

REAL ACADEMIA DE MEDICINA DE VALENCIA

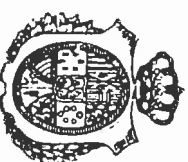
LA DEFICIENCIA PROTEICA
EN LA
ALIMENTACION
DE LA
HUMANIDAD

UN RETO A LA CIENCIA Y TECNOLOGIA
DE LOS ALIMENTOS

DISCURSO DE RECEPCION DEL ACADEMICO ELECTO
EXCMO. SR. PROF. DR. D. EDUARDO PRIMO YUFERA

DISCURSO DE CONTESTACION DEL ACADEMICO NUMERARIO
LMO. SR. PROF. DR. D. ENRIQUE HERNANDEZ GIMENEZ

Leídos el día 25 de enero de 1977



VALENCIA

LA DEFICIENCIA PROTEICA EN LA ALIMENTACION DE LA HUMANIDAD. UN RETO A LA CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS

REAL ACADEMIA DE MEDICINA DE VALENCIA

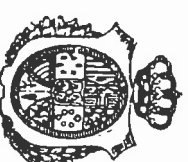
**LA DEFICIENCIA PROTEICA
EN LA
ALIMENTACION
DE LA
HUMANIDAD**

UN RETO A LA CIENCIA Y TECNOLOGIA
DE LOS ALIMENTOS

DISCURSO DE RECEPCION DEL ACADEMICO ELECTO
EXCMO. SR. PROF. DR. D. EDUARDO PRIMO YUFERA

DISCURSO DE CONTESTACION DEL ACADEMICO NUMERARIO
ILMO. SR. PROF. DR. D. ENRIQUE HERNANDEZ GIMENEZ

Leídos el día 25 de enero de 1977



VALENCIA

Discurso de recepción del Académico Electo

Excmo. Sr. Prof. Dr. D. EDUARDO PRIMO YUFERA

I.S.B.N. 84-00-03596-8

Depósito legal: V. 71 - 1977

Excelentísimo Señor Presidente
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores
Ilustrísimos Señores Académicos
Señoras, Señores

Mis primeras palabras son de emocionado agradecimiento por el honor que me ha concedido esta Real Academia de Medicina de Valencia al nombrarme académico de número de la misma, honor que no merezco por mi mismo y que sólo se justifica como reconocimiento, personalizado en mí, por un azar de la vida, de la contribución que la ciencia que profeso ha aportado al progreso de la medicina y también por la labor que un grupo de hombres valiosos ha realizado conmigo en el campo de los alimentos.

Desde los comienzos de mi carrera, centrada en la Química Orgánica, me atraieron fuertemente los problemas de interés médico. Mi maestro, el profesor Reichstein de Basilea, químico y premio Nobel de Medicina, me descubrió las ilimitadas posibilidades de la investigación y, posteriormente, mi larga colaboración con el gran hombre y miembro de esta Academia que fue don Aurelio Gamir, me ligó definitivamente a los problemas farmacéuticos.

A ellos, a todos mis colaboradores y a la benevolencia de esta Real Academia, se debe el que ocupe hoy este lugar. Espero, con mi esfuerzo y dedicación, hacerme digno de tan gran honor.

I. RELACION ENTRE LA PRODUCCION DE ALIMENTOS Y LA POBLACION

La explosión de la población mundial es bien conocida. Con un coeficiente de crecimiento del 2% pasaremos desde los cerca de 4.000 millones actuales a unos 6.700 millones en el año dos mil. Pero en los países tropicales —más de 2.000 millones—, la población se duplicará en veinticuatro años. Figura 1 (F.A.O., 1962; United Nations, 1966).

Para responder a la demanda de alimentos de esta población creciente, la producción debe aumentar considerablemente.

El Science Advisory Committee de los EE.UU. considera necesario un aumento anual del 4% en la producción de alimentos, para alcanzar las necesidades de la población en 1985. A pesar de las numerosas voces pesimistas, considero que las metas son alcanzables, porque la tecnología ya existente puede resolver los problemas por vías muy distintas, unas agrícolas y otras industriales. Pensemos que Holanda, país superpoblado, puede alimentar a su población y, además, exportar un tercio de sus productos agrícolas.

Si los EE.UU. tuvieran la misma productividad por Ha que Holanda, aquéllos podrían producir alimentos suficientes para todo el mundo.

Existen grandes diferencias entre los rendimientos agrícolas de explotaciones que utilizan tecnologías de punta y los rendimientos nacionales medios, aun en países desarrollados. Las variaciones pueden ser de 4:1 para el arroz, 8:1 para el trigo y 6:1 para el maíz (Brown, 1965). Las diferencias entre países aún son mayores. Esto indica que se puede aumentar la producción de alimentos con las técnicas hoy conocidas. La cuestión, a escala mundial, estriba en alcanzar los niveles de producción europeos por unidad de superficie y mantener una ingestión diaria de calorías adecuada con un tipo de dieta que no despilfarre los recursos. Con estas condiciones, la tierra cultivada actualmente puede soportar una población de cerca de 15.000 millones de personas.

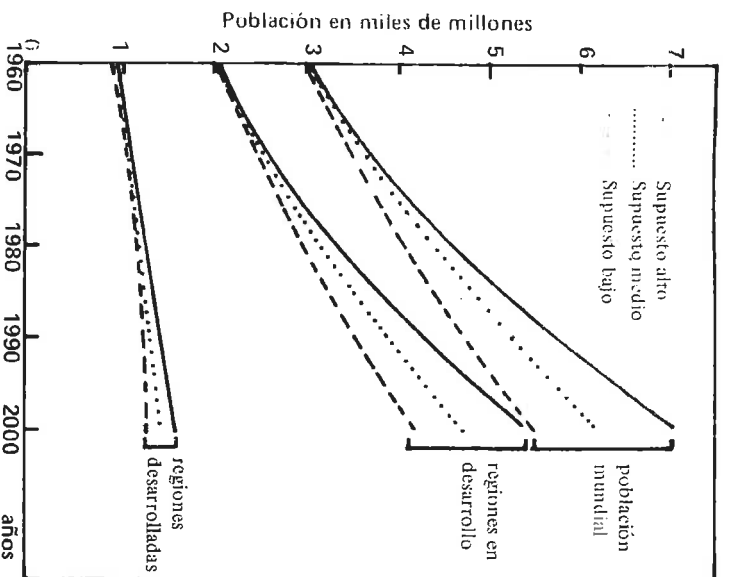


Figura 1.—Proyección de la población mundial.

