleccionada para el desarrollo del proyecto está formada por treinta y dos municipios del Valle de Puebla, que comprenden alrededor de 120,000 hectáreas, en su gran mayoría dedicadas a la producción de maíz. Asimismo, la tierra está dividida en pequeños predios. Los rendimientos medios eran muy bajos, las prácticas de producción, tradicionales, y casi todo el producto de la cosecha se consumía directamente en la finca. Se asumió que estos aspectos de la agricultura generalmente se relacionan con una raquítica tasa de crecimiento en la producción agrícola, por lo que se consideraron características deseables para la región del proyecto.

Una evaluación de los resultados conseguidos después de más de cinco años de operación del Plan Puebla, permiten ser optimista. Los éxitos logrados en la aplicación de la estrategia son muy alentadores: demuestran que es factible aumentar sustancialmente el rendimiento del maíz. Este incremento unitario ha creado confianza en los agricultores en cuanto a su capacidad para producir. Muchos desean producir el máximo posible para vender el grano al mercado y obtener más ingresos. Algunos han invertido este ingreso adicional en la compra de sembradoras-fertilizadoras de tracción animal, animales de trabajo, animales para producción de leche y carne, etc. Otros han decidido reducir sus áreas de maíz para sembrar otros cultivos como frijol, papa y frutales. Una gran parte de

los agricultores han iniciado la explotación familiar de cerdos, con los excedentes de maíz de elevado contenido proteínico, después de haber satisfecho sus propias necesidades.

En forma realista, se puede afirmar que la expansión de este programa aumentará significativamente los beneficios del area. Por ejemplo, considerando factible elevar los rendimientos de maíz de menos de una a cuatro - ton/ha en las 90,000 ha. de maíz que se cultivan en esta zona de trabajo, en los próximos tres años el incremento unitario de 3 ton/ha significará para los agricultores de la región un incremento por valor anual estimado en 25 millones de dólares. Esta cantidad es importante, no sólo por su magnitud sino por el potencial que significa para reinvertir en la agricultura y en el mejoramiento de las condiciones de consumo familiar, según las tendencias observadas. El pequeño agricultor se incorporará en forma efectiva a la economía del país, al adquirir poder de compra de bienes de producción y de consumo.

Finalmente, considerando la problemática de la agricultura de México, se pueden contemplar grandes posibilidades para aumentar la productividad de por lo menos unos seis millones de hectáreas bajo condiciones ecológicas favorables.

Esta acción, además de beneficiar directamente a un vasto número de familias, constituirá un primer paso firme hacia la revolución tecnológica que debe de alcanzar al pequeño agricultor y ejidatario.

La aplicación de la experiencia de Puebla a otras regiones del país es de urgencia inmediata. Así lo comprendieron hombres como el gobernador Hank Gonzáles, quien aprobó en el estado de México un plan de operaciones y un presupuesto de 3 millones de pesos en 1971, para iniciar el "Plan Maíz" que comprende una superficie cultivada de maíz de unas 425,000 ha. - Hay más de 150,000 familias de agricultores en la zona. Desde su implantación, el Plan Maíz ha puesto al alcance de 5,500 agricultores por año, no sólo las mejores prácticas de producción sino también créditos, y ha prestado asistencia a otros 25,000 agricultores cada año.

Los coordinadores regionales de este proyecto organizaron varios - "Planes Rancheros" en sus respectivas regiones. Cada Plan Ranchero está dirigido por un agricultor destacado de la zona. En la evaluación objetiva, los resultados obtenidos en estos programas son asombrosos: mediante la aplicación de adecuadas técnicas agrícolas se logró elevar el rendimiento promedio de 1277 predios de 1.3 toneladas de maíz por hectárea a 3.5 ton/ha.

Estos resultados indujeron al Estado de Tlaxcala, juntamente con el departamento de Extensión Agrícola de la S.A.G., a iniciar un pequeño - proyecto tendiente a aumentar la producción de maíz en la parte meridional del estado. La región tiene una superficie total cultivada de unas 25,000 hectáreas; aproximadamente 80% de esa superficie está dedicada al maíz, y allí viven cerca de 10,000 familias de agricultores.

En 1973, 972 agricultores participaron en el proyecto, administrando 2300 hectáreas de maíz de acuerdo con las recomendaciones del personal del proyecto. Se organizó en ochenta y dos grupos en treinta y siete comunidades. Percibieron créditos e insumos tales como fertilizantes e insecticidas para el cultivo del maíz.

Inmediatamente antes de la cosecha, se efectuó una evaluación del rendimiento de una muestra de los minifundios de los participantes. Se estimó que el rendimiento medio del maíz para las 2300 hectáreas se había elevado de 0.97 ton/ha a 2.4 ton/ha. Sin embargo, en este proyecto no se utilizó maíz de alto contenido proteínico, sino sólo variedades mejoradas de alto rendimiento.

El descubrimiento de los genes mutantes "Opaco-2" y "Harinoso-2" causantes de una marcada alteración en el contenido de algunos aminoácidos esenciales, que son deficientes en el maíz común -lisina y triptófano en el gene Opaco-2 y lisina y metionina en el Harinoso-2- ha conducido a una búsqueda de adelantos similares en otros cereales. En los últimos tres años se encontró una variedad de cebada procedente de Etiopía, llamada "hi-proly", que tiene casi doble concentración de lisina que la contenida en la cebada ordinaria. Actualmente se está trabajando en Suecia para tratar de incorporar este gene a variedades de cebada de alto rendimiento. La cebada es un alimento muy importante en muchas zonas de escasas lluvias en el Africa Septentrional y oriental y en el Cercano

Oriente, por lo que su mejoramiento sería muy valioso para la nutrición de un gran número de habitantes.

En los últimos dos años se hizo un nuevo descubrimiento importante en el mejoramiento del valor nutritivo del triticale, una especie experimental creada por el hombre y derivada de una cruce entre el trigo y el centeno. Estudios preliminares en la alimentación de animales han de terminado algunas líneas experimentales con valores de la relación de eficiencia de la proteína (PER) equivalentes a las proteínas de la leche, e incluso algunas equivalentes a las proteínas del huevo. Existen aún ciertos defectos agronómicos en todos los triticales, que deben de ser superados antes de que esta especie se convierta en un cultivo importante. El reciente descubrimiento del alto valor nutritivo en proteínas de esta especie justifica que se intensifiquen las investigaciones sobre ella.

El descubrimiento de genes que controlan el equilibrio de aminoácidos en proteínas vegetales, que permiten obtener mayores rendimientos por hectárea, dan a la planta nuevas características estructurales y de tamaño, le permiten mayor absorción y un aprovechamiento más completo de los fertilizantes, y crean nuevos híbridos más resistentes a las plagas y enfermedades, ha abierto nuevas perspectivas para el mejoramiento de la nutrición del pequeño agricultor. La investigación continúa en muchas partes del mundo. Pero, es necesario que estos programas se intensifiquen y que se capacite a más científicos y técnicos, para acelerar y difundir los logros obtenidos en la fitogenética.

## HORMONAS VEGETALES

Como los animales, las plantas dependen para su desarrollo de un balance muy delicado entre hormonas estimulantes y hormonas inhibitoras. Su crecimiento y diferenciación están determinados por la interacción de por lo menos dos mensajeros químicos, complementarios en su acción.

Estudios recientes han posibilitado la identificación precisa de la estructura química de estas sustancias y el establecimiento de sus mecanismos de acción. Esto ha permitido el desarrollo de hormonas sintéticas de uso comercial en la agricultura.

Cuando se inició el estudio de las sustancias promotoras del crecimiento de las plantas, el único grupo de hormonas que se conocía era el de las auxinas, representadas por el ácido indol-acético. Los experimentos preliminares dieron poca evidencia de que estas sustancias eran el factor crítico en la velocidad de crecimiento de las plantas.

En 1950, en forma independiente, un grupo de la Universidad de Illinois, en EE.UU. y la Imperial Chemical Industries, en Inglaterra, empezaron a realizar estudios con una hormona por primera vez disponible en occidente -a pesar de que había sido descubierta y aislada por químicos de la Universidad de Tokio en 1926: la gibberelina. Esta hormona es producida por un hongo patógeno -gibberella fujikuroi- que no requiere de esta sustancia para su crecimiento, pero que curiosamente la produce en

enormes cantidades. De hecho, la producción comercial de giberelina depende de la fermentación de este hongo en tanques, en un proceso muy similar al de la penicilina.

La giberelina ocasiona un veloz crecimiento de tallos y troncos, que alcanzan en ocasiones medidas seis veces mayores que las de una planta normal. Actualmente es empleada en Holanda en árboles frutales, principalmente manzanos y cítricos. Se logra que árboles jóvenes den frutos dos años antes de lo normal. En los viñedos se hace amplio uso de esta sustancia para producir uvas de mayor tamaño. La I.C.I. continúa investigando para encontrar nuevas aplicaciones de este producto.

Recientemente se encontró una nueva hormona derivada de la adenina, llamada quinetina. Desde su descubrimiento se han sintetizado varios compuestos activos similares, que se conocen con el nombre genérico de citoquininas. La acción de estas hormonas es acelerar la síntesis de ácidos nucleicos en la planta. Uno de los compuestos más empleados de este grupo de hormonas, la 6-( $\gamma, \gamma$ -dimetilamino) purina, es tan poderosa que en concentraciones tan bajas como del orden de 5 a 25 micromoles por litro, logran incrementar diez veces el peso de una planta en un período de tres semanas.

A mediados de 1960, en la Universidad de California en Davis, se aisló una nueva hormona extraída de las bolas de algodón, que denominaron abscisina II. Se creía que era la responsable de la caída prematura de las bolas de algodón (abscisión). Cornforth y sus asociados de la Shell

Research Ltd., en Modesto, California, lograron sintetizar y describir la estructura estereoquímica de esta hormona, que resulto ser 2-ciclohexeno-1-penta-2,4 ácido dienoico, 1-hidroxi- $\beta$ ,2,6,6,-tetrametil-4-oxo-cis-2-trans-4(d).

Ante la complejidad de esta nomenclatura, en 1967 durante la Conferencia Internacional sobre Hormonas Vegetales, se acordó denominarla ácido abscísico. Dado que este nombre ni describe la estructura química ni la actividad fisiológica de la sustancia, los químicos la llaman dormina.

La dormina es el inhibidor del crecimiento más poderoso que se conoce. Una parte por millón de esta hormona en los cultivos experimentales frenó totalmente el desarrollo de la planta. Manteniendo esta concentración en la solución en donde vive el vegetal, se lo conserva en estado latente de crecimiento durante largos períodos. Lo asombroso de la acción de este inhibidor es su extraordinaria reversibilidad: en cuanto es eliminado de la solución nutritiva, la planta reasume su crecimiento aun después de haber permanecido inactiva durante ocho semanas. Se encontró, además, que citoquininas -como la bensiladenina- no sólo neutralizan el efecto de la dormina, sino que son capaces de superarlo. Al agregar -cantidades tan pequeñas como 0.1 partes por millón, las plantas reanudaban su crecimiento normal.

La conclusión lógica es que el crecimiento de lo vegetales depende de la continua combinación de promotores e inhibidores. Dependiendo de las

condiciones y la planta de que se trate, los aceleradores del crecimiento pueden ser citoquinina, giberelina y/o auxina. El freno siempre lo da la dormina.

El descubrimiento del mecanismo de interacción entre promotores e inhibidores del crecimiento, hizo que se investigara más detalladamente la estructura y propiedades de estas sustancias, a fin de darles un uso práctico en la agricultura.

La auxina 2,4-D es el herbicida más efectivo que se conoce. Actúa - alterando el balance hormonal de la planta: acelera su crecimiento, pero en forma desordenada, en lugares donde no debería ocurrir. Así por ejemplo, se desarrollan raíces en la parte aérea de la planta al mismo tiempo que se inhibe el crecimiento de las raíces subterráneas. Estas anomalías suelen conducir a la muerte de la planta. Afortunadamente, el 2,4-D es muy selectivo en su acción: ataca en especial a un gran número de malas yerbas y maleza, y sin embargo, los cereales son insensibles a su acción, (parece ser que inactivan el efecto de la hormona al incorporarla a sus proteínas). Se requieren dosis muy pequeñas de este herbicida, del orden de 300 gramos por hectárea, para suprimir prácticamente toda la maleza del área.

Otras auxinas sintéticas -como el ácido naftalenacético y el ácido indol-butírico- son empleadas para impedir la caída prematura de peras, manzanas y algunos cítricos.

Las citoquininas se utilizan para preservar vegetales frescos durante largo tiempo, y para producir el crecimiento acelerado en varios cultivos.

La dormina y otros compuestos análogos están adquiriendo gran aceptación en las prácticas agrícolas. Sustancias como el CCC y el B-9 de la Shell son empleadas para promover el retoño de frutales, lo que se logra al inhibir el desarrollo vegetativo de la planta. El inhibidor TIBA es empleado extensamente en Estados Unidos para achaparrar la planta del frijol de soya y obligarla a producir más ramas y mayor cantidad de semillas.

En el futuro mediante la selección de genes específicos será posible desarrollar plantas capaces de mantener balances predeterminados de hormonas, que les darán mejores propiedades específicas.

PESTICIDAS DE TERCERA GENERACION Y CONSERVACION QUIMICA DE GRANOS

Resultaría ilógico concentrar esfuerzos en las diversas maneras de producir más proteínas si al mismo tiempo no se consideran las grandes y evitables pérdidas debidas a la acción de insectos, mohos y roedores. Las pérdidas en el campo, mientras está creciendo el cultivo y antes de ser cosechado pueden reducirse mediante el mejoramiento general de las prácticas agrícolas, que incluye el mayor empleo de insecticidas.

Las pérdidas ocurridas durante el almacenamiento de las cosechas son muy considerables. La importancia de este hecho se puede juzgar por esta relación: las pérdidas evitables sólo durante el almacenamiento de los cereales son mayores que la producción mundial actual de proteínas de las semillas oleaginosas.

Evitando estas pérdidas, además de obtenerse una fuente adicional de proteínas ahora no aprovechadas, se ayudaría a equilibrar las fluctuaciones de precio y suministro, tan perjudiciales para los intereses del consumidor como para los del agricultor.

Controlando la humedad, pueden reducirse mucho las pérdidas en almacén debidas a la acción del moho y los hongos. El crecimiento de mohos no sólo destruye el grano, sin que conlleva el peligro de las toxinas depositadas en la parte que se logra rescatar. Estas toxinas pueden ser tan

nocivas que en cantidades tan pequeñas como una parte por millón, causan carcinomas en el hígado de los animales de experimentación.

Los fungicidas que hasta ahora se han estado empleando tienen importantes limitaciones, pues únicamente se pueden emplear en cantidades pequeñas por ser muy tóxicos- por lo que no se logra un adecuado control de la plaga.

Por otro lado, el uso irrestricto de plaguicidas, además de alterar el balance natural de los diferentes ecosistemas, origina serios problemas de contaminación en las tierras de cultivo, las aguas, los productos cultivados y el ganado, y afecta en última instancia, la salud del hombre. Lo alarmante de este tipo de contaminación radica en que ante la continua ingestión de cantidades de plaguicidas en forma de residuos, se desconocen muchos de los efectos que puedan tener en el bienestar del hombre, a corto y especialmente a largo plazo.

En México hay más de 3500 fórmulas registradas de insecticidas, de las cuales cerca de dos terceras partes tiene gran poder residual. En diferentes pruebas efectuadas, se han encontrado residuos o depósitos de plaguicidas tan nocivos como el DDT, toxafeno, aldrín, dieldrín, lindano, malatión, etcétera. Todos estos productos son acumulables y de gran estabilidad. La ingestión máxima admisible no pasa de unas cuantas partes por millón; sin embargo, estudios realizados en México, por varios investiga-

dores (41), han determinado la existencia de cantidades hasta quince veces mayores que el límite permisible en una gran variedad de alimentos, algunos fumigados directamente y otros -como la leche, la carne y los huevos- en que los animales han sido alimentados con granos, pastos y forrajes con un alto contenido de estos plaguicidas.

Parece que la disyuntiva que se plantea es: combatir las plagas a expensas de los daños ocasionados al hacerlo, o bien permitir la pérdida de las cosechas. Afortunadamente, existen nuevas técnicas de combate de plagas que no emplean los insecticidas convencionales; y cuando el uso de éstos resulta imprescindible, esas técnicas permiten conocer con precisión las zonas de cultivo que deben fumigarse y cual es el momento óptimo para hacerlo. Se logra así reducir al mínimo el empleo de insecticidas y controlar sus efectos.

Es evidente la necesidad de asignar recursos más útiles y modernos a la protección y conservación de los alimentos. Se evitarán así mermas costosas e innecesarias, que llegan a cifras altísimas.

Para que tengamos noción de la urgencia que existe en minimizar las mermas, basta decir que las pérdidas anuales sufridas por la agricultura del país, a causa de daños provenientes de insectos, hongos, bacterias, roedores y malas yerbas representan más del 15% de la producción total y ascienden a un valor de 6000 millones de pesos. Solamente en los cuatro

cultivos básicos -maíz, trigo, frijol y arroz- las pérdidas en 1973 fueron superiores a 2000 millones de pesos, como puede establecerse en la tabla siguiente:

TABLA 5.4

Cultivo	Producción (miles de ton.)	Mermas (miles de ton.)	%	Valor de las mermas (millones de pesos)
Frijol	1,100	150	13.6	330
Maíz	9,500	1,400	14.7	1,350
Trigo	1,900	285	15.0	240
Arroz	383	62	16.1	90
Total	12,883	1,897	14.7	2,010

Fuente: Investigación propia con datos de la S.A.G.

Hemos expuesto las técnicas más recientes que permiten controlar las plagas sin causar desequilibrios en el medio ecológico como ha ocurrido hasta ahora. A continuación mencionaremos un método muy novedoso para minimizar las pérdidas por humedad de granos almacenados.

### Pesticidas de Tercera Generación

El hombre, en sus esfuerzos para controlar a los insectos con pesticidas, se ha encontrado con dos grandes problemas: 1) los insecticidas son demasiado amplios en sus efectos y no sólo han resultado tóxicos para los insectos destinatarios sino también para otros, llegando también al hombre por medio de la cadena biológica, debido a su perseverancia en el ambiente; 2) los insectos han desarrollado una notable habilidad de adaptación y resistencia a los pesticidas, con lo que obligan al hombre a incrementar tanto en cantidad como en toxicidad los fumigadores que emplea: se cierra así un círculo vicioso.

No es sino hasta tiempos relativamente recientes que el hombre comenzó su combate contra los insectos con ayuda de la química. En un principio utilizó lo que podríamos llamar pesticidas de primera generación: keroseno para cubrir charcos y pantanos, arsenato de plomo para envenenar a los insectos que muerden, nicotina y rotenona para las plagas que chupan.

Hace apenas treinta y cinco años que se logró sintetizar el primero de una segunda generación de pesticidas: diclorodifeniltricloroetano, o simplemente DDT. Rápidamente se generalizó su uso y se creyó que la batalla contra los insectos finalmente había sido ganada. Sólo unos cuantos hombres de ciencia advirtieron lo engañoso de la situación: pronto los

insectos desarrollaron resistencia al DDT, como lo han hecho las bacterias frente a la sulfanilamida. Comenzaron a metabolizar el DDT, volviéndose adictos a él; así están listos para seguir la batalla de su supervivencia.

La industria química pronto se dió cuenta de la necesidad de sintetizar otros insecticidas y creó un torrente de nuevos productos cuyas ventas superaron los 1000 millones de dólares en 1970. Gran parte de estos insecticidas han sido prohibidos en muchos países junto con el DDT, por los graves daños que ocasionaban.

La solución ideal sería encontrar agentes específicos en sus efectos, para atacar únicamente a los insectos dañinos, pero que continúen siendo efectivos porque sea imposible desarrollar resistencia contra ellos.

Durante los últimos quince años se han estado realizando investigaciones para tratar de encontrar este producto "ideal". En 1967, Carrol Williams, de la Universidad de Harvard, logró encontrar una solución práctica: atacar a los insectos con sus propias hormonas, para dar lugar a una tercera generación de pesticidas. Los resultados tanto en el laboratorio como en el campo fueron tan prometedores que varias compañías (como Hoffman-La Roche, Sandoz, Ciba-Geigy y Stauffer Chemical) asignaron fuertes recursos económicos para la investigación y desarrollo de esos plaguicidas.

Pero el liderazgo en este campo lo posee una pequeña compañía de California, Zoecon Corp., que en los tres últimos años ha logrado sintetizar y comercializar una gran gama de los nuevos productos. Estos - compuestos son análogos de las hormonas producidas en el organismo del insecto y se pueden agrupar en dos grandes clases: 1) hormonas reguladoras del crecimiento; 2) hormonas de atracción sexual.

#### Hormonas Reguladoras del Crecimiento

Estas hormonas -llamadas también juveniles- son compuestos que, aplicados a los insectos, ocasionan en ellos cambios morfogénéticos que originan la muerte del insecto o su incapacidad para reproducirse.

Estos compuestos son en realidad análogos de las sustancias naturales que sintetizan los insectos en las glándulas "corpora allata"; poseen muchas de las propiedades de los compuestos naturales, lo cual las convierte en sustancias ideales para el control de plagas. Las pruebas toxicológicas han demostrado que las hormonas juveniles no causan ningún efecto indeseado en el hombre, los animales, los vegetales, y el medio ambiente en general. Tampoco representan ningún peligro como mutágenos o carcinógenos.

Bajo las condiciones reales de uso, estos compuestos se degradan muy rápidamente, de tal forma que sólo permanecen en el medio ambiente

el tiempo necesario para controlar el problema de la plaga tratada. Esto significa que no son sustancias persistentes en el medio; en algunos casos es necesario hacer formulaciones especiales para prolongar su vida residual a fin de lograr un control económico de los insectos. En los últimos meses se anunció que están a la venta algunos de estos insecticidas, empacados en cápsulas poliméricas microscópicas que van soltando el compuesto activo lentamente, a medida que aquellas se van degradando (5).

A diferencia de los insecticidas comunes, los reguladores del crecimiento no son directamente tóxicos para los insectos que se desea eliminar, sino que le producen cambios morfológicos y genéticos que indirectamente le ocasionan su muerte o le inhiben el desarrollo sexual y destruyen así su posibilidad de reproducción.

En muchos de los insectos tratados con la hormona no ocurre la metamorfosis, y se originan intermediarios pupa-larva no viables y larvas que no se desarrollarán.

Estos compuestos encuentran su principal aplicación cuando es el insecto en estado larvario el que esta perjudicando la siembra; si se encuentra en estado adulto, habrá que recurrir a las hormonas de atracción sexual.

En un principio, se pensó que la hormona juvenil sería altamente específica. Sin embargo, la práctica demostró que casi todos los compues-

tos no son específicos a una especie, sino a una orden. La síntesis de los diferentes productos es similar, y todos parten de turpentina, que es la estructura básica común a todas las hormonas.

Los compuestos comerciales actualmente disponibles se han empleado exitosamente para combatir plagas en cultivos tan importantes como las de frijol, maíz y algunos forrajes.

La aplicación más reciente de las hormonas juveniles consiste en mezclarlas con alimento de ganado para que, una vez en el intestino del animal mate a las pupas que lo parasitan. Los científicos de Zoecon afirman que la estructura del análogo es tal, que no es absorbida por los tejidos del ganado. Pero esto todavía no ha sido probado.

Las ventajas del uso de las hormonas son evidentes: puesto que son análogos de compuestos naturales segregados por los insectos, éstos no son capaces de desarrollar resistencia o insensibilidad, a ellas.

Los reguladores del crecimiento son sustancias extraordinariamente activas y poderosas. Experimentos con gusanos de la harina demostraron que un gramo del análogo puede matar un billón de estos insectos. Según trabajos realizados por la Academia Checoslovaca de Ciencias, de diez a treinta gramos de la hormona son suficientes para eliminar a todos los insectos de un terreno de dos hectáreas. Por otra parte, son compuestos fácilmente biodegradables y de poca persistencia en el ambiente. Desde mediados de

1973 se usan con éxito en California, para combatir algunas plagas que habían desarrollado resistencia a todos los compuestos clorados y a los organofosfatos comunes. Para el control de estos insectos se usó DDT durante dos años, al cabo de los cuales los insectos lograron asimilarlo; se cambió por toxafeno, que resultó efectivo por un lapso igual. Los compuestos organofosforosos como el Baytex (fentión) dieron resultados durante - ocho a diez años, pero después de ser útiles. Entonces se recurrió a los carbamatos, que también resultaron ser efectivos, pero únicamente mataban adultos; esto obligó a fumigar con dosis diez veces mayores que la usada con los larvicidas. Después de diez días de emplear la hormona juvenil, - se logró controlar la plaga.

#### Hormonas de Atracción Sexual

Estas hormonas son conocidas también como feromonas, nombre que usaron los químicos Karlson y Butenandt para designar a las sustancias químicas segregadas por un animal, que afectan la conducta de otros animales de la misma especie.

Aún cuando el mayor número de feromonas identificadas y estudiadas son las de los insectos, se sabe que muchos otros grupos biológicos desde peces hasta algunos mamíferos, también las segregan.

Dos características importantes de estas sustancias son: 1) se encuentran ampliamente distribuidas en toda la naturaleza; 2) comunican asuntos de importancia vital para el animal como presencia de peligro, i-

dentificación de amigos o enemigos, llamadas de alarma o emigración, disponibilidad de alimento y urgencia de reproducirse. Son mensajeros químicos que llevan la información vital para sobrevivir.

En 1959 Butenandt logró extraer de medio millón de hembras de gusano de seda doce miligramos del compuesto activo de atracción sexual. Después de un arduo trabajo logró identificarlo como un alcohol primario de fórmula trans-10-cis-12-hexadecadien-1-ol: ésta fue la primera hormona de atracción sexual que logró aislar el hombre.

Desde entonces los trabajos en este campo han progresado inmensamente. La tecnología moderna ha permitido avanzar hasta el punto en que actualmente se conoce la estructura química de más de treinta feromonas y los patrones de conducta que éstos evocan en los insectos.

Una vez conocida la estructura de una feromona particular, se procede a buscar el medio de sintetizarla, para su producción comercial. La primera feromona producida en gran escala, (1968) fue la de la heliothis-zea, el principal destructor del maíz dulce, en Estados Unidos. Cada hembra pone de 500 a 2000 huevecillos; empleando la feromona, se logra hacerlas deshuevar en un área predeterminada, para después destruir los huevecillos e impedir así el nacimiento de las larvas.

En la actualidad, las feromonas son empleadas comercialmente en dos áreas: 1) como monitores; 2) para el control directo de algunos insectos.

En ambos casos, se emplea una mecha impregnada con una cantidad minúscula de la feromona, colocada en una especie de trampa de insectos, que se va volatilizando lentamente. La cantidad de sustancia química que se emplea varía entre 0.1 y 10 miligramos, y es efectiva de seis semanas a cuatro meses (esto depende de la feromona particular que se emplee, el insecto, las condiciones del medio, etcétera). Los recipientes en que se encuentra la mecha pueden ser de hule, plástico o celulosa: el empleo de uno u otro depende de la estructura química de la feromona y de la velocidad de volatilización requerida. Las feromonas son colocadas dentro de una trampa, que puede ser simplemente una caja con las paredes untadas de sebo o cualquier otro material pegajoso donde quedarán adheridos los insectos. La forma, el tamaño y el color de las trampas varían según el insecto de que se trate; también es variable la cantidad de trampas que se colocan, pero generalmente se emplea una trampa por cada hectárea y media que se desea tratar.

Como monitores, las hormonas de atracción sexual tienen los siguientes usos específicos:

1. Determinación del tiempo propicio para fumigar. Se logra así reducir al mínimo el número de aplicaciones por ciclo y las dosis empleadas. Esto se consigue al establecer en forma precisa el momento más oportuno para fumigar de acuerdo con el desarrollo del insecto.
2. Ubicación exacta de las fuentes de infestación.
3. Localización de nuevas plagas en la región, que permite tomar --

las medidas necesarias antes de que la infestación se extienda y se vuelva incontrolable.

4. Establecimiento de la necesidad o inutilidad del empleo de insecticidas. En caso de requerirse, por medio de las trampas se puede determinar si hay que fumigar todo el campo de cultivo o sólo ciertas áreas.

En Estados Unidos, los resultados prácticos obtenidos permitieron reducir de ocho a tres el número de fumigaciones por ciclo y disminuir las dosis de plaguicidas, en ciertos casos, hasta en una octava parte.

El control directo de plagas mediante el uso de feromonas puede realizarse de dos maneras: 1) captura masiva de insectos de ambos sexos; 2) uso de elevada concentración de la hormona de atracción sexual. En el primer caso, los insectos son atraídos por la feromona a una trampa que contiene material pegajoso, o a una especie de jaula. También los puede atraer a una trampa que contiene una hormona juvenil o algún material tóxico, o puede colocarse la trampa algún virus o bacteria que afecte el desarrollo de toda la colonia, una vez que los insectos infestados retornen a ella.

En el segundo caso, cuando la concentración de la hormona de atracción sexual es muy elevada el insecto macho "se confunde" y muere sin lograr encontrar a una hembra: así se impide la reproducción de la plaga. En este sentido desde 1967 se realizan interesantes experimentos en la Universidad de California, en Riverside, al tratar con altas concentracio-

nes de feromonas a los machos que diezman sembradíos de coles. La inhibición de insecto requiere de una de las dosis más altas de feromona, calculada por el grupo investigador en  $1 \times 10^{-10}$  gramos por litro de aire, equivalente a 0.4 gramos de feromona/hectárea diarios. En una granja agrícola de 500 hectáreas con un período de cultivo de tres meses se necesitaron 20 kilogramos de feromona para eliminar totalmente la reproducción de la polilla de las lechugas.

En conclusión, las hormonas reguladoras del crecimiento y las feromonas no son una panacea. Sin embargo, resultan factores de control de plagas con inmensas posibilidades, ya que son sumamente potentes, no tóxicas, estables pero no persistentes en el medio, y compatibles con el control biológico de las plagas. Además muchas veces aumentan la eficiencia del control biológico al permitir que los insectos benéficos y predadores aumenten en número.

Por último, mediante el empleo de feromonas se logra determinar la extensión de la plaga, los momentos más adecuados para fumigar y el número de veces que conviene hacerlo, con lo que se consigue un uso más racional y juicioso de los insecticidas convencionales.

## CONSERVACION QUIMICA DE GRANOS

La conservación química de granos de un alto contenido de humedad - es una técnica novedosa que permite incrementar tanto la cantidad como la calidad de esos alimentos básicos.

Los granos son preservados mediante un tratamiento con ácidos orgánicos que inhiben el desarrollo de microorganismos. Así pueden cosecharse - inmediatamente después de que las semillas han alcanzado su madurez fisiológica, con lo que se logra evitar las pérdidas que ocurren mientras el grano se seca en el campo. Los granos así tratados pueden almacenarse con un alto contenido de humedad, sin pérdidas por descomposición.

La humedad es una de las principales variables que afectan la descomposición de los granos almacenados. En granos no tratados, un alto contenido de humedad propicia el desarrollo de microorganismos parásitos, que se multiplican rápidamente que reducen tanto el volumen como la calidad nutricional del grano almacenado. Los microorganismos -principalmente el moho y las bacterias- permanecen inactivos en los granos almacenados que han sido suficientemente secados previamente; el contenido de humedad crítico, debajo del cual los microorganismos permanecen en estado latente, corresponde a 13-14% para el maíz y el trigo y a 12-13% para el sorgo y el frijol. El agua que todavía queda en el grano seco está enérgicamente adherida - por adsorción física a la superficie de la semilla, de tal manera que no hay disponibilidad de suficiente agua libre para sostener el desarrollo de

los microorganismos.

Los máximos rendimientos son obtenidos cuando el grano se cosecha poco después de haber alcanzado su madurez fisiológica. (El valor nutricional de la semilla no aumenta si ésta permanece en la planta después de esta etapa). Los estudios más recientes demuestran que los rendimientos son óptimos cuando el grano es cosechado con un contenido de humedad promedio -- que varía entre 24 y 30%. Como los microorganismos infestan a los granos almacenados que no han sido tratados cuando su contenido de humedad es superior al 18-20%, la práctica más usual permite que el grano se seque en el campo, antes de cosecharlo. Sin embargo, esta práctica presenta inconvenientes, ya que propicia diversas pérdidas que ocurren en forma natural, mientras el grano se esta secando, como por ejemplo la caída motivada por efectos del viento y la lluvia.

Los insectos, los pájaros y otros animales también reducen los rendimientos. Además, el grano que permanece en el campo en condiciones que no favorecen un secado rápido, esta sujeto a germinar y expuesto al ataque de moho. Durante los últimos dos años las cosechas de sorgo en el estado de Tamaulipas han sufrido pérdidas de hasta 60%, por retrasos en la cosecha - ocasionados por problemas climáticos.

Con los preservativos químicos se pueden superar muchos de estos inconvenientes ya que permiten cosechar grano con un contenido de humedad de entre 24 y 30%, que es cuando los rendimientos potenciales son máximos. Además, las pérdidas mecánicas durante la cosecha son notablemente inferior

res para granos de un alto contenido de humedad. Por último, la conservación química ofrece una gran flexibilidad para cosechar cuando el clima es favorable.

Con frecuencia se emplean secadores a base de aire caliente, para reducir el contenido de humedad de los granos que serán almacenados. Obviamente, esta técnica presenta dos desventajas: 1) requiere de una alta inversión inicial en el equipo de secado; 2) la actual crisis de energéticos pone en duda la disponibilidad de combustible barato.

Pero por el otro lado, en el secado natural se pierde una porción considerable de la cosecha.

Estas circunstancias obligaron a buscar alguna técnica que permita conservar al grano durante largos períodos de almacenamiento y a la vez, que no requiera de grandes insumos, como los secadores.

Después de casi seis años de investigaciones, la Celanese Chemical -- Company logró desarrollar una mezcla de ácidos orgánicos que lanzó al mercado a fines de 1973 con el nombre comercial de ChemStor. Estos preservadores químicos ofrecen numerosas ventajas, que los hacen realmente atractivos. Los granos pueden ser almacenados con un contenido de humedad de hasta 25%, sin peligro de descomposición posterior, con el empleo de ChemStor, en proporción únicamente del 0.7% en peso. Los ácidos orgánicos empleados para proteger los granos almacenados son totalmente consumidos y -

metabolizados por el organismo. Las pruebas hechas hasta ahora con ganado han demostrado que estos compuestos son asimilados con una eficiencia que varía entre 40 y 60%, y convertidos en energía para las funciones vitales y en materiales necesarios para la síntesis de lípidos y prótidos.

Las ventajas nutricionales de emplear granos con un alto contenido de humedad -principalmente en las dietas de animales- son bien conocidas desde hace tiempo. Sin embargo, debido a las técnicas de almacenaje empleadas no es fácil conservar grano con niveles tan elevados de humedad sin dañarlo posteriormente. El almacenaje de granos en silos -el procedimiento más difundido- tiene ciertas limitaciones y presenta algunos problemas.

El grano ensilado debe encontrarse en una atmósfera restringida en oxígeno para limitar la fermentación de la semilla y la formación de ácidos orgánicos, como el ácido láctico. Al extraer los granos de un silo, éstos son atacados rápida y fácilmente por el moho, que lo echa a perder en unos cuantos días. Obviamente, el grano ensilado no puede emplearse en sistemas de auto-alimentación de animales -en los que las semillas permanecen expuestas directamente al aire pues ocurre un rápido deterioro.

En contraste, el grano que ha sido tratado con los preservativos químicos no requiere de una atmósfera controlada en el almaceñ. No contiene moho ni bacterias, que ocasionan pérdidas en la materia seca y son capaces de generar micotoxinas perjudiciales. Al ser expuesto al aire, aun durante períodos prolongados, no es atacado por el moho.

Tanto los estudios realizados en diferentes universidades de Estados

Unidos, así como los resultados obtenidos por los granjeros, confirman - que el grano preservado químicamente es un excelente alimento para los animales. Su valor nutricional es mayor que el del grano seco, con un aumento en la eficiencia de aprovechamiento del 14% para el ganado vacuno y 11% para los cerdos.