Con el nivel actual de producción japonés por Ha en Asia y para una dieta de 3.000 calorías por persona y día, se podría sostener una población doble de la actual.

Las tierras cultivadas son, aproximadamente, 1.500 millones de Ha equivalentes, pero podrían más que doblarse (2.000 millones de Ha más) si las inversiones necesarias pudieran ser aportadas por organizaciones internacionales eficaces. F.A.O. (1969).

Inglaterra, Australia, Estados Unidos y Canadá son los países con mayor superficie cultivada, por persona activa, en el sector primario, y las dos primeras tienen una renta por persona mayor en agricultura que en industria.

Norteamérica explota el 16'3% de la tierra cultivada del mundo, y sólo tiene el 7% de la población. Asia, en cambio, explota el 31% de la tierra cultivada y tiene el 56'5% de la población mundial. En total, sólo un poco más del 10% de la superficie de la tierra está cultivada, y sólo un 10% de tierra cultivada es de regadío. La República Árabe Unida es el único país que riega toda su tierra cultivable; el Japón riega un 56%, y el Pakistán un 43%. Utilizando mejor el agua disponible sería posible regar un 10% más de la tierra cultivada.

La creciente demanda de agua dulce podrá satisfacerse mediante desarrollos tecnológicos cuya base científica ya es conocida actualmente. El coste de la desalinización del agua del mar se podrá reducir, en el futuro, hasta límites convenientes. Para las aguas industriales y urbanas, se investigan, actualmente, procesos económicos de reciclación y la prospección y explotación de depósitos hidrogeológicos es cada vez mayor. Se suponen unas reservas de 800 millones de litros por cada hombre (Kharbas *et al.*, 1972).

Pero la mejor esperanza para la solución del problema del agua es la energía solar. Hay dos técnicas que ya ofrecen soluciones prácticas: la desalinización del agua del mar mediante la energía térmica solar y las bombas solares que permiten extraer aguas subterráneas mediante dispositivos termomecánicos, que calientan freón por energía solar. En México, se han instalado bombas solares para abastecer aglomeraciones rústicas del orden de 1.000 habitantes.

La desigual distribución de los recursos y la heterogeneidad de las dietas son problemas que complican la situación a escala mundial.

Aproximadamente la mitad de la producción de alimentos mundial se consumen por la quinta parte de la población en los países desarrollados. Las dietas de esta población son abundantes en leche, huevos y carne, cuya producción se hace con rendimientos energéticos muy bajos. Si la población del hemisferio occidental redujera su ingestión de proteínas animales, se podría ahorrar una gran cantidad de cereales que se utilizan para alimentar el ganado. Pero el cambio de dieta en los países desarrollados no es una solución viable para el problema mundial, porque están implicados problemas socioeconómicos muy complejos.

En los países más desarrollados existen posibilidades amplísimas de elección de alimentos. Carnes, pescados, frutas, productos elaborados de gran calidad, etcétera, están al alcance de la mayor parte de la población, en todas las épocas del año, gracias a la moderna tecnología de alimentos. Esta feliz situación terminará, probablemente, en un plazo de medio siglo o menor, por la presión creciente de la población, más acelerada que la producción de alimentos, lo cual empezará a limitar nuestras posibilidades de elección, especialmente en los productos de menor productividad, como la carne de ternera.

Un dato significativo es que, hasta 1955, los Estados Unidos eran exportadores de carne, pero ahora importan cerca de un millón de toneladas, en gran parte de Australia.

Por otra parte, la presión que impulsa la elevación de los precios de los productos más solicitados, viene incrementada por la adopción de dietas occidentales por la población de otros países.

Así, por ejemplo, en Japón, en los últimos 20 años, se ha producido un rápido aumento en el consumo de carne, huevos y leche, productos que se importan principalmente de otros países de las costas del océano Pacífico (ver tabla 1).

Frente a los problemas expuestos, el hombre dispone de la mejor arma que es el potencial para desarrollar nuevas tecnologías de producción agraria y, más todavía, la posibilidad de conseguir nuevas fuentes de alimentos por métodos industriales.

Tabla 1

	Consumo japonés de alimentos (g/día/cabeza)		
	1948-50	1957-59	1968
Carne.	5	15	37
Huevos.	2	12	36
Leche.	11	49	123

FAO, 1969.

II. IMPORTANCIA DEL DEFICIT PROTEICO EN LA ALIMENTACION DE LA HUMANIDAD

Se calcula que el 50-60 % de la población del mundo tiene una ingestión proteica por debajo de la dieta mínima clásica de la F.A.O. Sin embargo, este mínimo está sujeto a revisión, con lo que la proporción de seres humanos con ingestión proteica deficiente sería menor.

No obstante, encuestas recientes indican que, en la India, 40 millones de niños muestran síntomas de deficiencia proteica y, en el distrito Candelaria de Colombia, éstos afectan al 40 % de los niños.

La cuestión estriba en que las proteínas de alto valor biológico se encuentran en los productos animales, carne, leche y huevos, etcétera, mientras que los cereales y los tubérculos contienen proporciones bajas de proteínas y éstas son deficientes en algunos aminoácidos esenciales. Principalmente son escasos en lisina.