En la Universidad de Texas, en Austin, se realizaron experimentos - para determinar la calidad nutricional de los granos tratados con ácidos grasos volátiles, como preservativos, así como para determinar su inmunidad biológica, y a la vez compararlos con granos almacenados en forma convencional. El grano ensilado tres meses era oscuro y con olor a fermentación. El grano preservado químicamente parecía recién cosechado, a pesar de que había permanecido en el almacén por más de cinco meses. Ambas muestras eran muy parecidas en su composición, sólo que las provenientes del silo contenían aflatoxinas, un agente carcinogénico. El análisis de las muestras aparece en la tabla 5.5.

A esto hay que agregar que las ratas alimentadas con grano ensilado consumían una cantidad mucho mayor de semillas, aunque aumentaban de peso en la misma proporción; pero requerían de más alimento por unidad de peso ganado, que las ratas alimentadas con grano tratado con ChemStor. Desde el punto de vista alimentario, el grano preservado es mucho mejor. Las ratas que comían granos de silo tenían hígados muy desarrollados. Las observaciones patológicas mostraron que se trataban de síndromes hepáticos originados por el contenido de aflatoxina en el maíz. Cuando estas mismas raciones

se proporcionaron a una muestra de patitos, -los animales más sensibles a las aflatoxinas- se encontraron que tenían hígados muy grasosos y pálidos que indicaban un significativo y sistemático estado de deterioro.

TABLA 5.5

ANALISIS	PRESERVADO	ENSILADO
Humedad (%)	30.0	34.4
Proteína "	12.37	9.75
Grasa "	4.48	4.59
Fibra "	3.2	3.8
Ceniza "	1.56	1.33
Aflatoxinas (ppm)	0	0.25-0.60
Microorganismos/g	118	>10x10 <sup>6</sup>

Fuente: Stewart et. al. (138)

De este modo, se estableció lo siguiente sobre los granos: 1) los que tienen un alto contenido de humedad, que fueron preservados con ácidos orgánicos, son mejor alimento que los húmedos ensilados y mucho mejor que los secos; 2) los tratados se encuentran libres de toxinas perjudiciales.

Conviene mencionar otra ventaja que ofrece el uso de los ácidos or-

gánicos volátiles: la versatilidad que resulta en cuanto a geometría y materiales de construcción aplicables en almacenes de granos. Además, no existen las limitaciones clásicas en cuanto a forma y tamaño, que presentan los silos tradicionales. De modo que los almacenes para granos preservados pueden tener diversidad de tamaños y formas, y ser construídos de madera, aluminio, acero al cromo, acero inoxidable, plásticos, elastómeros y concreto. Esto ofrece una gran variedad de posibilidades, prácticamente adaptables a cualquier necesidad.

## PROTEINAS UNICELULARES

En 1968 se reunió -con los auspicios del Instituto Tecnológico de Massachusetts (M.I.T.)-un grupo internacional de expertos, que acordaron agrupar con la denominación de 'proteína unicelular' a todas las - fuentes de proteína provenientes de organismos unicelulares o multicelulares simples, como bacterias, hongos, levaduras, algas, y posiblemente protozoarios.

Actualmente, sólo las proteínas obtenidas a partir de levaduras sobre derivados del petróleo y las de las algas tienen interés industrial, dado su inmenso potencial. En este apartado nos referiremos a las técnicas que se han desarrollado en torno de estas dos fuentes, para tratar de obtener proteínas de calidad a bajo costo.

## PROTEINAS DEL PETROLEO

El "Kirpatric Chemical Engineering Achievement Award" es otorgado cada dos años a la compañía química que, a criterio del jurado, haya desarrollado el proceso más creativo en la Ingeniería Química, en tal período. El premio 1973 fue asignado "con grandes honores" a la BP Proteins Ltd., "No sólo por las notables innovaciones tecnológicas que encierra su proceso sino, además, por su relevante significación social". (26)

El proceso desarrollado por la BP es la producción de proteína de alta calidad a partir de hidrocarburos, en escala industrial. Debemos desta

car que la idea de producir proteínas a partir del petróleo no es un proceso nuevo, ni es exclusivo de la BP. En la actualidad las principales compañías petroquímicas tienen programas de investigación y desarrollo en esta área. Hay informes de diferentes grupos que realizan significativos esfuerzos para llegar a una aplicación práctica y económicamente atractiva en la producción de proteínas. La Esso Research and Engineering Company de New Jersey ha unido sus recursos a los de la Compañía Nestlé de Vevey, Suiza, para realizar investigaciones en este campo. El grupo Nestlé/Esso ha construido plantas experimentales en Estados Unidos y Suiza, para estudiar la obtención de proteínas a partir de fracciones de alcanos ( $C_{13}$ - $C_{19}$ ).

La Shell International Petroleum anunció que su departamento de investigación había encontrado un método práctico y económicamente atractivo, para producir proteína utilizando el gas natural como fuente de energía. Se sabe que la Mobil Oil Company está muy activa en esta área, a pesar de que no ha publicado ninguna información. El hecho es que, además del proceso desarrollado por la B.P., existen por lo menos otros dos (el de la Kanegafuchi Chemical Industry Co., Ltd. de Osaka, Japón, y el del Instituto Francés del Petróleo) que tienen plantas comerciales en operación, y cuya tecnología está a la venta.

Sin embargo, debemos reconocer que la B.P. es la precursora de estos trabajos y la que posiblemente tiene por el momento el liderazgo mundial: por ello pondremos mayor énfasis en la presentación de su proceso. La producción de proteína por microorganismos a partir de materiales con un alto contenido de carbono, no es una idea nueva. Durante muchos años, el creci

miento de levadura -tanto para alimento humano como animal- ha constituido una industria aunque pequeña, apreciable.

Los microorganismos crecen sobre sustratos ricos en carbono, y producen la levadura que tiene un alto contenido de proteínas y vitaminas, comparable a los productos de origen animal. Este método de producción de -- proteínas presenta varios aspectos que lo hacen atractivo. Los organismos crecen en forma sumamente rápida y doblan su peso cada cuatro horas o menos (varias miles de veces la velocidad con que los animales sintetizan proteínas).

Las levaduras son producidas en melazas y otras mieles incristalizables, que se consideraban producto de desperdicio, pero que actualmente están adquiriendo gran demanda como fuente de energía en los alimentos para animales. También se han desarrollado técnicas de cultivo que emplean subproductos industriales actualmente considerados como desperdicios industriales contaminantes, tales como los licores de sulfito de la industria papelera. Pero resulta claro que la limitante principal la constituyen los pequeños volúmenes de licores disponibles, así como las restricciones económicas que impone su recolección. En la práctica, estos factores han determinado la capacidad de producción de las plantas tradicionales de levadura, limitándolas a un máximo de 10,000 a 15,000 toneladas métricas por año, en cada unidad productiva.

La pregunta que ahora se plantea es: ¿pueden los hidrocarburos servir en lugar de los carbohidratos, como el medio básico para el crecimiento de los microorganismos?

Desde hace mucho tiempo se sabe que el moho crece sobre petróleo: se encuentra en el fondo de los tanques de almacenamiento, en los equipos de refinación, en tierras impregnadas de petróleo y aun en caminos alquitranados. En 1952, Félix Just, informó que había logrado cultivar en laboratorio levadura sobre hidrocarburos puros de la familia de las parafinas.

Este informe impulsó a un grupo investigador de la Société Française des Petroles B.P. (una compañía adjunta del British Petroleum Co.,) a lanzarse a explorar las técnicas que permitirían realizar cultivos de levaduras en gran escala sobre fracciones del petróleo. Se instaló la primera planta piloto en Lavera, cerca de Marsella, Francia, en 1963.

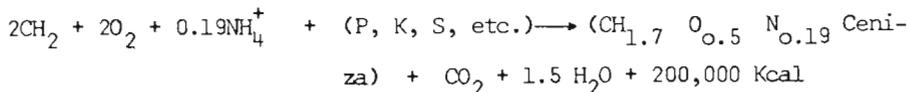
Consideraremos primeramente la mecánica básica del proceso, que es la misma de los otros procesos comerciales.

Cuando la levadura crece sobre azúcar u otros desperdicios, el medio para la fermentación consiste en carbohidratos en solución, compuestos minerales y compuestos orgánicos solubles que contienen nitrógeno, fósforo y potasio, además de pequeñísimas cantidades de otros elementos y vitaminas. Se hace burbujear a través del líquido un flujo de aire para suministrar oxígeno y mantener un buen mezclado en el recipiente donde se realiza la fermentación. Tanto la temperatura como la acidez son cuidadosamente controladas, con el fin de lograr la máxima reproducción de las células de levadura. Las células se colectan por centrifugación o por filtración. Son lavadas y secadas hasta obtener un producto sólido, que es extensamente --

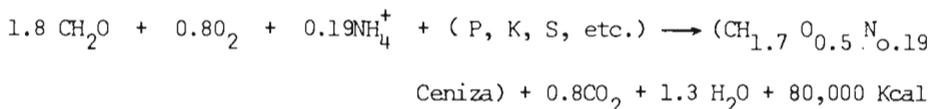
empleado como material alimenticio pues contiene cerca de 50% de proteína, agregándole sabor se utiliza como base de gran variedad de alimentos preparados, desde sopas hasta helados.

La producción de levaduras a partir de hidrocarburos presenta varias complicaciones que no existen en la industria tradicional de levaduras. La diferencia esencial entre ambos sustratos reside en que mientras los carbohidratos proveen a las células de algunos de los materiales necesarios para su crecimiento -carbono, hidrógeno y oxígeno en solución acuosa- los hidrocarburos sólo suministran carbono e hidrógeno en una forma prácticamente insoluble en agua. Por tanto, el oxígeno debe entonces de suministrarse en grandes cantidades, proveniente del aire atmosférico. Los otros nutrientes esenciales, comunes a ambos sustratos son los cationes:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ , ---  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y los aniones:  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ . Además hay que agregar pequeñas cantidades de material biológico específico, indispensable para el crecimiento de los microorganismos.

La conversión metabólica de los hidrocarburos procede vía oxidación, para dar como productos últimos proteína celular, carbohidratos y lípidos, en tanto que se liberan grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La reacción global puede expresarse en Kg-moles aproximadamente como:



Esta puede ser comparada con la reacción que se verifica sobre carbohidratos como sustrato; empleando la misma fórmula para la biomasa:



Los calores molares que son liberados corresponden, respectivamente a 7600 y 3000 Kcal por kg de biomasa seca (producto terminado).

Las diferencias esenciales que debemos notar, son: 1) al usar hidrocarburos en vez de carbohidratos, se requiere de un suministro de oxígeno atmosférico casi 2.5 veces mayor; 2) en la reacción se libera más del doble de calor; 3) puesto que las dos fases líquidas son virtualmente inmiscibles, hay que agitar enérgicamente para lograr una buena dispersión del pequeño volumen de la fase de hidrocarburos en la mucho mayor masa que representa la fase acuosa.

#### El Proceso de la British Petroleum

La BP ha desarrollado paralelamente dos procesos para la obtención de la levadura -comercializada con el nombre de "Tropina"-, que difieren en la materia prima empleada. La primera planta (en Grangemouth, Escocia, con una capacidad de 4,000 toneladas métricas/año de Tropina) emplea como sustrato n-parafinas puras; la segunda (en Lavera, Francia) parte para la síntesis de proteína de gasóleo (gas oil), diseñada para una producción de 50 toneladas/día (16,000 toneladas/año) de producto terminado. En febrero de este año, Foster Wheeler comenzó la construcción de una tercera planta en Sardinia, con una capacidad de 100,000 toneladas métricas/año para Ital--protein (subsidiaria de British Petroleum), en sociedad con ANIC (complejo petroquímico estatal italiano).

En ambas versiones del proceso, sólo se consumen las n-parafinas. Para el proceso de Grangemouth, se emplean alcanos, hasta  $C_{18}$ , obtenidos de la fracción media en el destilado del crudo, que son consumidos casi en su totalidad durante la fermentación.

En la unidad de Lavera se consumen preferencialmente las n-parafinas contenidas en el gasóleo ordinario de refinería. Sin embargo, en este caso sólo se convierte alrededor de 10% de la corriente alimentación: el resto es recuperado para uso normal en las refinerías.

1) El proceso de las n-parafinas, la fermentación se realiza en condiciones totalmente asépticas, de modo que están eliminados todos los organismos excepto el específico, que es inoculado al sistema. En el proceso de gasóleo el microorganismo seleccionado domina la fermentación mediante la correcta elección del pH y la temperatura de operación.

2) Los n-parafinas son una materia prima relativamente costosa, pero se consume casi en su totalidad durante la fermentación. Esto simplifica mucho el proceso de separación de las células de los licores de fermentación y se evita la subsecuente purificación con solventes de la biomasa obtenida. Por otro lado, el gasóleo es un producto más económico; pero, como no es consumido en su totalidad, debe ser separado de las células, y éstas son lixiviadas hasta obtener un producto final de calidad satisfactoria.

En ambos procesos se presenta el problema de promover y controlar la fermentación en un sistema de cuatro fases: dos líquidos (nutrientes en solución acuosa e hidrocarburos), un gas (aire, para el suministro de oxígeno) y un sólido (la levadura).

Antes de diseñar un fermentador adecuado, hubo que determinar los niveles óptimos para los parámetros clave: composición del medio acuoso, - concentración de hidrocarburos, grado de aereación y agitación, pH, temperatura y tiempo de residencia.

El requerimiento estequiométrico de oxígeno, mucho mayor que en los - procesos que emplean carbohidratos, obligó a diseñar fermentadores con los correspondientes altos coeficientes de trasferencia de oxígeno. Así se diseñaron unidades con velocidades de transferencia hasta de  $15 \text{ kg/m}^3\text{h}$ , tres veces mayores que los de reactores para hidrocarburos usados en otros procesos.

El dimensionamiento del fermentador fue uno de los más importantes - factores en consideración, ya que sólo cerca del 30% del oxígeno suministrado es consumido por los microorganismos (el proceso requiere 30 tone--ladas de aire por tonelada de levadura).

El grupo de Lavera diseñó un reactor en que el aire introducido provee al sistema tanto de aereación como de agitación; el otro grupo optó por un reactor continuo, agitado con baffles. Ambos se encontraron con el grave problema del enfriamiento. Para una instalación de 100,000 ton/año, la emisión de calor es equivalente a la que produce una planta de 115 Mw de potencia. El método tradicional de enfriar los fermentadores por medio de una chaqueta de agua quedaba fuera de consideración, y se hacía obvia la necesidad de un cambiador de calor externo.

El cálculo del coeficiente de trasferencia de calor de los licores de

fermentación demandó mucho trabajo experimental. La naturaleza sumamente corrosiva, tanto del licor como del enfriador, obligó a seleccionar materiales de construcción muy especiales. Al estudiar este problema, se encontró que era necesario aerear el licor para mejorar la eficiencia de -- bombeo. (La figura 14 es un diagrama de flujo para el proceso de n-parafinas).

Las condiciones asépticas se mantienen únicamente en el fermentador. Después, solo se toman las precauciones normales, similares a las normas que se siguen en la industria alimentaria, para mantener un alto nivel de limpieza. La mayoría del equipo es de acero inoxidable: esto facilita que la operación se efectúe en forma higiénica.

Por constituir las n-parafinas un sustrato tan rico para la fermentación, no existe ningún método para controlar en el fermentador al microorganismo adecuado. Por tanto, se deben esterilizar todas las corrientes de alimentación y entonces inyectar los microorganismos directamente al reactor. La esterilización de las corrientes líquidas se hace por los medios convencionales, tratándolas con calor. Sin embargo, esto complica el diseño hidráulico de la tubería pues es necesario tener condiciones estériles desde el arranque, y mantenerlas así para cualquier cambio en el gasto de alimentación.

También la corriente de aire debe ser tratada. El equipo existente no resulta económico debido a los grandes gastos que se manejan y a la extrema esterilidad que se requiere. Por ello, la compañía diseñó un no-

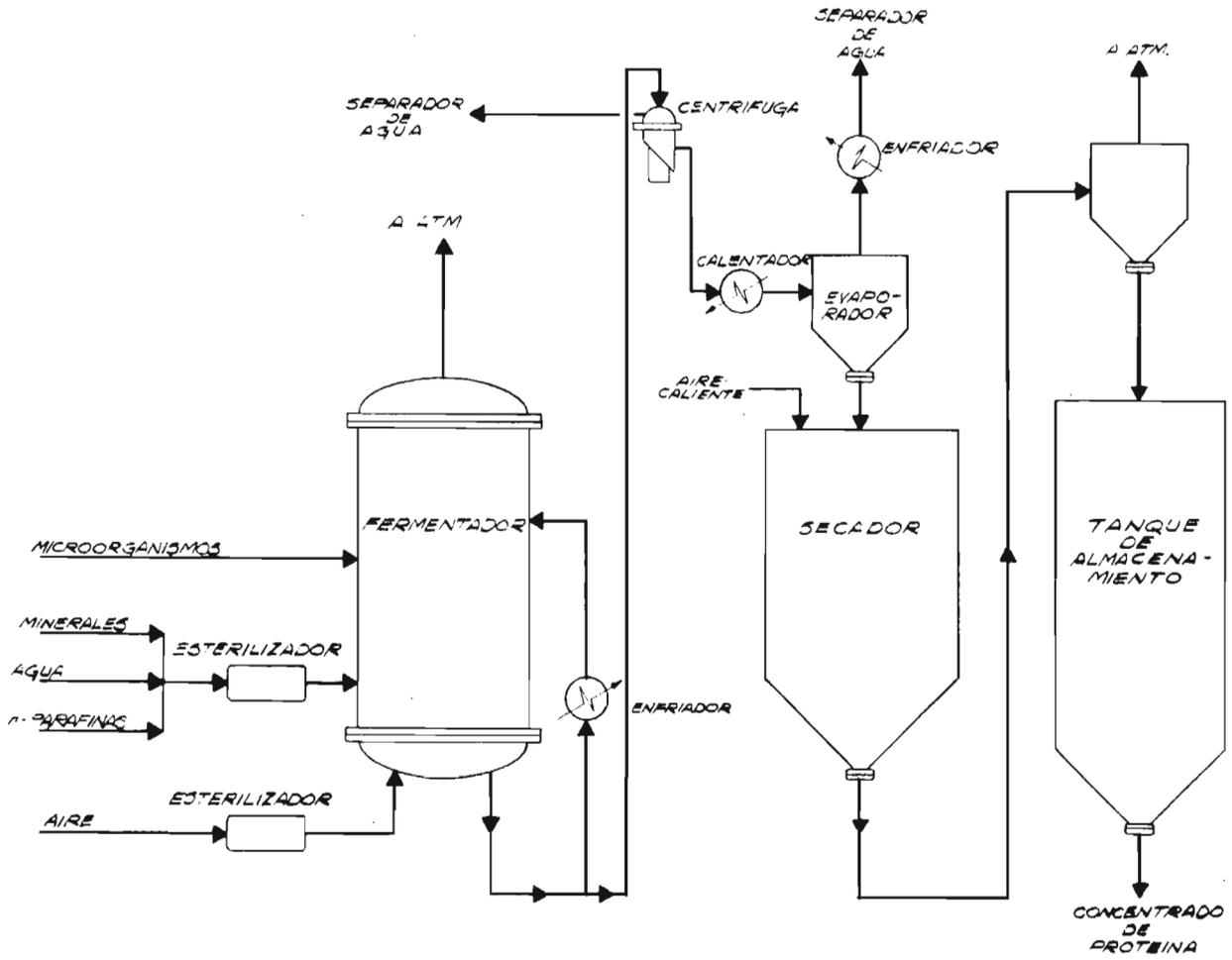


Fig. 14 PROCESO DE n-PARAFINAS (B.P)

vedoso sistema de filtración de aire (bajo patente), tan eficiente que no permite el paso de más de una bacteria por cada 100 horas de operación -- del filtro.

El nitrógeno -esencial para el crecimiento de las células- es suministrado por una corriente de amoníaco, alimentada continuamente en la corriente de aire. Este amoníaco sirve, además, para mantener el pH deseado dentro del fermentador. Así, el gasto alimentado es controlado automáticamente de acuerdo con el pH de la solución. La temperatura dentro del reactor se mantiene a 86°F. (30°C).

El CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación y el exceso de aire introducido son venteados, después de haber pasado por otro filtro estéril, para tener seguridad de que no habrá contaminación posterior. El producto del reactor se procesa en un separador centrífugo, donde se separan una fase acuosa y un concentrado "cremoso" que contiene a la levadura. Esta crema -- con aproximadamente 15% de sólidos en peso- es concentrada en un evaporador de múltiple efecto, en el que se logra obtener una gran economía por recompresión del vapor. La crema concentrada pasa entonces a un secador de rotación. El polvo seco -que contiene entre 5 y 6% de humedad se descarga de la cámara de secado en un separador ciclón y de ahí pasa a un sistema de transporte neumático. Aquí se enfría y luego pasa al almacén.

En el proceso de gasóleo, los parafinas constituyen sólo 10% de la corriente de alimentación. Consecuentemente, aun después de la centrifugación la levadura contiene cierta cantidad de gasóleo no metabolizado. Me--

diante un novedoso circuito de extracción a contracorriente, los hidrocarburos remanentes son separados, y quedan menos de 0.08% de residuos en el producto. También se separan la mayoría de los lípidos celulares que se hayan formado. Este paso involucra una cantidad de problemas -- técnicos ocasionados por el pequeño tamaño de las partículas que deben separarse (apenas de 1 a 5 micrones de diámetro). La compañía no ha revelado ninguna información de este paso: se ha concretado únicamente a decir que se emplean solventes comerciales. Los pasos posteriores son análogos a los que se siguen en el proceso de n-parafinas.

La Tropina obtenida por el proceso de n-parafinas tiene un contenido de proteína cruda de 63 a 65% en peso (base seca), mientras que la del -- gasóleo contiene entre 68 y 70% de proteína en peso.

La tabla 6.1 detalla la composición de las levaduras obtenidas en ambos procesos, así como su aminograma. Su composición en aminoácidos es similar a la harina de soya, sólo que es ligeramente inferior en su contenido de metionina, característica común a todas las levaduras.

Rendimiento y costos En ambos procesos se obtiene cerca de 90 partes de -- biomasa (en peso) por cada 100 partes de n-parafinas convertidas. Esto re-- presenta un consumo casi total de los hidrocarburos alimentados en la va-- rriante n-parafinas, pero sólo llega a 10% en peso de los hidrocarburos su-- ministrados en el proceso del gasóleo. Además, en el paso de purificación en este último proceso extrae 15% de biomasa (principalmente lípidos), que después son recuperados. Estos materiales tienen un apreciable valor comer-- cial. Durante la fabricación de la biomasa, la finalidad es lograr una al--

Fig. 15 PROCESO DEL GASOLEO (B.P)

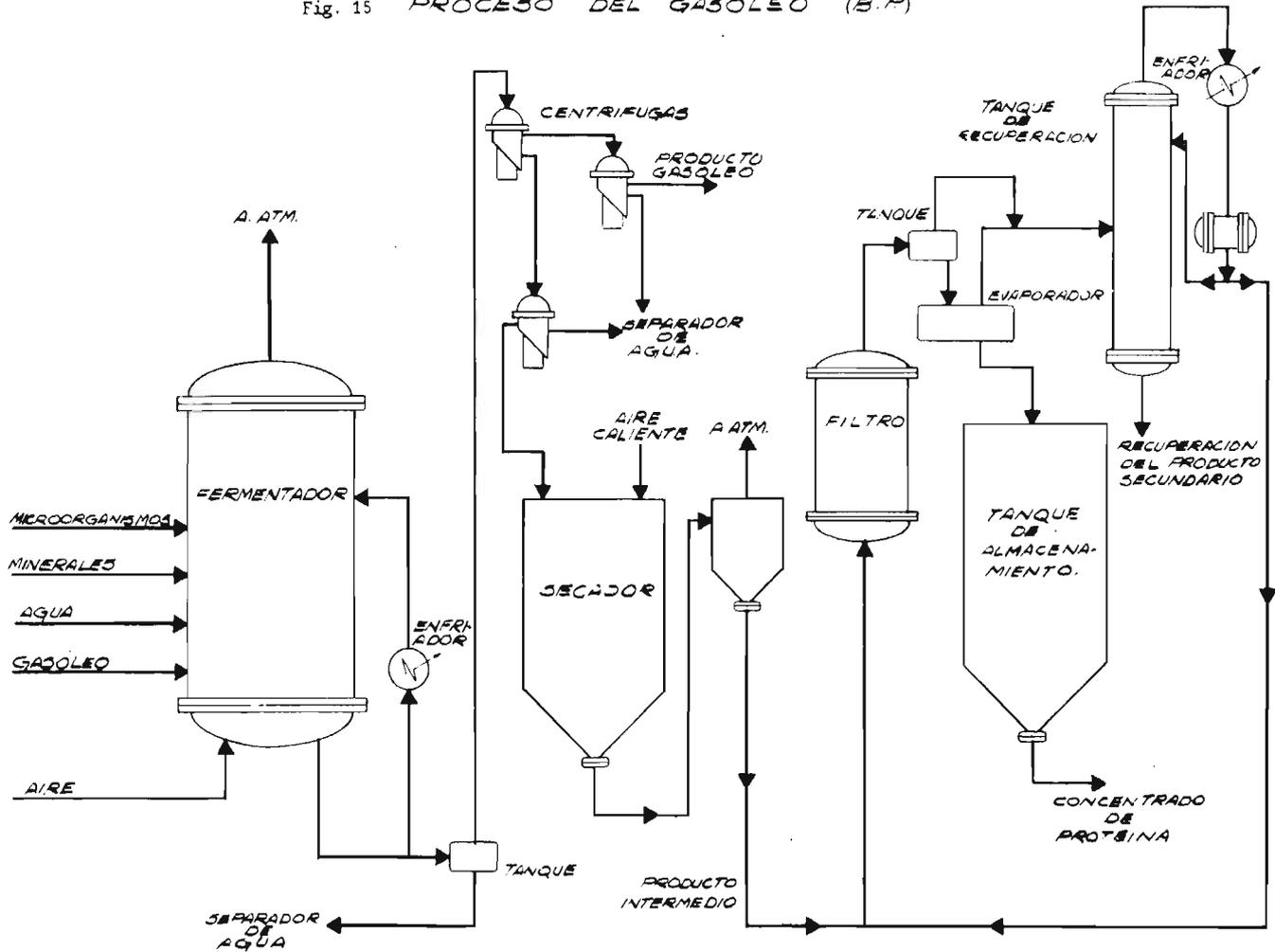


TABLA 6.1

ANALISIS	% en peso	
	n-parafinas	gasóleo
Humedad	4.2	5.0
Nitrógeno	10.4	11.0
proteína cruda (N x 6.25)	65.0	68.5
Lípidos	8.1	1.5
Cenizas	6.0	7.9
AMINOACIDOS (esenciales)	mg/g de Proteína	
	n-parafinas	gasóleo
Isoleucina	45	53
Leucina	70	78
Lisina	70	78
Metionina	18	16
Fenilalanina	44	48
Treonina	49	54
Triptófano	14	13
Valina	54	58

Fuentes: Bennett, I.C. et. al. (18)

BP Proteins Ltd., (26)

ta fijación de nitrógeno en proteína celular. Esto depende del microorganismo, las condiciones de operación del proceso y la composición mineral de la solución acuosa.

La eficiencia lograda en la conversión del nitrógeno amoniacal en proteína, y del sulfato en azufre contenido en los aminoácidos, ha sido bastante satisfactorio. Sin embargo, se sigue investigando para encontrar técnicas específicas que limiten el consumo de fosfatos, ya que éstos constituyen 60% del costo de los elementos minerales, excluyendo al amoníaco.

Los costos de manufactura no han sido especificados en detalle, debido a las variaciones en el precio de las materias primas y el equipo; sin embargo ambos constituyen entre 35-55% del costo total. (En la tabla 6.2 se presentan las estimaciones de costos, como un porcentaje del costo total.

En forma muy general se puede decir, que la diferencia en el precio de la materia prima dentro del proceso gasóleo comparado con el de las parafinas, queda balanceada por la ausencia del paso de purificación de la biomasa y los menores costos fijos del segundo proceso. La BP afirma que la calidad del producto en ambos procesos es la misma, y los costos finales son del mismo orden.

El proceso japonés. La Kanegafuchi Chemical Industry Co., dueña de la patente japonesa, ha guardado un hermetismo total sobre detalles técnicos de su proceso. Se ha limitado a publicar un diagrama de flujo, que en esen-

TABLA 6.2

	PROCESO (% del costo total)	
	n-parafinas	gasóleo
Materia prima	40	13
Minerales y otros productos químicos	18	30
Equipo y maquinaria	18	25
Personal, Mantenimiento depreciación, ("overhead")	24	32
Costo total de manufactura	100	100

Fuente: BP Proteins Ltd.

cia es análogo al de la BP. Únicamente se tiene noticia de que ha construido una planta en Takasago, Japón, con una capacidad de 60,000 toneladas/año, y otra que estará terminada a finales del presente año, localizada en Kashima, con una capacidad de 75,000 ton/año. En noviembre de 1973 la Liquequímica Biosintese S.p.A., de Italia firmó un contrato con la Kanegafuchi para construir en Reggio, Calabria, una planta con capacidad de 100,000 ton/año.

También se sabe que su reactor tiene ciertas innovaciones respecto al de la BP y que poseen una variante del proceso básico de n-parafinas, en el que emplean kerosina.

En México, recientemente se anunció que el Instituto Mexicano del Pe-

tróleo y el Instituto Politécnico Nacional trabajan conjuntamente con la Comisión Nacional de la Industria Química en un proyecto financiado por la OEA para establecer una planta -en la ciudad de México y otra en Monterrey- de levadura a partir de petróleo; esperan arrancarlas a principios de 1977. (Se contará con el asesoramiento de la Kanegafuchi).

TABLA 6.3

COMPOSICION GENERAL	% en peso
Humedad	4.5
Proteína cruda	54.1
Lípidos	3.6
Cenizas	7.1
AMINOACIDOS (esenciales)	mg/g de proteína
Isoleucina	55
Leucina	69
Lisina	75
Metionina	12
Fenilalanina	43
Treonina	51
Triptófano	12
Valina	54

Fuente: Takata, J. (151)

### El proceso del I.F.P.

El Instituto Francés del Petróleo sostiene que el proceso desarrollado por él resulta el más económico conocido hasta ahora y el que mayores ventajas ofrece.

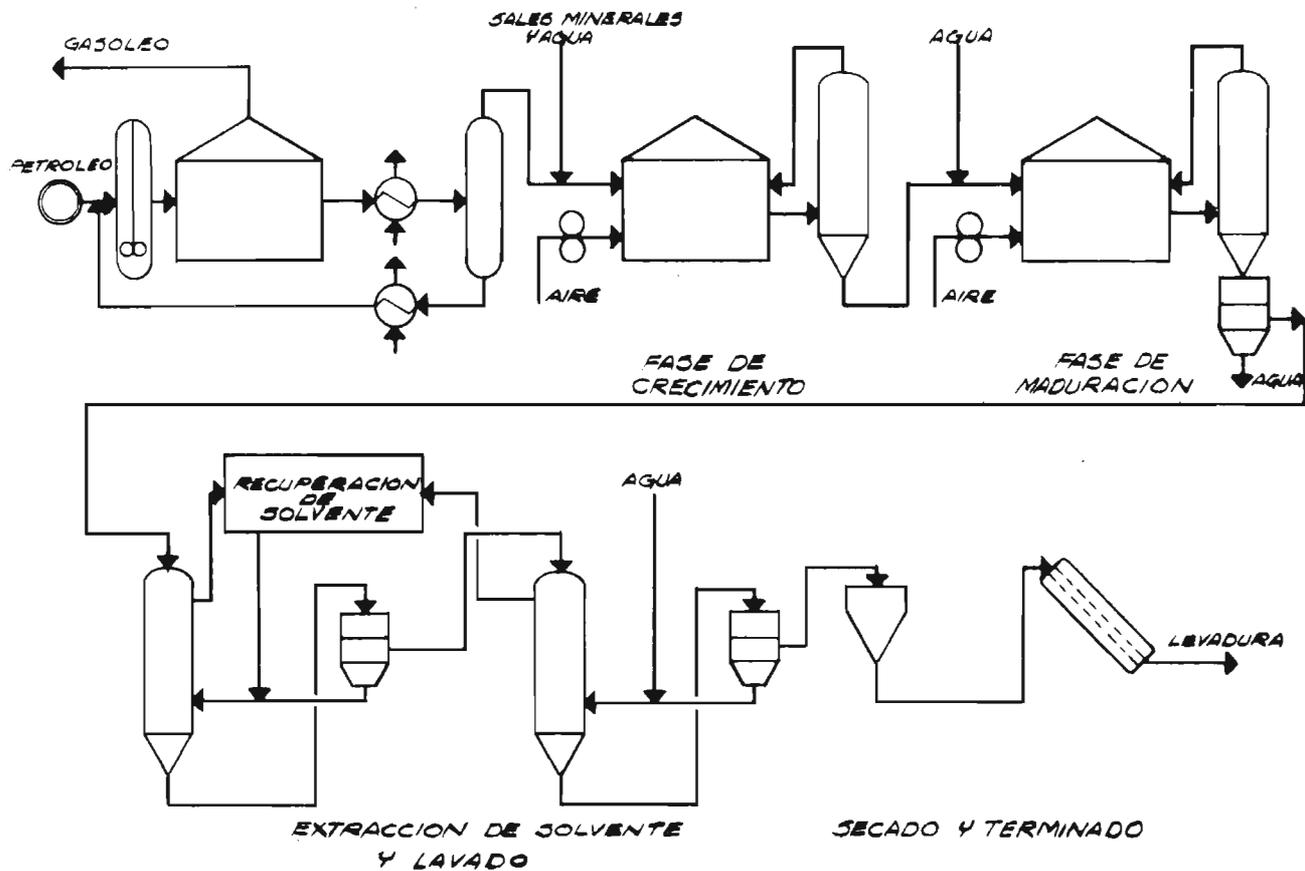
Se parte del crudo ordinario, empleándose la fracción del destilado, rica en alcanos ( $C_{10}$  -  $C_{20}$ ) que normalmente constituyen 15-20% del crudo, y que de cualquier forma son separados en las operaciones regulares de destilación. El residuo de esta operación es un gasóleo de bajo punto de congelación, pero sin cambio sensible en su índice-diesel, de modo que es recirculado para operaciones normales de refinamiento; tiene, además, la característica de estar casi prácticamente exento de aromáticos.

El sustrato obtenido se pasa al reactor, que tiene la característica única de operar con un flujo intenso de aire, con lo cual se logra un estupendo coeficiente de transferencia de masa sin necesidad de agitación mecánica de ninguna especie (este mismo aire abastece al sistema del oxígeno necesario para que se lleve a cabo la reacción). El reactor es fácilmente extrapolado para cualquier capacidad dado su sencillo diseño mecánico.

En un sólo paso bioquímico se purifica la biomasa, lavándola para eliminar los residuos minerales y para disminuir el contenido de ácidos nucleicos de las células (que, como veremos, puede resultar nocivo).

El diseño mecánico queda reducido al emplear centrífugas comunes y secadores de rocío de fabricación estándar.

Fig. 16 PROCESO I. F. P.



El nitrógeno necesario es suministrado previamente a la entrada del reactor patentado, en un proceso en que se agrega úrea y se logra una "reticulación urea-parafina" (esto provee al sistema de un parámetro adicional, independientemente del paso de fermentación).

De acuerdo con las condiciones de operación, hay una gama de soluciones de fermentación. Estas fueron evaluadas empleando métodos de investigación de uso común en cinética química. Así se logró obtener un modelo matemático que permite optimizar las condiciones de crecimiento de los microorganismos, y obtener una imagen clara del mecanismo mismo.

Se experimentó con una serie de microorganismos, encontrándose que los más apropiados -tanto por el sustrato con que se trabaja como por el amplio rango de temperaturas que resisten- son las levaduras *Torula utilis* y *candida*, con las cuales se obtiene un producto de mejores características que la *Saccharomyces cerevisiae*, levadura empleada desde hace muchísimos años en las operaciones de panificación y algunas de la industria cervecera.

El aminograma de la levadura obtenida en el proceso del I.F.P. aparece en la tabla 6.4.

Vale la pena mencionar el elevadísimo contenido de lisina, de esta levadura, por lo que es un excelente complemento para las dietas basadas en cereales.