Se calcula que el 50 % de la población de los países en desarrollo tiene una renta anual de menos de 200 dólares, y que tal vez el 70-80 % de su renta de trabajo se gasta en alimentos. La mayor deficiencia nutritiva de este mundo en desarrollo es de proteínas. Esta deficiencia afecta al crecimiento

físico y al desarrollo mental, reduce la resistencia frente a las enfermedades y acorta la esperanza de vida.

En la tabla 2 se indican los tipos de alimentos que consumen las diferentes partes del mundo para sus aportes de calorías. Norteamérica y Oceanía consumen más productos ganaderos y menos cereales que las demás regiones (Brown, 1963).

Aproximadamente el 60 % de los alimentos del mundo proceden de seis cosechas: arroz, trigo, patatas, maíz, cebada y mijo. El arroz y el trigo son las principales, y aportan a la humanidad el 21 y el 20 % de calorías, respectivamente.

Tabla 2

Consumo per cápita de distintos tipos de alimentos en grupos de países
(En % de la ingestión calórica)

País	Granos, raíces y tubérculos		Frutos secos y vegetales		Azúcar	Grasas y Productos de ganadería		Pescado
Norte América.	24'4	9'1	15'8	19'9		30'6		0'2
Oceanía.	30	5'6	16'3	12'3		35'2		0'6
Europa Occidental.	43'9	6'4	11'2	16'8		20'8		0'9
Hispano América.	50'7	12'3	14'0	8'0		14'7		0'3
Europa Oriental y URSS.	64'9	3'5	8'0	9'2		14'0		0'4
África.	70'1	11'5	4'1	7'5		6'3		0'5
Asia.	74'5	11'4	4'1	5'3		3'8		0'9
Mundo.	62'7	9'6	7'3	8'9		10'8		0'7

Así pues, el problema mayor, para la alimentación de la Humanidad, es la escasez de proteínas y, sobre todo, de proteínas de elevado valor biológico, ricas y completas en los aminoácidos esenciales.

La O.M.S. y la F.A.O. recomiendan, para el hombre adulto, un aporte diario de 1 g de proteínas por Kg de peso. Además, esta cantidad debe contener unas proporciones adecuadas de los aminoácidos esenciales que son clásicos en los textos de nutrición.

Según estos datos, el problema de suministro proteico en el mundo es muy grave. Sin embargo, actualmente, estos conceptos y cifras están sujetos a fuerte crítica y a revisión.

Una información sorprendente puso en guardia, hace unos años, a los científicos de la nutrición. Algunas tribus de las montañas de Nueva Guinea Central viven, principalmente, de una dieta de boniatos complementada con hojas de vegetales verdes y eventualmente con habas y guisantes.

La dieta tiene un valor calórico de 2.100 calorías al día, con 22 g de

proteínas de bajo valor biológico, que corresponde a una media de 0'4 g por kilo de peso y día. Sin embargo, el estado general de salud de las tribus parece ser bueno, incluso entre los niños, en los cuales se acusa más la insuficiencia proteínica (Oomen, 1970; Corden, 1970). Algunos trabajos indican que, en estos individuos, frecuentemente el nitrógeno excretado en las heces excede al nitrógeno ingerido en los alimentos, y esto se trata de relacionar con la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en el vientre, especialmente de ciertas especies de "Clostridium", las cuales sintetizan cantidades importantes de proteínas.

No obstante, estas ideas están siendo muy controvertidas.

Por otra parte, la teoría de la homeostasis intestinal de aminoácidos también pone en revisión las cifras de necesidades proteicas (Nasset, 1972).

Según Nasset, la proporción molar de los aminoácidos libres presentes en el intestino, permanece constante, aunque varíe la ingestión de proteína.

Así pues, las verdaderas necesidades de proteínas para la Humanidad, no pueden definirse sin mejores conocimientos sobre la nutrición proteica.

Actualmente muchos nutriólogos estiman que son suficientes 4 g de aminoácidos esenciales por día, suministrados por 10 g de proteínas de buena calidad o por 30 g de calidad media (Irwin y Hegsted, 1971).

Con todo, el problema más importante para la alimentación de la Humanidad es el del suministro de proteínas de alto valor biológico. En los capítulos siguientes se analizan las posibilidades que la Ciencia y Tecnología de alimentos ofrece para resolverlo.

III. PERSPECTIVAS DE MEJORAS EN LA PRODUCCION AGRARIA

III.1. LAS AREAS TROPICALES

En las zonas tropicales las posibilidades de aumentar los rendimientos agrícolas son muy importantes, porque las temperaturas son favorables para los cultivos durante todo el año.

Mientras que el rendimiento de arroz por Ha en Valencia supera considerablemente al de las zonas tropicales, el rendimiento de grano por metro cuadrado y por día de duración de la cosecha es mucho mayor en éstas, y Stewart ha calculado que el rendimiento de grano por unidad de radiación solar es casi doble en Filipinas que en el sur de Australia (Stewart, 1970).

Una nueva tecnología, con nuevos métodos de cultivo, de recolección y secado, permitiría una agricultura tropical, de aprovechamiento máximo.

Problemas muy serios son la menor fertilidad inherente a gran parte de los suelos tropicales y la mayor dificultad del control de las plagas. Sin embargo, hasta ahora no ha habido un esfuerzo de investigación de los problemas de la agricultura tropical comparable al que se ha realizado en la agricultura de las regiones templadas.

III.2. LA MEJORA GENÉTICA DEL VALOR NUTRITIVO O DE LA PRODUCCION DE PLANTAS

Las proteínas de las semillas, que son proteínas de reserva, son de menor valor nutritivo que las animales por su balance de aminoácidos más desfavorable.

En general, los cereales son deficientes en lisina. y en segundo lugar, en treonina o triptófano. La soja y las legumbres en general, son escasas en metionina. Por ello, tiene gran interés seleccionar variedades de cereales y legumbres con proteínas de mayor valor nutritivo. Por ello se han obtenido las variedades mutantes de maíz "Opaque 2" y "Floury 2", que son más ricas en lisina.