TABLA 6.4

AMINOACIDOS (esenciales)	mg/g de proteína
Isoleucina	48
Leucina	82
Lisina	107
Metionina	7
Fenilalanina	43
Treonina	32
Triptófano	17
Valina	63

Fuente: Decerle, Ch. et. al. (49)

Finalmente, en el estudio económico se encontró que la capacidad mínima a la que la planta debe operar -impuesta por consideraciones de costo del producto terminado- es de 60,000 toneladas/año, y que el volumen máximo de unidad es de 120,000 toneladas/año (limitación debida a la capacidad de la refinería con la que trabaja acorde).

## EL ALGA SPIRULINA

Poco después de la segunda guerra mundial, algunos investigadores de diversos países, en especial de Estados Unidos y del Japón, emprendieron una serie de estudios sobre las algas con la idea de lograr su explotación intensiva como fuente de proteínas. Las primeras algas escogidas para estos estudios fueron las chlorelas y las scenedesmus, algas verdes monocelulares. Los principales pioneros en este campo fueron el Carnegie Institute de Washington, el Stanford Research Institute y Arthur D. Little. (55)

Entre las mayores dificultades tecnológicas que ofrece la explotación de las algas y que por cierto, pueden ser resueltas aún cuando sea a un alto costo, se pueden señalar: la separación de las algas microscópicas por supercentrifugación, su naturaleza fermentable y el pH ácido del medio de cultivo que no favorece la nutrición carbonatada del alga, base de la función clorofiliana.

En 1963, el Instituto Francés del Petróleo que, como hemos visto, - trabajaba sobre proteínas a partir del petróleo, tuvo la oportunidad de obtener una nueva especie de alga que se reproduce en forma natural en las lagunas del Tchad y es consumida por los lugareños; se trataba de una alga azul pluricelular, diferente a las otras algas hasta entonces investigadas. Esta alga azul pertenece a la familia de las cyanofíceas, en su expresión más primitiva que constituyen los seres más sencillos del reino vegetal.

El I.F.P. inició una serie de estudios sobre el valor nutritivo y características de las algas, así como algunas prácticas fundamentales, aprovechando el VII Congreso Mundial del Petróleo que tuvo lugar en México en abril de 1967, para exponer los resultados de sus primeras pruebas y perspectivas que se ofrecían. El I.F.P. desarrolló técnicas de cultivo intensivo de 'Spirulina máxima' con rendimientos hasta de 14g de alga seca/m<sup>2</sup> al día, es decir, 50,000kg/hectárea/año, que equivalen a 32,000kg de proteína seca por hectárea, por año. Este rendimiento es impresionante, especialmente si lo comparamos con rendimientos de productos agrícolas como del maíz, que en países en desarrollo tiene un equivalente de 50 a 400 kg de proteína seca/hectárea cultivada.

Fue entonces cuando Sosa Texcoco, S.A. (empresa que explota las salmueras naturales del antiguo Lago de Texcoco), se puso en contacto con el I.F.P., pues con anterioridad había identificado el alga spirulina, que en forma natural se reproduce en los vasos exteriores de su evaporador solar, conocido por El Caracol, a la que atribuía los problemas de cristalización que tenía con el bicarbonato de sodio al ser procesado en las torres de carbonatación como consecuencia de la materia orgánica del alga, disuelta en la salmuera.

En las crónicas de la conquista de México se encuentran antecedentes de la existencia de esta alga, pues en ellas se relata que los aztecas la recogían de la superficie de algunos lagos salobres y especialmente del Lago de Texcoco, (que en el siglo XVI tenía una gran extensión), y la comían después de secarla al sol y asarla, la llamaban "tecuitlatl" vocablo

que en el idioma náhuatl quiere decir "excremento de piedra".

Dadas las condiciones particularmente favorables del Lago de Texcoco para el crecimiento del alga Sosa Texcoco celebró un convenio con el Instituto Francés del Petróleo en septiembre de 1967, a fin de utilizar en México los métodos experimentados y conocidos por el Instituto, con lo cual se dió principio a una fructuosa colaboración entre ambas compañías, las cuales han hecho aportaciones complementarias a los métodos ya establecidos y continúan sin interrupción su labor.

Inicialmente se construyeron pequeños vasos artificiales de cultivo, los primeros fueron de 5 m<sup>2</sup>, después de 100 m<sup>2</sup> y luego de 700 m<sup>2</sup>, experimentándose en ellos desde 1968 con cepas del lago Tchad y también con cepas de alga mexicana.

En la práctica, el método de cultivo acelerado aportado por el I.F.P, ofreció algunos problemas que se investigaron cuidadosamente y pudieron superarse, encontrándose un remedio sencillo y eficaz al hacer algunas modificaciones al medio de cultivo.

A partir de 1970 se inició el estudio de la explotación de las algas cultivadas en medios naturales en varios lagos salados con características semejantes a las del Lago de Texcoco, llevándose a cabo dos trabajos específicos, uno sobre el crecimiento del alga y el otro sobre su procesamiento; en la realización del segundo se presentaron de inmediato dos problemas:

- 1) La concentración de la spirulina cultivada en medios naturales o semi-

naturales es muy inferior a la obtenida en el medio sintético que fue -- necesario encontrar un sistema sencillo y poco costoso de preconcentración, teniéndose en cuenta los grandes volúmenes a tratar. Después de algunos ensayos, se logró diseñar el equipo adecuado y en 1971 se puso en funcionamiento una pequeña unidad experimental con capacidad de producción de cien kilos de alga seca, por turno de ocho horas.

2) Para la maniobra de secado por atomización se tenía considerada la instalación de un costoso equipo que en las pruebas preliminares había dado - excelentes resultados técnicos, sólo que su capacidad de procesamiento era muy superior a los volúmenes con que se contaría al principio, por lo que se decidió substituirlo mientras tanto, por un secador de tambor rotatorio.

Una vez resueltos estos problemas, en febrero de 1972 se decidió proyectar y llevar a cabo la instalación de una planta piloto con capacidad de producción de una tonelada diaria de alga seca. El proceso para la obtención de alga seca en dicha unidad semi industrial, comprende las siguientes operaciones: preconcentración; conducción del alga, por medio de bombeo, - del Caracol a la unidad; filtración por gravedad y vacío; desintegración de células; secado; molienda y envase.

Todas estas operaciones son clásicas en la ingeniería química pero, en el proceso de la spirulina, algunas de ellas presentan características muy originales, dada la peculiaridad del producto.

A continuación se examinan las fases de mayor interés.

1) Como ya fue indicado, deben preconcentrarse más de 10,000 metros cúbicos por día para extraer al final del proceso una tonelada de ducto seco y en vista de que las concentraciones de la suspensión son muy bajas, -del orden de 0.1 y 0.2 gramos por litro-, resulta incosteable su filtrado en los aparatos convencionales, por lo que se realizó la maniobra haciendo escurrir la biomasa sobre unos cedazos o coladores especialmente diseñados para la misma. El producto retenido por los cedazos pasa a unos filtros rotatorios en movimiento, lográndose de esta manera concentraciones superiores a 10 gramos por litro con un costo de operación muy bajo.

2) Para transportar el material preconcentrado a una distancia de dos kilómetros aproximadamente, desde el Caracol hasta la unidad elaboradora del alga, instalada dentro de la planta de álcalis de Sosa Texcoco, de la cual recibe todos los servicios- se están utilizando unas bombas de diseño especial -construidas por primera vez en México- que evitan la destrucción de células del producto.

3) Ya en la planta, la biomasa preconcentrada es enviada a un filtro horizontal al vacío en el cual la concentración se eleva hasta obtener una pasta con 85% de humedad. El filtro de banda fija utilizado, también es el primero que se ha construido en México.

4) Como la viscosidad del producto obtenido dificulta su manejo, se lleva a un desintegrador para romper las células, eliminando el agua de constitución después de lo cual queda una suspensión homogénea.

5) El secado se hace en un secador de tambor rotatorio (de tipo clásico), alimentado con vapor.

6) El material seco queda en forma de escamas y se muele en un molino de bolas de acción continua, montado sobre resortes.

Se ha presentado solicitud de patente mundial para el proceso seguido en la unidad semi-industrial. Igualmente, está en trámite la patente de los equipos diseñados y construídos en México para dicha unidad.

Se han formulado estadísticas con los resultados de los estudios practicados en los vasos de cultivo y del control que se ha llevado respecto a las condiciones metereológicas y características de las aguas salobres del medio de cultivo, así como del análisis de las algas, practicados al cosecharse y ya tratadas, lo que ha permitido determinar una serie de condiciones óptimas para la producción, confirmando que teniendo un PH correcto, -- el punto crítico para el cultivo del alga en el Lago de Texcoco depende de la concentración en nitrógeno que tenga el medio de cultivo. La conclusión a que se llega, es un tanto análoga a la sustentada por los oceanógrafos, quienes consideran que el rendimiento del mar en plancton y peces, está -- íntimamente ligada con la concentración en nitrógeno que tenga el agua del mar.

Naturalmente, las salmueras pueden enriquecerse, eso es una cuestión de precio y solamente el tiempo y la experiencia podrán determinar el interés que pueda existir en aumentar la concentración de nitrógeno.

Es de señalarse el especial interés que tiene la ONU en la realización

del proyecto mexicano de la spirulina, tantõ así, que en marzo de 1972 el Director Ejecutivo de la ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), visitó las instalaciones de Sosa Texcoco y a la vista de los trabajos realizados y resultados hasta ese momento obtenidos, destacó a dos de sus peritos para estudiar sobre el terreno la viabilidad económica del proyecto, lo que se tradujo en la concesión de créditos para ayudar en la empresa.

En parte, esta ayuda ha consistido en la colaboración de un especialista en mercadotecnia por un período de seis meses, el que ya se encuentra en México trabajando para el proyecto; al concluir su labor, se enviará, por un lapso igual, a un especialista en ingeniería alimenticia. Además, ONUDI ha convocado a concurso a once compañías extranjeras para definir un proceso de decoloración del alga con recuperación de los elementos extraídos de la misma.

Las algas son vegetales que realizan su fotosíntesis por medio de la luz, del agua, del gas carbónico y de las sales minerales; cuando las algas son comestibles, representan una producción primaria de alimentos que puede ser abundante dada su rápida reproducción.

La spirulina tiene la propiedad de desarrollarse en aguas alcalinas, ricas en sales sódicas, con un PH de 8.5 a 11. La fuerte alcalinidad es una ventaja más para el proceso de fotosíntesis, ya que facilita la absorción del gas carbónico, lo que de hecho se realiza con el equilibrio carbonato/bicarbonato del medio de cultivo. Asimismo, la elevada alcalinidad --

limita la invasión y desarrollo en los vasos de cultivo de microorganismos que no soportan un PH alto. De esta manera, el desarrollo de la spirulina se encuentra protegido de contaminaciones por elementos propios de su medio de cultivo. Su desarrollo óptimo se lleva a cabo en aguas cuya temperatura oscila entre 30-35°C, y la luminosidad llega por lo menos a - 25,000 lux/día.

Como se sabe, las aguas alcalinas son la muerte inevitable para los terrenos cultivables, por lo que su único uso ha sido la explotación industrial de sus sales, siempre y cuando sus concentraciones sean suficientemente elevadas y existan en volúmenes tales que resulte costeable su explotación; ahora, surge una nueva utilización para esas aguas y esta es, el cultivo del alga spirulina, fuente natural de proteínas.

Las zonas áridas o semi áridas en donde se localizan generalmente lagunas alcalinas, corresponden a cuencas cerradas en las cuales la evaporación es superior a la precipitación pluvial; esas zonas son relativamente comunes en todo el mundo y constituyen enormes reservas alcalinas con excelente potencialidad para el cultivo del alga spirulina en condiciones semejantes a las del Lago de Texcoco.

El alga spirulina se desarrolla también en ciertas lagunas litorales, ya que el PH del agua marina es muy semejante al PH que se requiere para el cultivo del alga. Es de pensarse que dada la gran longitud de costas disponibles en el mundo, esta circunstancia puede resultar de gran interés y por ello el Instituto Francés del Petróleo ha empezado a trabajar en este campo, con -

resultados muy alentadores en sus primeras pruebas.

La característica esencial de la spirulina es su alto contenido en proteínas, del 60 al 70 por ciento del producto seco, porcentaje excepcional para un vegetal y muy superior al de cualquier otro producto natural no concentrado. Por este motivo, la spirulina que es una fuente primaria de alimentos debe equipararse no con otros vegetales, sino con la carne y los peces que se obtienen después de una segunda y una tercera conversión. Debemos recordar que el rendimiento final de las proteínas animales no pasa del 2 ó 3 al millar; el alga spirulina en cambio que puede utilizarse directamente en la alimentación humana, está muy por encima de otros vegetales, pudiendo constituir una importante contribución para resolver el problema de la alimentación humana.

Aparte de su gran valor nutritivo, la spirulina tiene un alto contenido de carotenoides, en especial xantofila, encontrándose hasta 300 miligramos por gramo de producto, característica interesante para los productores de alimentos balanceados para aves, pues da a la piel de los pollos el color de maíz que gusta a la clientela y a la yema de los huevos una tonalidad anaranjada que los hace parecer más apetitosos.

La presencia de este pigmento carotenoide en la spirulina era conocido desde tiempo atrás y se sabe que durante la segunda guerra mundial se exportaron algunas partidas de alga mexicana con destino a Alemania, en cuyo país se le utilizó para enriquecer los alimentos de sus pilotos de aviones bombarderos, con el objeto de agudizar su visión nocturna con la rodop-

sina de la vitamina A contenida en el alga.

Una prueba más de la bondad de la spirulina como alimento, es la supervivencia de los flamíngos rosados de Africa. El 90% de los flamíngos africanos viven en Kenya y según estadísticas, su número sobrepasa a los tres millones. Estas aves se alimentan con el alga de los lagos alcalinos de Kenya, como el Magadi, cuyas salinas son industrializadas por una compañía productora de carbonato de sodio, filial de la Imperial Chemical --- Industries Lmtd.

Se ha podido observar que los flamíngos filtran en su pico la spirulina, rechazando el líquido alcalino. Cuando una bandada, formada por decenas de millares de estas aves se abate sobre un lago, en pocos minutos consumen varios centenares de toneladas de alga.

Como complemento, vale la pena indicar que en marzo de 1973 la Secretaría de Salubridad y Asistencia otorgó al producto de Sosa Texcoco licencia de venta para consumo humano, tomando como base para ello los resultados de los estudios practicados por el Instituto Nacional de Nutrición respecto a las propiedades nutricionales del alga. Al igual que los Aztecas, los habitantes del Tchad siguen consumiendo desde tiempos inmemoriales, el alga -- spirulina. En 1969, la FAO inició un programa de difusión de su consumo en numerosos sectores de ese país, (escuelas, comedores, hospitales, etc.).

Por último, se harán algunas indicaciones sobre la composición química de la spirulina.

El Instituto Nacional de Nutrición ha publicado varios trabajos (22), acerca de los excelentes resultados que han obtenido en estudios de suplementación de dietas, e inclusive de rehabilitación de niños desnutridos con alga spirulina. El análisis que ellos presentan difiere ligeramente del que nos proporcionó el Ing. Santillán, jefe de la planta de spirulina de Sosa Texcoco (137). A continuación aparecen ambos resultados.

TABLA 6.5

ANALISIS	% EN PESO	
	I.N.N.	Sosa Texcoco
Humedad	8.3	4.2
Nitrógeno	10.22 <sup>±</sup> 0.26	10.27
Proteína cruda (N x 6.25)	63.9 <sup>±</sup> 0.8	64.2
Lípidos	5.8	5.0
Cenizas	5.5	6.6
Fibra cruda (celulosa)	2.2	0.5
Aminoácidos (esenciales)	mg/g de proteína	
	I.N.N.	Sosa Texcoco
Isoleucina	4.4	60
Leucina	68	86
Lisina	36	45
Metionina	21	24
Fenilalanina	52	44
Treonina	50	51
Triptófano	11	16
Valina	51	65

Los experimentos con ratas mostraron que el producto final tiene un PER=  $2.61 \pm 0.15$  y un NPU=  $56.6 \pm 4.3$ , que comparados con el standard (caseína), -- 2.97 y 61.5 respectivamente, da una proteína con una calidad cercana al 90%.

Concluyendo, se cuenta con suficiente información para poder afirmar -- que no existen diferencias importantes entre la calidad de las proteínas de las células sencillas de levaduras y las de otras plantas y animales. La ventaja de usar microorganismos como fuentes de proteínas son su rápido crecimiento y la posibilidad de convertir fuentes económicas de energía, fácilmente asequibles en proteínas de alta calidad.

Se han efectuado gran número de pruebas nutricionales y toxicológicas para evaluar las proteínas del petróleo. Su inmunidad y su contenido de nitrógeno han sido comprobados en diferentes exámenes bioquímicos, fisiológicos, hematológicos, e histopatológicos, que indican la ausencia de efectos -- carcinógenos, mutágenos o embriotóxicos. Se debe tener especial precaución en mantener casi nulos los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos ya que éstos son carcinógenos. En las pruebas realizadas por el Central -- Institute for Nutrition and Food Research en Zeist, Holanda, se encontró un promedio de menos de una parte por billón de estos aromáticos polinucleares. Igualmente, metales pesados como As, Pb, Hg, Sb y Se no deben de estar presentes en las muestras.

El factor limitante en el uso de estas proteínas es su contenido de ácidos nucleícos, ya que existe una concentración máxima permisible de ingestión de éstos en las dietas humanas. Esto es debido a que las purinas --

de los ácidos nucleicos son excretadas en forma de ácido úrico. Niveles elevados de este ácido propician la formación de cálculos en los riñones y aumentan el riesgo de contraer gota. La información con la que se cuenta hasta el momento, ha fijado como límite seguro, la ingestión máxima -- de 22 gramos al día de ácidos nucleicos para adultos, (cantidades proporcionalmente menores para niños) -- esta cantidad se encuentra contenida en aproximadamente 20-40g de células producidas. Existen procedimientos para reducir el contenido de ácidos nucleicos en las células hasta el punto en que no constituyen una limitante para su uso alimentario, pero, obviamente, ésto eleva los costos de producción.