Singh y Axtell (1973) estudiaron semillas de 9.000 variedades de sorgo y encontraron dos con un contenido en lisina aumentado en un 60 %, y entre 1.000 variedades de cebada, se seleccionó la Hiproly, con un contenido en lisina superior en un 30 %.

Otros éxitos de la genética han sido la producción de variedades que permiten adecuar el ciclo de crecimiento de una cosecha a la época conveniente en un clima determinado. Un ejemplo de esta adecuación es el caso del sorgo, especie tropical, originalmente confinada a los climas más cálidos, de la cual se fueron desarrollando variedades de maduración precoz que se cultivan en zonas frías.

En el Rice Research Institute de Filipinas se han conseguido variedades de arroz con rendimientos de más de 10.000 Kg por Ha. Mediante su introducción, Filipinas ha pasado de importadora de arroz a exportadora, y en el sur de Asia su cultivo se extiende rápidamente.

El aumento de producción de ciertos aminoácidos es un objetivo siempre interesante en la mejora de muchas cosechas. Los cereales son pobres en lisina, treonina y triptófano, y la soja es pobre en metionina.

En cultivos de células vegetales se han conseguido mayores síntesis de aminoácidos específicos, añadiendo al medio compuestos de estructura análoga a los mismos que cumplen bioquímicamente en su utilización. Entonces sólo sobreviven los mutantes que sintetizan mayor cantidad del

aminoácido auténtico.

Se han aislado clones de células de tabaco que, siendo resistentes al 5-metil-triptófano, contienen este aminoácido en cantidad 25 veces mayor.

Carlson, usando cultivos de células de tabaco en presencia de metionin-sulfoximina, aisló clones y luego regeneró plantas de tabaco enteras, cuyas hojas contienen 5 veces más metionina. Estos resultados no tienen valor práctico inmediato, pero abren posibilidades inmensas a la investigación.

Sin embargo, lo verdaderamente interesante no es aumentar la cantidad de aminoácidos libres en algunos tejidos vegetales, sino la de proteínas, con la composición adecuada, en los órganos que interesan para alimento (semillas, tubérculos, etcétera).

En todo el mundo, una deficiencia muy importante en la dieta es la escasez de los aminoácidos que contienen azufre, cistina y metionina. Con el aumento del contenido de estos aminoácidos en las proteínas del trigo, arroz y maíz se reduciría la deficiencia proteica de la alimentación en varios países subdesarrollados.

Posteriormente, veremos las posibilidades que existen para desarrollar nuevas variedades vegetales a nivel celular.

III.3. POSIBILIDADES PARA LA PRODUCCION DE PROTEINAS ANIMALES

Los métodos agropecuarios modernos permiten una elevada productividad ganadera, en zonas áridas que suponen el 30 % de la superficie cultivable. La investigación del aprovechamiento de las zonas áridas tiene actualmente una gran importancia y la producción de ganado, en estas regiones de escaso rendimiento agrícola, debe crecer en el futuro, con una disminución notable de la superficie necesaria por Kg de carne producida.

En este sentido, se están desarrollando nuevas técnicas para la mejora de los pastos, se introducen especies nuevas y se adaptan otras.

Además, las técnicas ganaderas comienzan a extenderse a algunos animales salvajes australianos que parecen ser más eficaces que los tradicionales para transformar los pastos en carne. En las zonas tropicales y subtropicales cruces selectos de zebú (Bos indicus) y ganado europeo han elevado el rendimiento del 50 al 100 % (Anderson, 1968).

Con todo ello, la productividad de las tierras áridas y semiáridas puede crecer fuertemente.

Por otra parte, los cereales y las legumbres irán destinándose a alimento para el consumo humano y la ganadería utilizará cada vez más los pastos.

III.4. LA MEJORA DEL RENDIMIENTO FOTOSINTETICO

El rendimiento de la fotosíntesis, en materia vegetal, es un factor de máxima importancia en la producción agraria.

Se sabe que el maíz y la caña de azúcar son cosechas de gran productividad y de gran eficacia fotosintética y ello se debe a que, en ellos, la fotorrespiración es muy baja y el balance neto de CO₂ fijado es mayor.

La respiración que se produce en los intervalos de iluminación, o fotorrespiración, significa un despilfarro energético de las plantas verdes. Ello se debe a una desviación metabólica del difosfato de ribulosa que, en vez de entrar en el ciclo de Calvin por la vía de fijación de CO₂ y formación de 2 moles de fosfoglicérico, se oxida a fosfoglicérico y fosfoglicólico dando esto finalmente ácido glicólico.

El ácido glicólico es oxidado a ácido glioxílico por la glicólico-oxidasa, y ésta da finalmente CO₂ y serina, con lo que un 20 % del carbono fijado que entre en este ciclo vuelve a pasar a CO₂ (Zelitch, 1973).

Por otra parte, las plantas más eficaces (maíz, sorgo, caña de azúcar), tienen unas características anatómicas especiales (síndrome de Kranz) y una pauta metabólica especial, distinta a la ruta normal de Calvin. La diferencia está en que poseen el enzima fosfoenol pirúvico-carboxilasa, mediante la cual el ácido F.E.P. fija carbónico, produciendo ácido oxal-acético, que luego se transforma en málico y aspártico (pauta en C₄). En las plantas de elevada fotorrespiración, el primer producto de fijación de CO₂ es el ácido fosfoglicérico (pauta en C₃). La mayor productividad se da en las plantas con pauta C₄ (Lorimer y Andrews, 1973).

En las plantas de bajo rendimiento fotosintético y fotorrespiración alta, como el tabaco, se puede disminuir ésta inhibiendo la glicólico-oxidasa con ácido α -hidroxi-pirimidin-metansulfónico. Esta inhibición da lugar a una acumulación de ácido glicólico en las hojas del tabaco, pero no en las de maíz, lo que indica que en éste, el enzima no es decisivo. Las plantas de tabaco inhibidas tienen una fotorrespiración baja, como la del maíz.