En cuanto al alga spirulina, un impedimento para lograr su incorporación a la dieta humana ha sido su extrema pigmentación verde. Se esta trabajando constantemente, --tanto en Sosa Texcoco como en el I.F.P.-- para decolorarla. Se ha obtenido un producto inodoro e insaboro ligeramente cafésáceo; al eliminar los xantófilos que colorean a la spirulina se obtiene un subproducto con alto valor comercial.

A diferencia de las proteínas derivadas del petróleo, la spirulina -- contiene cantidades muy pequeñas de ácidos nucleicos, (que no llegan al 4%).

También se comprobó la ausencia total de elementos tóxicos como: As, - Pb, Hg, Fl, Sb ó Se. Estas fuentes de proteínas pueden ser una de las respuestas al reto del hambre si sabemos darle toda su dinámica como alimentos revolucionarios, por lo que deben hacerse todos los esfuerzos posibles para desarrollar su producción y difundir su consumo.

## PROTEINAS DEL SUERO DE LECHE

Una fuente de proteínas para consumo humano que está haciendo su debut comercial, es la utilización del suero de leche de las fábricas de queso para recuperar sus proteínas y su lactosa. A la fecha, se han anunciado dos procesos: uno que hace uso de mallas moleculares; y otro que utiliza equipo de ósmosis inversa para concentrar las proteínas.

### Ósmosis Inversa

A pesar de que los procesos de separación a través de membranas han sido estudiados por más de un siglo, sólo últimamente han adquirido interés como operaciones industriales de separación. De esos procesos, la ósmosis inversa es de los más sencillos y económicos. En la actualidad se usa comercialmente sobre todo en la concentración del suero de leche -producto de desecho de la industria del queso- que hasta hace muy poco tiempo constituía un desperdicio industrial sin ningún uso y muy contaminante. En menor escala, la ósmosis inversa es empleada para concentrar jugo de naranja y café, y también en la purificación de aguas negras municipales.

El principio de operación es simple: en un recipiente se monta una membrana de acetato de celulosa que divide la cámara en dos compartimientos. La membrana tiene propiedades selectivas, pues permite que pasen a través de ella el agua u otros disolventes polares -que forman puentes

de hidrógeno con sus grupos carbonilo-, pero impide el paso de iones y pequeñas partículas.

En uno de los compartimientos se coloca agua pura y en el otro el suero de leche; se imprime una presión hidráulica de 200 a 275 libras por pulgada cuadrada, y así los sólidos son separados de sus solventes; a la salida de la cámara se obtiene una solución concentrada de suero de leche, que contiene de 29 a 32% de sólidos.

Si se desea un refinamiento mayor, la solución se somete a un proceso de dos pasos: una combinación de ultra e hiperfiltración. Ambas emplean membranas semejantes sólo que la primera opera a 300-400 libras por pulgada cuadrada y la segunda a 590-1,180. Se obtienen dos productos: un concentrado de lactosa y una fracción proteínica.

La Carver-Greenfield Corp., arrancó a mediados de 1971 la primera planta comercial que emplea ósmosis inversa; la producción es de 650 libras diarias de material seco, (con una inversión de capital de 26,000 dólares).

#### Proceso de las Mallas Moleculares

Una innovación reciente, que emplea tecnología más avanzada y produce una variedad mayor de productos, es el proceso de fraccionamiento por mallas moleculares desarrollado por la Stauffer Chemical Co., quien --

arrancó su planta con capacidad de un millón de libras diarias a principios de 1972.

La nueva técnica emplea como medio filtrante una resina formada por dextrán y epíclorohidrina, en una proporción de 10 a 1. Con esto se obtiene una malla tridimensional, muy estable y con tamaño de poro controlable. El gel dextrán permite separar las sales y todas las partículas menores - que las proteínas que se encuentran disueltas en el suero.

La Stauffer menciona dos técnicas patentadas, como la clave de su nuevo proceso: 1) un pretratamiento del suero, que evita que se tape u - obstruya la malla molecular para lo que se agrega un ión metálico divalente en una concentración menor de 0.075 molal, que hace que todos los lípidos disueltos precipiten; 2) el proceso de fraccionamiento mismo, donde se obtiene lactosa y tres concentrados proteínicos. Esta característica amplía notablemente el mercado para sus productos, ya que son destinados a diferentes usos.

Así, de suero de leche (desperdicio contaminante de las fábricas de queso, que normalmente contiene 6.5-7% de sólidos incluyendo 4.7% de lactosa, 0.9% de proteína y 0.5% de ceniza) se obtienen lactosa 99% pura y proteínas. La primera fracción proteínica -registrada como Enpro 50- contiene de 50 a 60% de proteína de alto peso molecular. Este producto es totalmente soluble en ácidos, blando, inodoro, esencialmente incoloro, y - fácilmente untable, por lo que resulta ideal para consumo humano directo.

Las otras fracciones -Err-Ex y Err-Ro- contienen 15% de proteína de bajo peso molecular. La primera es empleada como constituyente de la leche evaporada y en fórmulas para alimentación infantil, y la segunda en alimentos balanceados, como sustituto de la leche.

## PROTEINA DE CONCENTRADOS DE HOJA

Desde hace bastante tiempo se sabe que las hojas verdes contienen proteínas de buena calidad, que pueden extraerse fácilmente. Estudios realizados, tanto en vitro como en vivo, han demostrado que los concentrados proteínicos de hojas verdes poseen un adecuado balance de aminoácidos esenciales, una digestibilidad hasta de 85%, y un valor biológico -para alfalfa- superior a 65. Esto les da mejores características nutricionales que, por ejemplo, la proteína del frijol de soya.

A pesar de los esfuerzos realizados, los concentrados de proteína de hoja han tenido poca aceptación y no se han hecho intentos serios - para comercializar su producción. Los factores económicos que intervienen hacen que las cosechas tengan mayor valor como forrajes y alimentos animales que como fuente de proteínas para alimentación del hombre. Además, las proteínas de hojas tienen un intenso color verde y un sabor - amargo que las hace inaceptables para el consumo humano directo.

Sin embargo, existe un mercado internacional considerable para la harina de hojas, principalmente de alfalfa, que posee un alto valor proteínico y con la que se obtienen mejores rendimientos en la cría de aves y ganado que con la alfalfa achicalada. Por ello, se han construido grandes plantas deshidratadoras, que no requieren de grandes inversiones ni tecnología avanzada. El equipo necesario en una planta de este estilo - consiste básicamente en un exprimidor, una cortadora, un horno rotatorio,

uno o más ciclones y un molino de martillo. Estas facilidades han convertido al proceso de deshidratación de alfalfa en una industria atractiva.

Recientemente, la Bratley-Jans Enterprises anunció que ponía a la venta la tecnología de su proceso patentado para la recuperación de proteínas a partir de los desperdicios de la planta deshidratadora, que vienen operando exitosamente desde 1970. La planta (localizada en Brawley, California) tiene capacidad para producir diez toneladas diarias de un concentrado que contiene 40-44% de proteínas, llamado X-Pro. Esta planta opera en conjunción con una deshidratadora, que produce 25,000 toneladas al mes de harina de alfalfa.

Este es realmente el primer proceso comercial para la obtención de proteínas a partir de hojas verdes. La proteína recuperada contiene cantidades apreciables de xantofila y  $\beta$ -caroteno, que son elementos deseables en la alimentación humana; pero otros componentes que contiene -tales como clorofila, ciertos lípidos y saponinas- hicieron que X-Pro fuese introducido originalmente como alimento animal, destinado principalmente a la avicultura. Desarrollos posteriores en la tecnología han -- permitido obtener un producto de gran pureza, apto para el consumo humano.

El proceso se inicia partiendo de alfalfa fresca, que es exprimida en un molino de rodillos. Las fibras son transportadas a la planta --

deshidratadora, donde siguen todos los pasos normales para la producción de harina. El jugo extraído pasa por una malla, para que se eliminen todos los residuos de fibra. Después llega a un tanque de acumulación, donde se ajusta el pH, a 8.5 y se agrega amoníaco. De allí la mezcla es bombeada a los coaguladores (dos eyectores en serie a los que se les inyecta vapor a presión hasta alcanzar la temperatura de 80°C) para que la proteína coagule sin degradarse. Luego, pasa a un decantador donde la fracción proteínica flota. Pasa enseguida a unos tanques de estacionamiento, y allí se agita suavemente para promover la separación de licor. Posteriormente la proteína coagulada es lavada para remover todos los componentes solubles en agua y se efectúa una extracción con solvente para eliminar los lípidos y cuerpos colorantes. Por último, pasa por un secador rotatorio, un enfriador y una trituradora, y va al tanque de almacenamiento del producto terminado.

Se obtiene así un polvo blanquecino con un contenido de hasta 44% de proteína de calidad, con un buen patrón de aminoácidos, en él que todos los aminoácidos esenciales -excepto la metionina- sobrepasan los requerimientos mínimos recomendados. Este producto viene utilizándose desde hace más de un año para enriquecer sopas y pastas.

Algunos datos de operación de la planta son:

Producción: 10 ton/día de proteína

Alimentación, ton/hr .....	40
Rendimientos, % de sólidos alimentados .....	8
Pérdidas en el proceso .....	1-1.5

## Consumos/ton de producto terminado

Gas, millones de Btu .....	1.2
Aire, pies cúbicos .....	500
Amoníaco, libras .....	18
Electricidad, Kwh .....	125
Vapor, libras .....	4000

PROTEINAS DE LA SEMILLA DE ALGODON

Durante mucho tiempo la semilla de algodón fue la principal fuente de proteínas para el ganado, hasta que hace unos veinte años perdió su primacía ante el frijol de soya, y últimamente tiende a desaparecer como alimento de rumiantes ante la competencia de la urea.

Recientemente se desarrolló un proceso para la utilización de la semilla de algodón como fuente de proteínas destinadas al consumo humano. La importancia de esta técnica radica en el hecho de la alta disponibilidad de este producto en nuestro país. (En el ciclo 1973-74 se plantaron 600,000 hectáreas).

La mayoría de los países latinoamericanos cultivan algodón en cierta extensión, por lo cual este sistema de obtención de proteínas de buena calidad puede ser una de las soluciones más fácil y rápidamente implementables para ayudar a solucionar el problema de la malnutrición. (Pensemos en estas cifras: en 1970-72 la producción mundial de proteínas de semilla de algodón fue de 5,000,000 de toneladas/año (100% proteína) y 16,000,000 de ton/año de proteína de frijol de soya, en tanto que la producción mundial de proteínas animales -carne, leche, huevos y pescado- 20,000,000 de ton/año).

La Plains Coop Oil Mill Co., de Lubbock, Texas, instaló una planta que produce 25 toneladas diarias de harina de semilla de algodón con 65% de proteína. La parte central del proceso es un ciclón líquido que permi

te separar el gosipol -un binaftaldehído polifenólico que contiene la semilla de algodón- que es dañino para el hombre y los animales no rumiantes. El gosipol es producido por las pequeñas glándulas que se encuentran dispersadas en el endosperma constituyendo el 1.5% en peso de la semilla. Los límites máximos permisibles de gosipol en productos para consumo humano directo están fijados en 0.045-0.060%.

Los sistemas tradicionales de purificación incluían la extracción con acetona-hexano-agua; extracción en dos pasos usando una solución acuosa de acetona y acetona anhidra; y la extracción mecánica de las glándulas, usando aire. Ninguno de estos sistemas resulta económicamente conveniente.

En el nuevo proceso, el ciclón líquido separa las glándulas productoras de gosipol en función de su tamaño y densidad. El endosperma de la semilla -que contiene alrededor de una tercera parte de aceite y dos terceras partes de sólidos- es secado hasta un 3% de humedad, para evitar la posterior ruptura de las glándulas. (El secado se efectúa en secadores convencionales, a unos 80°C para no degradar la proteína). Del secador la semilla pasa a un molino, donde es descascarada y aplanada hasta 0.01 pulgadas de espesor. Posteriormente, pasa a un fluidizador donde se le agrega en forma continua una solución que contiene 55% de n-hexano, para extraer el aceite -un subproducto muy apreciado. La mezcla se traslada a un tanque de dilución, donde se agrega más hexano hasta que la pasta resultante contenga 20-25% de sólidos. Pasa luego al ciclón líquido, que es la clave del proceso. Por la parte inferior del ciclón se obtiene un producto que contiene 3-5% de gosipol y 50-55% de proteína. Esta corriente puede ser -

utilizada para alimento animal o enviada a un segundo ciclón, y de ahí recirculada al primero para mejorar el rendimiento de proteína.

En la parte superior del primer ciclón se obtiene una corriente con - 25-30% de sólidos, que es lavada con hexano puro y filtrada al vacío. La pasta se seca y esteriliza a 85°C, durante treinta minutos. El producto final es un polvo blanquecino que contiene 65-70% de proteínas y con menos de 0.02% de gossipol libre.

Este proceso ha estado funcionando exitosamente desde hace casi tres años en una planta semicomercial construída en Hubli, India, por la Agencia Internacional de Desarrollo, de Estados Unidos. La General Mills Co. está construyendo una planta similar en Pakistán, y los franceses han adquirido los derechos para edificar una en Chad, Africa Ecuatorial.

Uno de los problemas que presenta esta fuente de proteínas -común a todos los nuevos productos desarrollados- es su aceptación por el consumidor. Sin embargo, la harina de semilla de algodón lleva cierta ventaja - sobre otros productos, ya que ha sido empleada desde hace varios años en Centroamérica, constituyendo el 38% del famoso concentrado proteínico "Incaparina", que tanta aceptación y difusión ha tenido.

La principal limitante de carácter económico con que se enfrenta este proceso es el paso de la eliminación del gossipol. Ahora parece que está próxima la solución de este problema con el empleo de un nuevo mutante del algodón llamado GL-16, que no tiene glándulas de gossipol. Esta nueva va-

riedad ya esta disponible para uso comercial; en Estados Unidos, de 3000 hectáreas de GL-16 plantadas en 1970 se pasó a 320,000 en 1972. La harina obtenida de estas semillas contiene menos de 0.04% de gósipol y 65-70% de proteínas. Nuevamente, el problema consiste en lograr introducir esta variedad entre los agricultores que cultivan el algodón, pues hasta ahora no se ha conseguido la difusión esperada.

Sin embargo, por el momento, el proceso del ciclón líquido está adquiriendo aceptación en el mercado. Se tienen noticias de que la Ralston Purina Co., planea la construcción de dos plantas, y la Swift Chemical Co., arrancará una planta de 11,000 ton/año, a principios de 1975. La Dorr—Oliver Inc., poseedora exclusiva de los derechos del proceso, fuera de Estados Unidos, está negociando con la U.R.S.S. la venta de la tecnología y el diseño de una planta en Brasil.

## CONCLUSIONES

De toda la información recabada, podemos concluir:

1. Existe un serio problema nutricional que afecta a la gran masa de la población mexicana. Es especialmente grave en lo que concierne a la subalimentación como consecuencia del déficit de proteínas.

La complejidad del asunto y el hecho de que no es fácil lograr su plena solución, son las psibles causas de que se haya demorado su tratamiento. Cuando en el pasado se intentaron soluciones simplistas, siempre fracasaron. Es necesario reconocer que los problemas nutricionales inciden en forma muy especial en la estrategia global del desarrollo. Debe de comprenderse que la pobreza, la ignorancia, la alta mortalidad infantil, la nutrición insuficiente y la elevada fecundidad - son aspectos del problema, íntimamente relacionados entre sí.

2. Hay una gran gama de recursos tecnológicos para facilitar el aumento en la producción de proteínas, que se encuentran para su uso casi inmediato. Es necesario que las instituciones y las autoridades oficiales propicien la preparación masiva de técnicos que difundan - esos medios que la ciencia nos ofrece.

No se cuenta con una técnica perfecta o ideal, que solucione - totalmente el citado problema. Dentro de la variedad existente, la - implementación de una u otra está condicionada a numerosos factores

implementación de una u otra está condicionada a numerosos factores de pendientes de los elementos disponibles y las necesidades en juego.

Parte de las medidas que se adopten deberán producir resultados - en un lapso relativamente corto; otras soluciones son a largo plazo. Es necesario resistir a la tentación de concentrar todos los esfuerzos en actividades que producen resultados rápidos, pero de corta duración. Las necesidades muestran una tendencia indicadora de que los adelantos a largo plazo llegarán en su día a ser indispensables. Cuanto más tiempo necesitan para madurar, más urgente resulta comenzar de inmediato.

3. Se tropezará con grandes dificultades en la aplicación de las soluciones. Es conocida la resistencia que el campesino en general (y particularmente el mexicano) opone a todo lo que implica cambio en sus técnicas y costumbres ancestrales. Sin embargo, no se debe de olvidar que el hombre de campo es un Ser Humano, con inteligencia, capaz de razonar y asimilar lo que se le expone.

Muchos sostienen que la población rural de los países en vías de desarrollo es sumamente conservadora, reacia a cualquier innovación. Pero cuando el cambio involucre un aumento en el nivel de vida, el campesino lo aceptará. Aun cuando sea analfabeto, es un ser pensante y, por tanto, susceptible de aprender. Con una motivación adecuada, aceptará el cambio. Y nadie es más susceptible a la motivación que aquel que "esta lleno carencias..."

4. Sabemos que el problema no se puede resolver rápida ni fácilmente. Se requiere tiempo y esfuerzo coordinado de los interesados en su solución. Pero un hecho es evidente: urge empezar, para lograr otra espera en la inevitable carrera alimento/población.

Se imponen cambios estructurales y esfuerzos considerables de todos en la búsqueda de los medios que nos permitan progresar y, al mismo tiempo, mantener una estabilidad social y política.

Confiamos en que esto sea una realidad en tiempos no muy lejanos.

APENDICE A.El sector agrícola como proveedor de alimentos.