Si en diferentes cosechas pudiera evitarse la desviación metabólica a través del ácido glicólico, su eficacia fotosintética y su productividad aumentarían notablemente. En las plantas forrajeras, por ejemplo, esto supondría grandes ventajas.

Se ha tratado de obtener plantas de soja con fotorrespiración baja. Para ello las hacen germinar, junto con plantas de maíz, en cámara que se cierra cuando las plantitas tienen unos días. Al disminuir la proporción de CO₂ por el maíz, las plantas de soja que pueden sobrevivir serán las que mejor aprovechen éste, es decir las de fotorrespiración más baja, lo que permite seleccionar las más efectivas. Este es un método, al azar, que se piensa puede dar variedades interesantes.

Otra forma de selección puede ser, en cultivos celulares, el aislamiento de mutantes capaces de metabolizar ácido glicólico en forma eficaz, por contener bajos niveles de glicólico-oxidasa y dirigir la pauta metabólica hacia el ciclo normal.

También existe la posibilidad de seleccionar microorganismos fotoautótrofos, muy eficaces, para intentar hibridaciones con su material genético.

III.5. LA MEJORA DE LA RESISTENCIA A LAS ENFERMEDADES

Algunos economistas agrarios estiman que, en todo el mundo, las plagas y enfermedades de los cultivos producen la pérdida de cerca de 1/3 de las cosechas, y que sólo las producidas por hongos podrían alimentar a 300 millones de personas.

Aparte del desarrollo de nuevos plaguicidas más seguros y específicos y de los nuevos insecticidas hormonales (Primo *et al.*, 1976), un camino adecuado para evitar estas pérdidas es la obtención de plantas resistentes. Para ello, es fundamental el conocimiento del mecanismo genético y bioquímico de la resistencia.

En algunos casos, ésta se debe a la presencia de fitoalexinas, para cuya síntesis están dotadas las plantas resistentes, pero, en otros, el mecanismo es mucho más complejo.

Uno de los pocos casos bien estudiados, que dan luz, respecto a las posibilidades futuras, en esta línea de trabajo, es el mecanismo de la patogenicia y de la resistencia respecto al *Helminthosporium sacchari*, que ataca a la caña de azúcar.

De él Strobel ha aislado la toxina que es el α -galactósido del 1-2 dihidroxi-ciclopropano, que es activa a concentraciones del orden de 10⁻¹⁵, para plantas susceptibles. La acción tóxica se puede evitar con α -galactósidos, pero no con β -galactósidos.

En estudios con la toxina marcada con C-14, se ha visto que ésta se fija en una lipo-proteína de la membrana celular, que se aísla por cromatografía sobre *sefadex*. Esta fracción adquiere radiactividad de la toxina marcada en las plantas sensibles, pero no en las resistentes, y esto significa que la resistencia está relacionada con la falta de capacidad de fijación de la membrana para la toxina.

Las plantas sensibles, tratadas previamente con α -galactósido, tampoco fijan la toxina.

Por gel-electroforesis, en solución con dodecil-sulfato sódico, se ha determinado que la proteína específica está formada por cuatro sub-unidades

que tienen alrededor de 110 aminoácidos cada una. La proteína de las plantas resistentes tiene cuatro, de estos 111 a. a., cambiados. El cambio de plegamiento que esto supone, hace que no pueda fijar α -galactósidos en los sitios activos ni, por tanto, la toxina.

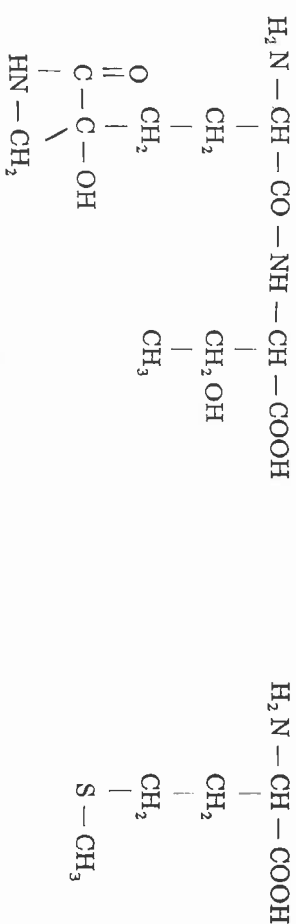
Mediante las técnicas de aplicación de micro-electrodos se ha demostrado que la fijación de la toxina interfiere la regulación del paso de iones a través de la membrana. La aplicación de la toxina produce una brusca caída del potencial a su través,—debido a una activación de la K, Mg-ATPasa, aumentando la entrada de K⁺ en la célula con aumento de la presión osmótica y ruptura de la membrana, que da lugar a las lesiones foliares de la planta. Se supone que la fijación de la toxina, al cambiar la forma de la lipoproteína de la membrana, activa el enzima, anulando su mecanismo de regulación.

Por otra parte, se ha descubierto que el hongo *H. sacchari*, sólo produce toxina en cultivos que contienen extracto de caña y que es un compuesto producido por ésta, de peso molecular de 1.500, el que desencadena el proceso de síntesis de aquella en el hongo. ¿Cómo pueden estos conocimientos, adquiridos a costa de mucho trabajo y mucho ingenio y paciencia ser utilizados para la mejora de la producción agrícola?

Se seleccionan variedades resistentes, con un ahorro extraordinario de trabajo y tiempo, pulverizando plantitas, germinadas en bandejas, con una solución de la toxina, y tomando las que no desarrollen los síntomas de la enfermedad. Irradiando plantas con rayos γ se tienen muchos mutantes y se aumenta la probabilidad de selección.

Inyectando la toxina a cobayas se ha obtenido un suero con anticuerpos que impide los efectos de la toxina en las hojas de caña. Esto demuestra la posibilidad de obtener inmunidad en plantas, con sueros. Para fines de identificación, en el IATA se han obtenido sueros de cobaya, con anticuerpos del virus de la tristeza, que sirven para la detección rápida y precoz de la enfermedad.

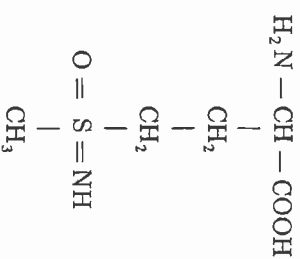
En cultivos de protoplastos de tabaco, se han podido seleccionar clones de células, resistentes al *Pseudomonas Tabaci*, añadiendo, al medio, la toxina, que es un inhibidor de la metionina. Los callos de tabaco, regeneran bien plantas enteras por la aplicación de fitohormonas.



Toxina del *P. tabaci*

Metionina

En algunos casos podrían utilizarse compuestos análogos a las toxinas, de más fácil obtención, como la metionin-sulfoximida.



Metionin sulfoximida

Análogo

Los mutantes resistentes tienen 500 veces más metionina libre.

Hasta ahora se han identificado pocas toxinas de patógenos de plantas. La investigación futura ha de dar muchos conocimientos básicos, en este campo, que serán muy fecundos en aplicaciones importantes para la humanidad.

III.6. CULTIVO DE CELULAS VEGETALES

Como hemos visto, la mejora genética de las especies cultivadas permitirá producir cosechas más equilibradas en elementos nutritivos. Para este fin, el cultivo de células vegetales y de protoplastos es una técnica adecuada para inducir y seleccionar mutaciones, mucho más rápidamente que

con las técnicas clásicas y para conseguir hibridaciones interespecíficas e intergenéricas.

El método consiste en el cultivo de células haploides, formación de una suspensión de células dispersas, aplicación de mutágenos, expresión de fenotipos, selección de mutantes, desarrollo de clones y regeneración de la planta, mediante la aplicación de fitohormonas en sus equilibrios adecuados (Carlson, 1970).

Esto permite seleccionar genomas con características bioquímicas deseadas, siempre que puedan expresarse en el cultivo.

También el cultivo de protoplastos permite producir plantas híbridas entre especies sexualmente incompatibles, mediante la introducción de material cromosómico de una célula en otra. Sin embargo, estas técnicas sólo han tenido éxito en unas pocas especies y se necesita mucha más investigación para su desarrollo.

La gran ventaja de la selección de mutantes, por cultivos celulares, es que, en un matraz, se obtienen más de 10 millones de genomas de plantas idénticas, mientras que, en el campo, sólo pueden utilizarse unos centenares.

Para la selección de caracteres recesivos deseables, es fundamental la obtención de plantas haploides por cultivo de anteras o polen, cuyos mutantes pueden hacerse diploides por los métodos conocidos. Se obtienen masas de células haploides de cereales por cultivo de anteras.

De estos callos pueden obtenerse mutantes resistentes a herbicidas y otros plaguicidas, a salinidades elevadas, a la presión osmótica elevada, etcétera, propiedades todas ellas, que pueden seleccionarse en el medio de cultivo.

El introducir, en una misma célula, la dotación genética de dos especies simbióticas, como los cereales y los *Rhizobium* fijadores de nitrógeno, es una meta perseguida por muchos investigadores.

El cultivo de protoplastos y la fusión, entre sí y con bacterias, permite realizar hibridaciones a nivel celular, y la regeneración de las plantas puede dar especies con nuevos caracteres (Nickell y Torrey, 1969).

Chaffetz y Carlson han obtenido una simbiosis nutritiva entre células de zanahorias y la bacteria fijadora de nitrógeno *Azotobacter vinelandii*. El cultivo crece sin nitrógeno inorgánico y sin adenina, para la cual es auxotrofa la bacteria. Sin embargo, la asociación no puede reproducirse.

La única hibridación descrita hasta ahora, es la de un cultivo de protoplastos de tomate, con colibacilos que metabolizan lactosa. Se han obtenido protoplastos de tomate a partir del callo hibridado, que pueden crecer en cultivo con lactosa como única fuente de carbono. Este hecho, que no tiene interés práctico inmediato, es el principio de un largo camino de posibilidades insospechadas.

La hibridación se ha conseguido, infectando el cultivo de células de

tomate con un bacteriófago cultivado en colibacilos. Un trozo del DNA del bacilo, incorporado al virus, pasó a formar parte de la dotación genética de las células de tomate.

La gran dificultad de introducir partes de cromosomas de unas células en otras, estriba en que el DNA es hidrolizado por los sistemas enzimáticos de aquéllas. La estrategia de incorporarlos a un virus, es una de las posibilidades de salvar esta barrera (Carlson *et al.*, 1972).

Entre las posibles metas de esta técnica están la obtención de cereales, pastos y otras cosechas, con genes fijadores de N₂, y maíz, arroz y trigo con mayor contenido en lisina.

Por medios genéticos clásicos, se ha obtenido la variedad de maíz opaco-8, rico en lisina, pero resulta de menor rendimiento y propiedades indeseables de almacenamiento y mollienda.

Doy, Johnson y Carlson (1973) también han obtenido células de plantas cultivadas, con dotaciones genéticas añadidas, ligadas a bacteriófagos.

Otra posibilidad es introducir genomas deseables, en parásitos no patógenos. Por ejemplo, la *Erwinia amylovora*, que infecta la patata, podría dar lugar a una simbiosis valiosa si incorporara genes fijadores de N₂.

Sin embargo, no hay conocimientos ni técnicas suficientes para el fraccionamiento de DNA y el aislamiento y manipulación de genes, y, aun dentro del reino vegetal, no puede afirmarse que no haya riesgos biológicos en tales experiencias. Así, por ejemplo, se ha sugerido que, inversamente, la incorporación de genes vegetales a un bacteriófago, podría dar lugar a colitis infectados que sintetizaran alcaloides tóxicos en el intestino humano.