Desde 1950 la producción de alimentos (incluye cereales, feculentas leguminosas, caña de azúcar, verduras, frutas y otros productos alimenticios)- ha representado, con ligeras variaciones, un poco más de las dos terceras partes del valor de la producción agrícola total. De 1951 a 1960 la producción de alimentos creció al 4,7% medio anual; se aceleró para alcanzar el 7.2% entre 1961 y 1965, y de este último año a - 1971 su ritmo de crecimiento bajo al 2.0% en promedio al año, cifra muy inferior al incremento de la población en el mismo lapso. En el decenio 1950-60 los aumentos del 1.7% medio anual en la superficie cosechada de productos alimenticios, originaron poco más de un tercio de los incrementos en la producción, en tanto que los rendimientos, creciendo al 2.9%, aportaron el resto. De 1961 a 1965, a pesar de que la producción se aceleró, la contribución de la superficie aumentó al 49% debido a que su ritmo de crecimiento subió considerablemente respecto a la década anterior, alcanzando en ésta el 3.5% medio anual de incremento. Por último, la disminución en el ritmo de crecimiento de la producción de alimentos observado entre 1965 y 1971, se debió principalmente a la reducción del 1.4% medio anual en la superficie cosechada, no obstante que los rendimientos siguieron creciendo a una tasa similar a la del período anterior: 3.5% contra 3.6% medio anual de 1961 a 1965. Se observa, por otra parte, que

en este grupo destacan por su importancia, tanto en términos de superficie cultivada como de producción, el subgrupo de cereales (principalmente el maíz) y el de leguminosas (debido a la influencia del frijol). Tanta es la importancia de estos subgrupos ( y productos) que su conducta determina en gran parte el comportamiento de la producción total de alimentos, especialmente en lo que se refiere a la superficie cosechada.

El crecimiento de la demanda de alimentos se hizo depender de los aumentos de la población y del incremento en el ingreso por persona, ponderado por la elasticidad-ingreso de la demanda de alimentos.\* Por tanto el comportamiento de estas variables se desglosa para los períodos analizados.

La población creció al 3.13% medio anual entre 1950 y 1960, y se aceleró ligeramente en los dos períodos posteriores (1961-65 y 1966-71). El ingreso personal se incrementó respectivamente en esos períodos a razón - del 2.43%, 3.48% y 3.43%. La elasticidad-ingreso de la demanda de alimentos fue calculada en 0.59 para 1969, utilizándose ese valor para todos los períodos sujetos a examen.

Como consecuencia de la conducta observada por esas variables, la demanda de alimentos creció al 4.5% medio anual entre 1950 y 1960, y al 5.6% de 1961 a 1965 y de 1966 a 1971, debido a los incrementos más rápidos de

---

\* Se considera que el aumento en la demanda es igual al aumento de la población más el aumento del ingreso multiplicado por la elasticidad-ingreso de la demanda de alimentos.

población y del ingreso por persona. Comparando la evolución de la demanda con la de la producción, tenemos que de 1951 a 1960 ésta creció a un ritmo ligeramente más rápido que la primera. Diferencia que parece haber sido suficiente para provocar una eliminación gradual en las importaciones de alimentos y especialmente de cereales, que ya para 1959 se redujeron a niveles poco significativos. Correlativamente los precios de los alimentos en general y de los granos en particular, presentan un comportamiento similar al incremento general de los precios.

La producción de alimentos creció de 1960 a 1965 más rápidamente que la demanda. Esto permitió al país no solamente lograr autosuficiencia en materia de abastecimiento interno de los principales productos alimenticios (cereales sobre todo), sino convertirse en exportador de esos productos. Y como los precios aumentaron a sólo el 2.0% medio anual en ese período, esto significa una reducción drástica con respecto al ritmo de crecimiento observado anteriormente.

De 1965 a 1971 la producción de alimentos creció más lentamente que la demanda, sobre todo como resultado de las condiciones climáticas que en 1969, especialmente, afectaron sensiblemente la producción de algunos de los principales cultivos (maíz y frijol). Esto produjo un agotamiento total en los inventarios, una reducción en sus exportaciones, y un fuerte incremento en sus importaciones, sobre todo en 1970 y 1973. Aparentemente las medidas tomadas fueron insuficientes para cubrir adecuadamente el déficit de la producción, y los efectos se sienten

todavía hoy. De 1965 a 1969 los precios de los alimentos y de los granos continuaron creciendo a ritmo moderado; sin embargo, entre 1969 y 1970 se incrementaron aceleradamente, al 7.4% y 12.3% medio anual en - forma respectiva; y en el lapso 1970-72 bajó a 5.6% anual para elevarse se vertiginosamente a 21.4% en el periodo 1972-73.

---

Fuente: Banco de México, S.A.

APENDICE B.Situación de los predios por tipo de agricultura.

Para analizar la situación del productor, se consideró útil hacer una clasificación de los predios que redujera la gran diversidad de condiciones en que se lleva a cabo la actividad agrícola. Por lo tanto, se formaron tres grupos de predios atendiendo a su nivel de desarrollo técnico, - suponiéndose que éste determina en gran parte la situación del agricultor. Dicho de otra manera, se consideró que los agricultores con un desarrollo técnico similar, presentan problemas y requieren de soluciones análogas, y son diferentes de los que observan y precisan otros productores con un desarrollo técnico más avanzado o retrasado.

Las variables que se usaron para hacer la clasificación determinan - en parte el nivel tecnológico (tamaño del predio, proporción de superficie con riego en la superficie sembrada) o lo miden directamente (horas-tractor por hectárea sembrada, costo de fertilizantes e insecticidas por hectárea sembrada, capital por hectárea de labor) o lo reflejan (utilidad -- por hectárea sembrada, importancia relativa del autoconsumo en la producción, importancia relativa de los insumos no comprados -considerando en éstos sólo a mano de obra y semilla- en los costos totales). Según la influencia conjunta de esas ocho variables, se determinaron los tres tipos de agricultura cuyo análisis se hace a continuación: la agricultura moderna, la tradicional y la de subsistencia.

Debe señalarse que esta clasificación de la agricultura es resultado de la información captada en encuestas de las variables mencionadas, y no de la aplicación de una idea preconcebida sobre las características que debe tener cada tipo de agricultura. Por otro lado, la clasificación no implica por sí misma la idea de evolución, ya que las posibilidades de pasar de un tipo de agricultura a otro se derivarían de las características de cada tipo y de otros factores que no están medidos en la clasificación (calidad del recurso tierra, por ejemplo). Por último, debe tenerse en cuenta que aunque la homogeneidad de condiciones de producción que se logró con la formación de tres tipos de agricultura es suficiente para los propósitos del análisis, todavía dentro de cada tipo se puede encontrar cierta diversidad de situaciones en la práctica de la actividad agrícola. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presentan las características que resultaron para cada tipo de agricultura.

Los productores de la agricultura moderna (7% del total) son los que obtienen los ingresos agrícolas más altos por predio, debido no solo a -- que disponen de una mayor cantidad de tierra de labor por predio, sino -- que además ésta está beneficiada con riego en una proporción mayor que la de otros tipos. La disponibilidad de una mayor cantidad del recurso tierra y el abastecimiento generalizado de agua para riego, permiten al agricultor moderno emplear las técnicas más avanzadas. Esto se puede corroborar en los indicadores del nivel tecnológico. Los agricultores modernos no solamente fertilizan una proporción mayor de su superficie cultivada, sino que además, cada una de las hectáreas fertilizadas recibe en

promedio una aplicación más intensiva que en los otros tipos de agricultura. Como consecuencia, la agricultura moderna está más integrada al mercado, tanto desde el punto de vista de su demanda de insumos (casi la totalidad de los insumos que utiliza son comprados), como del de su oferta de productos (vende casi la totalidad de su producción). Lógicamente, debido a su mayor tamaño y disponibilidad de agua de riego, a sus mejores técnicas y a su mayor integración al mercado, los agricultores modernos son los que disfrutan del nivel de vida más alto del sector. Considerando solamente lo generado por las actividades agrícolas, en los predios modernos el ingreso por persona asciende a casi 13 mil pesos anuales, nivel que resulta muy superior al de otros tipos de agricultura, siete veces mayor que en la tradicional y veintitres veces mayor que el de subsistencia.

En el otro extremo de la escala de desarrollo se encuentra la agricultura de subsistencia que comprende un 52% del total de explotaciones. El ingreso agrícola por predio que obtienen los productores de subsistencia es dieciocho veces menor que el registrado en la agricultura moderna, lo cual es un resultado lógico si se considera que el predio promedio de subsistencia apenas dispone de ocho hectáreas de labor y sólo el 11% de su superficie cultivada está beneficiada con riego. Consecuentemente, su nivel tecnológico es el más atrasado. La proporción de la superficie cultivada que recibe fertilizantes e insecticidas es mínima, además de que las aplicaciones son las menos intensivas. La mano de obra familiar y la semilla no comprada constituyen una parte importante de los costos de producción.

El productor de subsistencia dedica su tierra básicamente a cultivos que pueda consumir directamente (sin ninguna transformación previa), predominando entre éstos el maíz y el frijol. Casi un 40% de la producción de este tipo de agricultura se destina al autoconsumo. Como un resultado de lo anterior, el ingreso agrícola por persona en la agricultura de subsistencia es apenas de 560 pesos anuales (23 veces menor que el de la agricultura moderna). por lo que el agricultor de subsistencia se ve obligado a complementar este ingreso, en mayor proporción que el agricultor moderno, con otras actividades dentro del predio (ganadería en pequeña escala, etc.) y trabajando fuera de él. A pesar de esto, la diferencia entre los ingresos de predios modernos y de subsistencia sigue siendo muy considerable.

La agricultura tradicional (41% de las explotaciones agrícolas) se encuentra entre las dos anteriores, aunque se puede decir que está más cerca de la agricultura de subsistencia que de la moderna. El ingreso por predio es casi siete veces inferior al de la moderna y sólo casi tres veces superior al de subsistencia. El tamaño medio del predio y la proporción de superficie con riego, son ligeramente superiores a lo registrado en la agricultura de subsistencia y muy inferiores a lo observado en la moderna. Su nivel tecnológico y su grado de integración al mercado también se encuentran entre los dos tipos extremos.

---

Fuente: Encuesta sobre las características de la  
producción agrícola en México, Banco de México S.A.

## APENDICE C

Indicadores básicos del desarrollo económico: 1950, 1957, 1969 y proyección a 1976 y 1982

*Porcentos y tasas calculados sobre valores a precios de 1960*

Conceptos	Observado			Proyectado		Tasas de incremento medio anual					
	1950	1957	1969	1976	1982	1951-57	1958-69	1951-69	1970-76	1977-82	1970-82
1. Población (miles de habitantes)	26 463	32 650	49 307	63 019	76 540	3.05	3.49	3.33	3.57	3.29	3.44
Rural %	57.7	52.0	41.2	35.8	32.8	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
Urbana %	42.3	48.0	58.8	64.2	67.8	4.95	5.25	5.14	4.87	4.22	4.57
2. Producto y consumo global por habitante (pesos de 1960)											
Producto	3 287	3 959	5 675	7 185	9 165	2.7	3.0	2.9	3.4	4.1	3.6
Consumo	2 759	3 348	4 636	5 875	7 509	2.8	2.8	2.8	3.4	4.2	3.8
3. Producto bruto interno (millones de pesos de 1960)	86 973	129 250	279 829	452 764	701 520	5.8	6.6	6.3	7.1	7.5	7.3
Agropecuaria (%)	17.8	16.7	11.8	10.2	7.9	4.9	3.6	4.1	5.0	3.2	4.1
Industrial (%)	27.0	27.7	33.7	37.1	40.4	6.3	8.4	7.6	8.6	9.1	8.8
Servicios (%)	55.2	55.6	54.5	52.7	51.7	5.9	6.5	6.3	6.6	7.3	6.9
4. Población económicamente activa (miles de personas)	8 200	9 900	14 050	17 228	20 560	2.7	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0
Agropecuaria (%)	58.5	53.5	42.96			1.4	1.1	1.2			
Industrial (%)	15.9	18.2	23.89			4.8	5.3	5.1			
Servicios (%)	25.6	28.3	33.15			4.2	4.3	4.3			
5. Productividad media por hombre ocupado (pesos de 1960)	10 606	13 056	19 917	26 281	34 121	3.0	3.6	3.4	4.0	4.5	4.2
Agropecuaria	3 217	4 065	5 462			3.4	2.5	2.8			
Industrial	18 052	19 925	28 122			1.4	2.9	2.4			
Servicios	22 888	25 657	32 737			1.6	2.1	1.9			
6. Proporción media producto-capital (%)	37	39	44	45	49	-	-	-	-	-	-
7. Coeficiente de inversión bruta total en el PBI (%)	16.4	18.9	20.5	19.9	19.9	-	-	-	-	-	-
8. Inversión bruta fija (millones de pesos de 1960)	13 572	23 455	52 104	82 706	130 608	8.1	6.9	7.3	6.8	7.9	7.3
Pública (%)	50	30	33	35	40	0.3	7.9	6.1	7.6	10.3	8.8
Privada (%)	50	70	67	65	60	13.6	6.4	9.0	6.4	6.5	6.4
9. Consumo total (millones de pesos de 1960)	73 022	109 306	228 579	370 224	574 743	5.9	6.3	6.2	7.1	7.5	7.3
Público (%)	7.5	7.3	9.1	9.7	10.0	5.5	8.4	7.3	8.1	8.1	8.1
Privado (%)	92.5	92.7	90.9	90.3	90.0	6.0	6.1	6.1	7.0	7.6	7.3

BIBLIOGRAFIA

- (1) Acosta Sierra, F., Manual de Fertilización Foliar, Fertilizantes Foliares, S.A., México (1971)
- (2) Albanese, A., Protein-Aminoacid Nutrition, Academic Press, Inc., New York (1959)
- (3) Altschul, A.M., Proteins: Their Chemistry and Politics, Chapman and Hall, London (1965)
- (3a) Altschul, A.M., Hornstein, I., Foods of the Future, J. Agr. Chem., 20, 3, 532-537, (1972)
- (4) Anon., To stunt their growth, Chem. Week, Aug. 29, 1973
- (5) Anon., Hunger: Famine Casts Its Grim Global Shadow, TIME, May 13, 1974
- (6) Anon., Zoecon Turns Bugs Against Themselves, FORTUNE, Aug. 1973
- (7) Antognini, J., Insect Growth Regulators and Insect Sex Attractants in Pest Control, paper presented at the 56th Annual Meeting of the Pacific Branch Entomological Society of America, Victoria, B.C. June 1972
- (8) Anuario Estadístico de Salubridad y Asistencia, S.S.A., México (1973)
- (9) Arroyo, P., Instituto Nacional de la Nutrición, Comunicación Personal
- (10) Asimov, I., Guide to the Biological Sciences, Pocket Books, Inc., New York (1964)

- (11) Asimov, I., Las Fuentes de la Vida, Libreros Mexicanos Unidos, Ed. Limusa-Wiley, México (1965)
- (12) Balogh, T., The Economics of Poverty, The Macmillan Company, New York (1970)
- (13) Banco Nacional de México, S.A., La Alimentación del Mexicano Mantiene muy Bajos Niveles, Examen de la Situación Económica de México, XLIV, 536, 169-175, (1970)
- (14) Beadle, G.W., Las Bases Físicas y Químicas de la Herencia, Editorial Universitaria de Buenos Aires, (1966)
- (15) Becerra, B.R., Pérez de Mendoza, A., Dinámica Mundial, XII Convención Nacional de Ingenieros Químicos, Monterrey (1972)
- (16) Bengoa, J.M., Recent Trends in Public Health Nutrition, Protein-Calorie Malnutrition, Eight Congress on Nutrition, WHO, Prague (1969)
- (17) Bennet, G.F., Lash, L. D., Industrial Waste Disposal Made Profitable, Chem. Eng. Progr., 70, 2, 75-85, (1974)
- (18) Nennett, I.C., Hondermarck, J.C., Todd, J.R., How BP Makes Proteins from Hydrocarbons, Hydrocarbon Process., 48, 3, 104-108, (1969)
- (19) Bhagwati, J., La Economía de los Países Subdesarrollados, Biblioteca para el Hombre Actual, McGraw-Hill (1965)
- (20) Biochimica et Biophysica Acta, Nucleic Acids and Protein Synthesis, Intl. J. Biochem. Bioph., Elsevier Publishing Company, 331, 1, Amsterdam (1973)
- Boerma, A. H., A World Agricultural Plan, Sc. Am., 223, 2, 54-69, (1970)

- (22) Bourges, H., Sotomayor, A., Mendoza, E., Chávez, A., Utilization of the Algae Spirulina as a protein source, Nutrition Report Intl., 4, 1, 31, (1971)
- (23) Bourges, H., Chávez, A., Arroyo, P., Recomendaciones de Nutrimientos para la Población Mexicana, Publicación L-17 de la División de Nutrición, Instituto Nacional de Nutrición, México (1970)
- (24) Bourlaug, N.E., Human Population, Food Demands and Wildlife Needs, Transactions of the 37th North American Wildlife and Natural Resources Conference, Washington, D.C., March 1972
- (25) Bourlaug, N.E., The Green Revolution, Peace and Humanity, Nobel Lecture, Stokolm (1970)
- (25a) Boyko, H., Farming the Desert, Sc. J., 4, 5, 72-78, (1968)
- (25b) Boyd Orr, J., Feeding the World, Sc. J., 4, 5, 3, (1968)
- (26) BP Proteins Ltd., Proteins from Hydrocarbons, Chem. Eng., 80, 27, 62-67, (1973)
- (27) Brand, D., Natural Wonder: Man's Best Friend may be a Bacterium called Rhizobium; it Fertilizes Some Plants, Aiding in Protein Output, The Wall Street J., Thursday, Feb. 7, 1974
- (28) Brauer, H.D., La Tecnología y la Ciencia en el Desarrollo de la Agricultura, Centro Nac. de la Productividad, México (1967)
- (29) Bray, J.W., Leaf-Protein Recovery, Chem. Eng., 80, 2, 76-77, (1973)
- (30) Brown, L.R., Human Food Production as a Process in the Biosphere, Sc. Am., 223, 3, 160-170, (1970)

- (30a) Bunting, A.H., Harrison, A., Improving Traditional Agriculture, Sc. J., 4, 5, 61-65, (1968)
- (31) Carmona, F., Montañón, G., Carrión, J., Aguilar, A., El Milagro Mexicano, Ed. Nuestro Tiempo, S.A., México (1973)
- (32) CIMMYT, El Proyecto Puebla 1967-69, Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo, México (1970)
- (33) CIMMYT, Informe Anual 1967-68, México (1969)
- (34) CIMMYT, Informe Anual 1969-70, México (1971)
- (35) CIMMYT, Informe Anual 1970-71, México (1972)
- (36) Clark, G.L., (Ed.), The Encyclopedia of Chemistry, Van Nostrand Reinhold Co., New York (1966)
- (37) Clark, B.F., Mareker, K.A., How Proteins Start, Sc. Am., 219, 1, 36-42, (1968)
- (38) Clark, C., Starvation or Plenty?, Oxford University, Taplinger Publishing Co., New York (1971)
- (39) Clement, G., Durand-Chastel, H., Alimentos para el Mañana, Primer Simposio Mundial de Zonas Áridas, México 1970
- (40) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Directorio de Instituciones de Investigación en México, Centro de Diagnóstico, México Julio 1973
- (41) Contreras, G.E., Contaminación del Medio Ambiente por Plaguicidas y su Efecto en Diversos Procesos Industriales, XIII Convención Nacional de Ingenieros Químicos, Puebla, México (1973)

- (42) Curtis, C.N., Johnston, D.R., Hybrid Wheat, Sc. Am., 220, 5, 21-29, (1969)
- (43) Champagnat, A., Protein from Petroleum, Sc. Am., 213, 4, 13-17, (1965)
- (44) Chávez, A., La Magnitud del Problema Nutricional de México, Memorias del Symposium del XXV Aniversario del Hospital Infantil de México, (1968)
- (45) Chávez, A., Disponibilidad de Alimentos y Aumentos de Población, Gac. Med. Méx., 102, 416, (1971)
- (46) Davis, J.C., Molecular Sieve Separates Protein from Cheese Whey, Chem. Eng., 79, 16, 114-115, (1972)
- (47) Damm, C.H., (Ed.), The Handbook of Biochemistry and Biophysics, The World Publishing Co., Cleveland (1966)
- (48) Dawson, A., Food for health and food for work, UN/FAO World Food Programme, Stokolm, July 1973
- (49) Decerle, Ch., Franckowiak, S., Gatellier, C., How I.F.P. Makes Food Yeast, Hydrocarbon Process., 48, 3, 109-112, (1969)
- (50) De Castro, J., La Geografía del Hambre, Editorial Cid, Madrid (1961)
- (51) De Castro, J., El Combate Contra el Hambre en América Latina, Rev. de la Univ. de Méx., 17, 22, (1962)
- (52) Desnutrición y Enfermedad, Estudio Básico 12, OMS, Ginebra (1963)

- (53) Díaz de Mathmann, C., La Desnutrición del Pueblo Mexicano, Rev. Salud Publ. Méx., 9, 761, (1967)
- (54) Doty, P., Proteins, Sc. Am., 197, 3, (1957)
- (55) Durand-Chastel, H., El Alga Spirulina: Nuevo Alimento para el Mañana, XIII Convención Nacional de Ingenieros Químicos, Puebla, México (1973)
- (56) Edel, M., Food Supply and Inflation in Latin America, Frederick A. Praeger, Publishers, New York (1969)
- (57) Edholm, O.G., La Biología del Trabajo, Biblioteca para el Hombre Actual, McGraw-Hill (1967)
- (58) Erus, N., (Ed.), Anuario de la Producción, 1971, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma (1972)
- (59) FAO, El Desarrollo Económico Mediante Productos Alimenticios, Estudio Básico No. 12, Roma (1962)
- (60) FAO, Manual para la preparación de hojas de balance de alimentos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Washington (1949)
- (61) Farrar, W.V., Tecuitlatl: A Glimse of Aztec Food Technology, Nature, 211, 341, (1966)
- (62) Fertilizantes del Istmo, S.A., La Industria de los Fertilizantes en México, Aportación a su Estudio e Integración, México (1966)
- (63) Finlay, et al., Results of the Third International Spring Wheat Yield Nursery, 1966-67, CIMMYT, México (1970)

- (64) Flesa, S.A., La Nutrición Foliar, Madrid (1972)
- (65) Fruton, S.J., Proteins, Sc. Am., 197, 3, (1957)
- (66) Gambs, J., Man, Money and Goods, Columbia University Press, New York (1958)
- (67) Gilad, Y., Trickle Irrigation Systems in Israel, Israel Center of Waterworks Appliances, Tel Aviv (1971)
- (68) Girault, R.M., Problemas y Posibilidades Económicas de México 1971-80, B. Costa-Amic Editor, México (1970)
- (69) Goldberg, D., Shmueli, A., Trickle Irrigation: A Method for Increased Agricultural Production Under Conditions of Saline Water and Adverse Soils, paper presented at the 1969 International Arid Lands Conference, Tucson, Arizona; reprinted by the Hebrew University, Israel (1970)
- (70) Goldberg, D., Modern Concepts on Irrigation, The Israel National Committee of the ICID, Rehovot (1972)
- (71) Grosser, M., The Language of Scent, Zoecon Corp., Palo Alto, Calif., March (1972)
- (72) Grupo Asesor sobre Proteínas, del Sistema de las Naciones Unidas, Proteína Unicelular, Declaración No. 4 del PAG, Nueva York (1970)
- (72a) Hanafy, M.M., Seddik, Y., Aref, M.K., Evaluation of a Protein-Rich Vegetable Mixture for Prevention of Protein-Calorie Malnutrition, J. Sci. Fd. Agric., 21, 1, 13-15, (1970)

- (73) Henahan, J.F., (Ed.), Men & Molecules, American Chemical Society, Crown Publishers, Inc., New York (1966)
- (74) Hydrocarbon Processing, (Ed.), Protein Process, 1971 Petrochemical Handbook Issue, 50, 11, 204, (1971)
- (75) Hoagland, D.R., Arnon, D.I., Growing plants without soil by the water-culture method, circular No. 347, Department of Chemical Plant Nutrition, University of California, Berkley (1957)
- (76) Howe, E.E., World Protein Needs and How They May be Implemented, Management Looks at Current Resources, Dairy and Food Industries Supply Association, Washington, D.C., (1967)
- (77) Humphery, A.E., Starvation: Chemical Engineering Can Help Fight It, Chem. Eng., 73, 13, 149-159, (1966)
- (78) Huterwal, G.O., Hidroponia, Editorial Hobby, Com. e Ind., Buenos Aires, (1968)
- (79) Ihde, J.A., The Development of Modern Chemistry, Harper & Row Publishers, New York (1968)
- (80) Jacobi, C., El Diluvio Humano, Editorial Roble, México (1972)
- (81) J. H. P., Cottonseed to Join Soybean as Human-Protein Source, Chem. Eng., 77, 14, 96-97, (1970)
- (82) Joint FAO/WHO Expert Committee on Nutrition, Food Fortification, Protein-Calorie Malnutrition, WHO Technical Report No. 477, Geneva (1971)

- (83) Jones, G., El Papel de la Ciencia y la Tecnología en los Países en Desarrollo, Fondo de Cultura Económica, México (1973)
- (84) Kindleberger, C.P., Desarrollo Económico, McGraw-Hill Book Co., New York (1966)
- (85) Krause, W., Economic Development, Wadsworth Publishing Co., Inc., San Francisco (1961)
- (86) Lacey, R.E., Membrane Separation Process, Chem. Eng., 79, 19, 56-74, (1972)
- (87) Laguna, J., Bioquímica, La Prensa Médica Mexicana, (1970)
- (88) Laos, H.E., Evolución de la productividad de los factores en México 1950-1967, Ediciones Productividad, Centro Nac. de la Productividad, México (1973)
- (89) Linderstorm-Lang, K.U., How is a Protein Made?, Sc. Am., 189, 3, (1953)
- (90) Lipsey, R.G., Steiner, P.O., Economics, Harper & Row, New York (1972)
- (91) Lodge, G.A.; Quantitative and qualitative control of protein in meat animals, in: Lawrie, R.A., (Ed.), Protein as Human Food, The Whitefriars Press Ltd., Tonbridge, Kent (1972)
- (92) Maddison, A., Progreso y Política Económica en los Países en Vías de Desarrollo, Fondo de Cultura Económica, México (1973)
- (93) Mangelsdorf, P.C., Hybrid Corn, Sc. Am., 185, 2, (1951)

- (94) Martínez, V.G., (Ed.), Estrategias para aumentar la productividad agrícola en zonas de minifundio, Memorias de la I Conferencia Internacional, CIMMYT, Puebla, México (1970)
- (95) Masseyeff, R., El Hambre, Editorial Universitaria de Buenos Aires, (1968)
- (96) Meadows, D.L., et al., Los Límites del Crecimiento, Fondo de Cultura Económica, México (1972)
- (97) Meir, M.G., Industrialization and Agriculture, in: Leading Issues in Development Economies, Oxford University Press, New York (1964)
- (98) Mellor, W.J., Economía del Desarrollo Agrícola, Fondo de Cultura Económica, México (1970)
- (99) Mendoza, M.E., Aspectos Nutricionales de una Proteína Unicelular, Tecnol. de Alim., 6, 22, (1971)
- (100) Merck & Co., Inc., Escases Mundial de Proteínas, Merck Sharp & Dohme Research Laboratory, Rahway, N.J. (1971)
- (101) Morrison, R.T., Boyd, R.N., Organic Chemistry, Allyn and Bacon, Inc., Boston (1969)
- (102) Myren, D.T., The Rockefeller Foundation Program in Corn and Wheat in Mexico, in: Wharton, C., (Ed.), Subsistence Agriculture and Economic Development, Aldine Publishing Co., Chicago (1969)
- (103) McNeil, M., Lateritic Soils, Sc. Am., 211, 5, 96-102, (1964)
- (104) McPherson, A.T., Synthetic Foods are a Necessity, Chem. Eng. Progr., 61, 10, 101-106, (1965)

- (105) Nacional Financiera, S.A., Planta Deshidratadora de Alfalfa, Perfiles Industriales, Dirección de Promoción Industrial, México (1971)
- (106) Naciones Unidas, Acción Internacional para evitar la imminente crisis de proteínas, Publicación No. E/4343/Rev. 1-S.68.XIII.2, Nueva York (1968)
- (107) Naciones Unidas, Declaración de estrategia sobre la acción para evitar la crisis de proteínas en los países en desarrollo, Publicación E/SO18/ Rev. 1-ST/ECA/144, Nueva York (1971)
- (108) Nason, A., Biología, Ed. Limusa-Wiley S.A., México (1970)
- (109) Navarrete, I.M., Distribución del Ingreso en México: Tendencias y Proyecciones a 1980, en: El Perfil de México en 1980, Vol 1, Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, Siglo Veintiuno Editores, S.A., México (1972)
- (110) Navarro, V.A., La escasez de granos y energéticos, Impacto, México, febrero 13, 1974
- (111) Nurkse, R., Problemas de la formación de capital en los países insuficientemente desarrollados, Fondo de Cultura Económica, México (1967)
- (112) Oelshlegel, F.J., Schroeder, J.R., Stahmann, M.A., Potential for Protein Concentrates from Alfalfa and Waste Green Plant Material, Agr. Food Chem. J., Am. Chem. Soc., 17, 4, 791-794, (1969)
- (113) Overbeek, V.J., The Control of Plant Growth, Sc. Am., 219, 1, 75-81, (1968)

- (113a) Parpia, H.A., Novel Routes to Plant Protein, Sc. J., 4, 5, 66-71, (1968)
- (114) Pasquelot, M., La Tierra Intoxicada, Plaza & Janés, S.A., Editores, Barcelona (1973)
- (115) Patchornik, A., The Chemical Modification and Degradation of a Protein; the meaning in the life processes, medicine, pharmaceuticals and industry, Science Research for the Progress of Man, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel (1970)
- (116) Pauling, L., The Structure of Protein Molecules, Sc. Am., 190, 1, (1954)
- (117) Pirie, N.W., Orthodox and Unorthodox Methods of Meeting World Food Needs, Sc. Am., 216, 2, 27-35, (1967)
- (118) Poleman, T.T., The Impact of the Green Revolution, in: Freebairn, D.K., (Ed.), Food Population and Employment, Praeger Publishers, New York (1973)
- (119) Pratt, Ch., Chemical Fertilizers, Sc. Am., 212, 6, 62-72, (1965)
- (120) Privat de Garilhe, M., Los Acidos Nucleicos, Editorial Universitaria de Buenos Aires, (1965)
- (121) Pró, M.A., Neri, F.O., Cuca, G.M., Estudio comparativo del maíz Opaco-2 y maíz normal y el efecto de la suplementación de lisina en dietas para pollos en iniciación, Técnica Pecuaria en México, Núms. 15 y 16, pg. 14-20, Julio 1971
- (122) Protein Advisory Group of the United Nations System, PAG Statement No. 4 on Single Cell Protein, New York (1972)

- (123) Protein Advisory Group of the United Nations System, PAG BULLETIN, III, 3, (1973)
- (125) Ramírez, H.J., Chávez, A., Balance de los Alimentos en México, Rev. Méx. Sociol., 31, 73, (1969)
- (126) Ramírez H.J., Arroyo, P., Chávez, A., Aspectos Socioeconómicos de los Alimentos y la Alimentación en México, Com. Ext., XXI, 8, 675-690, (1971)
- (127) Ramírez, H.J., Chávez, A., El Desarrollo de las Disponibilidades de Alimentos en México, Rev. Méx. Sociol., 23, 1211, (1970)
- (128) Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee, Energy and Protein Requirements, WHO Technical Report No. 522, Geneva (1973)
- (129) Reynolds, C.W., The Mexican Economy, Yale University Press, New Haven, Conn., (1970). (Trad.: La Economía Mexicana en el siglo XX, Fondo de Cultura Económica, México, 1973)
- (130) Roberts, J.D., Caseiro, M.C., Basic Principles of Organic Chemistry, W.A. Benjamin, Inc., New York (1964)
- (131) Rodríguez, R., Quiñones, M.A., Bourlaug, N.E., Narváez, I.M., Trigo Híbrido: Su Potencial Para Alimentar una Creciente Población Mundial, CIMMYT, México (1970)
- (132) Rodríguez Zisneros, M., Agricultura y Ganadería, en: El Perfil de México en 1980, Vol II, Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, Siglo Veintiuno Editores, S.A., México (1970)

- (133) Rodríguez Cisneros, M., Características de la Agricultura Mexicana y Proyecciones de la Demanda y la Oferta de Productos Agropecuarios a 1976 y 1982, Comunicación Personal
- (134) Salisburg, F.B., Plant Growth Substances, Sc. Am., 196, 4, (1957)
- (135) Sampedro, J.L., Las Fuerzas Económicas de Nuestro Tiempo, Biblioteca para el Hombre Actual, McGraw-Hill (1967)
- (136) Samuelson, P.A., Economics, McGraw-Hill, New York (1973)
- (137) Santillán, C., Sosa Texcoco, S.A., Comunicación Personal
- (138) Scientific American, (Ed.), Física y Química de la Vida, Alianza Editorial, Madrid (1970)
- (139) Scrimshaw, N.S., Food, Sc. Am., 209, 3, 72-80, (1963)
- (140) Stein, H., Moore, S., The Chemical Structure of Proteins, Sc. Am., 202, 2, (1961)
- (141) Sen, B.R., El Desafío del Hambre, El Correo, UNESCO, Julio-Agosto 1962
- (142) Stevens, R., Elasticity of Food Consumption Associated with Changes in Income in Developing Countries, Economic Research Service, Paper No. 23, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., (1965)
- (143) Stewart, J.A., Seubert, M.K., Driedger, A., Grain Preservation Through Chemical Engineering, Celanese Chem. Co. Technical Center, Corpus Christi, Texas (1973)

- (144) Sharon, N., Relevance of Protein Research to the Living Processes; Control of Disease, Food and Industry, Science Research for the Progress of Man, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel (1970)
- (145) Shimada, A.S., Peraza, C.C., Cabello, F., Martínez, L. R., Digestibilidad aparente de los maíces Opaco-2, Harinoso-2 y común para el cerdo en crecimiento, Técnica Pecuaria en Méx., Nums. 15 y 16, 27-30, (1971)
- (146) Sigurbjornsson, B., Induced Mutations in Plants, Sc. Am., 224, 1, 86-95, (1971)
- (147) Simpson, D., The Dimensions of World Poverty, Sc. Am., 219, 5, 27-35, (1968)
- (148) Sochaczewski, J., Pérez de Mendoza, A., Becerra, B.R., Alimentos y Pronósticos Tecnológicos, XIII Convención Nacional de Ingenieros Químicos, Puebla, México (1973)
- (149) Sukhatme, P.V., The World Food Supplies, J. of the Royal Statist. Soc., Series A, 129, 2, 222-241, (1966)
- (150) Sukhatme, P.V., The World's Hunger and Future Needs in Food Supplies, J. of the Royal Statist. Soc., Series A, 124, Part IV, 463-525, (1961)
- (151) Takata, T., From n-Paraffins to Proteins, Hydrocarbon Process., 48, 3, 99-103, (1969)
- (152) Technological Forecasting vs Crystal Ball, International Space Forum, Newark Sunday News, Sect. 7, (P.R. II), Nov 13, 1966

- (153) Tette, J.P., Development and use of sex pheromones for pest management, paper presented at the 14th International Congress of Entomology, Canberra City, Australia (1972)
- (154) Tracey, V.M., Proteins, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Preservation, Australia, (1968)
- (155) Trejo, R.S., Industrialización y Empleo en México, Fondo de Cultura Económica, México (1973)
- (156) United Nations Development Program, Publication DP/GLO/Final Report 1, New York, July 1973
- (157) Villegas, E., Mertz E., Métodos Químicos Usados en el CIMMYT para Determinar la Calidad de la Proteína del Maíz, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México (1971)
- (158) Wolstenholme, G., (Ed.), Man and his Future, J & A Churchill Ltd., London (1966)
- (159) Warshofsky, F., The Control of Life, The Viking Press, New York (1970)
- (160) Worsley, P., Problems of the 'Have-not World', in: Cunliffe, M., (Ed.), The London Times History of our Times, W.W. Northon & Co., Inc., New York (1971)
- (161) Zenteno, B.R., Cabrera, G.A., Proyecciones de la Población de México 1960-1980, Investigaciones Industriales, Banco de México, S.A., (1966)

- (162) Zoecon, Altosid: Environmental Properties, Technical Bulletin, Zoecon Corporation, Palo Alto, Calif., (1974)
- (163) Zoecon, Zoecon Corporation Annual Report, Palo Alto, Calif., (1973)
- (164) Zubirán, S., Aspectos Fundamentales de la Nutrición en México, Gac. Med. Méx., 99, 1091, (1969)
- (165) Zubirán, S., Martínez, P.D., Chávez A., Características de la Desnutrición en México, Rev. Inv. Clín., XIV, 4, (1962)