Los cultivos de células se han usado, también, para seleccionar razas resistentes a toxinas producidas por parásitos patógenos. Para ello es necesario obtenerlas y añadir las al medio, separando los clones que sobreviven (Carlson, 1973). Cuando la planta entera puede regenerarse, se obtendrían variedades resistentes. Actualmente sólo en muy pocos casos se han identificado las toxinas patógenas.

La hibridación, en cultivos de células vegetales, puede ser útil para obtener plantas que, manteniendo sus características agronómicas deseables, sean también capaces de sintetizar fitoalexinas u otros agentes antipatógenos que otras especies o variedades posean.

En este sentido, se han hecho experiencias sembrando hongos o bacterias patógenos en cultivos de células mutantes de la planta huésped, para seleccionar las células que no son destruidas. Hasta ahora no se ha logrado ningún resultado práctico con esta técnica. Sin embargo, el método de selección es bueno, porque en un cultivo mezclado de plantas sensibles y resistentes, sólo sobreviven las células de la planta resistente.

El aumento de producción de ciertos aminoácidos es un objetivo

siempre interesante, en la mejora de muchas cosechas, puesto que los cereales son pobres en lisina, treonina y triptófano y la soja es pobre en metionina.

En cultivos de células vegetales se han conseguido mayores síntesis de aminoácidos específicos, añadiendo al medio compuestos de estructura análoga a los mismos, que cumplen bioquímicamente en su utilización. Entonces sólo sobreviven los mutantes que sintetizan mayor cantidad del aminoácido auténtico (Braun, 1955).

Ya vimos que se han aislado clones de células de tabaco que, siendo resistentes al 5-metil-triptófano, contienen este aminoácido en cantidad 25 veces mayor y también células de arroz con mayor contenido en lisina (ver apartado III.2).

Para aumentar la producción de proteínas específicas en cultivos de células, una experiencia ingeniosa consiste en seleccionar células con niveles altos de ureasa, en cultivos de tejidos de soja. La ureasa es una proteína enzimática rica en metionina, que es el aminoácido "limitante" de la soja, en la que se encuentra el enzima en proporciones variables.

Para la selección de mutantes ricos en ureasa, se añaden, al medio de cultivo, inhibidores específicos del enzima o cantidades excesivas de nitrato y urea que exigen una abundante conversión de ésta en amoníaco.

En el caso de proteínas no enzimáticas de semillas, no se dispone de métodos experimentales para seleccionar, en el cultivo, las células más productoras. Por otra parte, tampoco se conocen técnicas para regenerar, a partir del callo, la planta entera, en la mayor parte de las leguminosas y cereales.

Otras mejoras pueden ser más asequibles. Tales son, por ejemplo, la obtención de variedades de legumbres de baja flatulencia, que podrían seleccionarse de cultivos celulares, aislando los clones que tengan una mayor capacidad para metabolizar los oligosacáridos flatulentos.

Conseguir plantas cultivables que utilicen mejor los fertilizantes es un objetivo de mayor interés. Pero el conocimiento actual de los mecanismos de absorción de los nutrientes y de su metabolismo es muy escaso. Se sabe, por ejemplo, que el contenido en proteínas del trigo y del maíz depende de la concentración de nitrato reductasa de las hojas. La selección de células cultivadas con cantidades muy bajas de nitrato puede dar clones mejores.

El cultivo de células de tabaco, que no crece cuando la fuente de N es sólo de nitrato, cuya asimilación se inhibe por la treonina, se han aislado clones mutantes que se desarrollan en estas condiciones y que resultan tener diferenciada la regulación de la nitrato-reductasa.

También se han hecho ensayos para seleccionar mutantes resistentes al arseniato que, posiblemente, aprovecharán mejor el fosfato disponible.

La resistencia a la salinidad, a la sequía y a las heladas puede tener, como causa común, la resistencia a la presión osmótica elevada. Se realizan

experiencias en cultivos celulares con altas concentraciones salinas, seleccionando mutaciones en pasos sucesivos, pero la obtención de plantas enteras con los caracteres deseables está muy lejos de ser una realidad (Willert von, 1974).

IV. RECURSOS DEL MAR

El pescado es una excelente fuente de proteínas para la dieta humana, de tanto valor como la de la carne.

El consumo de pescado ha ido en aumento en los últimos 30 años. En 1938 era de unos 20 millones de toneladas; en 1966, de 57 millones de toneladas, y en 1969 de 63 millones de toneladas (FAO, 1969). La mayor parte de este aumento se consume en la industria de harina de pescado. Se considera que podrá alcanzar los 150.000.000-200.000.000 toneladas.

A partir de las especies de menor valor, recolectadas en grandes cantidades, se preparan industrialmente proteínas de pescado, desodorizadas, aptas para el consumo humano que pueden usarse para enriquecer harinas y otros alimentos vegetales de bajo valor biológico.

También el plancton se considera como una importante fuente potencial de alimentos. En algunos países se hacen ensayos en gran escala para su explotación. No se tienen conocimientos suficientes para predecir los efectos de esta explotación, en sus distintos grados posibles, sobre la productividad del mar.

La piscicultura va desarrollándose a medida que las técnicas progresan. Sobre todo se desarrolla en pescados finos. En Castellón, el Instituto de Investigaciones Pesqueras del C.S.I.C. y la Excma. Diputación Provincial han construido una instalación experimental para la cría de langostinos.

Más todavía, la cría masiva de peces, de crecimiento rápido, para obtener harinas proteicas de pescado, puede ser de gran interés. Los cálculos indican que una Ha dedicada a la piscicultura masiva puede rendir mucho más que en su explotación agrícola. Hay un proyecto de investigación para el estudio de las posibilidades para este fin de las zonas inundables que rodean a la Albufera de Valencia, pero quedan todavía muchos problemas técnico-económicos por resolver.

En una futura explotación del mar, una fuente importante de proteínas puede ser la Euphausia superba, un pequeño crustáceo que abunda extraordinariamente en las aguas que rodean el continente Antártico. Ha sido el principal alimento de las ballenas y, actualmente, por la disminución de la

población de éstas, prolifera en grandes masas y puede pescarse por métodos de bombo. Se calcula que podrían obtenerse de 100 a 500 millones de toneladas por año.

El crustáceo contiene alrededor del 49 % de proteínas y 24 % de lípidos sobre su peso en seco, y de él se elabora un concentrado proteico en polvo que contiene el 74 % de proteínas y el 0'3 % de lípidos.

V. PROTEÍNAS DE OLEAGINOSAS

SOJA

Las proteínas de oleaginosas suponen un potencial de primer orden para la alimentación de la humanidad. Para su consideración, el caso de la soja es el más significativo.

Si la cosecha mundial de soja se utilizara como fuente de proteínas y se consumiera directamente como alimento humano, sería suficiente para satisfacer las necesidades proteicas de 800 millones de seres humanos con una dieta diaria de 65 gramos de proteínas.

Sin embargo, la soja se utiliza fundamentalmente para obtener aceite y la harina extraída se emplea, en su mayor parte, para alimentación del ganado. Sólo el 3 % aproximadamente se utiliza directamente para alimentación humana.

La obtención de aceite se realiza por una extracción continua, con hexano como disolvente. La obtención de harina desengrasada de soja, para la alimentación humana, se realiza mediante la limpieza, descascarado, cocción y formación de copos; extracción con exano y eliminación de los residuos de disolvente.

La semilla de soja tiene 40 % de proteínas y la harina desengrasada tiene 56 %. La composición de ambos productos puede verse en las tablas siguientes (Horan, 1974).

Tabla 3

Composición de semilla de soja seca completa

Proteína.	40'4
Grasa.	22'3
Extracto + fibra sin. — N.	31'9
Cenizas.	4'9

Tabla 4

Composición típica de la harina desengrasada de soja

Proteína.	56'0
Grasa.	1'0
Fibra.	3'5
Cenizas.	6'0
Carbohidratos solubles.	14'0
Carbohidratos insolubles.	19'05

ALIMENTOS PREPARADOS CON SOJA

En el Japón, la soja se usa para preparar diversos alimentos que son de uso corriente en la dieta de la población. Son interesantes el Tofu, el Kinako, las leches de soja, etcétera.

El Tofu se prepara macerando las semillas que se muelen y cuecen y filtrando el residuo para obtener una leche, que se precipita con sulfato cálcico. También se usa harina desengrasada.

El queso que se obtiene es suave y gelatinoso, y se prepara para el día. Una gran parte se consume frito. Hay en el Japón cerca de 50.000 instalaciones que preparan diariamente el Tofu. Actualmente también se prepara deshidratado, con un mayor período de comercialización.

El Miso y el Natto son productos obtenidos por fermentación de soja cocida; para el primero, mezclada con arroz, se inocula con *Aspergillus oryzae* y levadura y el segundo con *Bacillus natto*.

El Shoyu, o salsa de soja, también se produce por fermentación, con *Aspergillus oryzae*, de una mezcla de harina desengrasada de soja y trigo tostado.

El Kinako es una harina de semilla de soja tostada que se usa mezclada con azúcar en la preparación de tortas con harina de arroz.

La mayor parte del pan producido en Japón y en Inglaterra llevan una proporción de harina desengrasada de soja que, además de enriquecerlo en proteínas, tiene un efecto blanqueante por su contenido enzimático. En Inglaterra está limitada la adición a 0'50 %. Puede añadirse hasta el 4 % sin afectar al volumen de la masa y, si se añaden emulgentes como polioxietilenglicéridos, se puede llegar a añadir el 12 % de harina de soja. Con ello se obtiene un pan enriquecido en proteínas y con doble contenido en lisina.

Del mismo modo, la harina de soja se añade a los cereales para la preparación de copos con alto contenido proteico y ricos en lisina y, también, para alimentos infantiles.

También son interesantes los sustitutivos de la leche de vaca en que las

proteínas proceden de un extracto de harina de soja.

La harina desengrasada, con 50-60 % de proteínas, se usa también como ingrediente en muchos productos cárnicos, por sus propiedades ligantes y emulgentes y su contribución al valor nutritivo. Más de 20 millones de Kg de esta harina se usan en EE.UU. para este fin (Wolf y Cowan, 1971).

Además de la harina desengrasada, se han desarrollado dos productos de gran importancia para el aprovechamiento de la soja: el concentrado proteico y las proteínas aisladas.

La preparación de concentrados proteicos se realiza a partir de la harina desengrasada, extrayendo las materias solubles con alcohol acuoso.

La preparación comercial de proteínas aisladas de soja se realiza tratando los copos desengrasados con una solución alcalina y acidificando el extracto, a pH 4'6, para coagular las proteínas. El rendimiento es del 33 %, correspondiente a ca. 60 % de recuperación. Las proteínas se desecan y se preparan en forma de productos insolubles en agua o como proteínas solubles y también se elaboran dándoles textura fibrosa masticable y sabores atractivos.

En la tabla siguiente podemos ver la composición media de los concentrados de proteínas de soja (C.P.S.) y de las proteínas aisladas de soja (P.A.S.) (Matil, 1974).

Tabla 5

Composición de los C.P.S. y de P.A.S.

	Concentrados	P.A.S.
Proteína.	70 - 72.6	90 - 97.7
Lípidos.	0.3 - 2	0.2 - 1.2
Fibra cruda.	2.9 - 5	0.01 - 0.2
Geniza.	3 - 5.8	2.5 - 4.5
Humedad.	2.6 - 8	3.9 - 7

Las proteínas de soja son ricas en aminoácidos esenciales, siendo la metionina el aminoácido limitante. El contenido en lisina es de gran importancia porque complementa la deficiencia que tienen los cereales.

En la tabla 6 vemos el contenido en aminoácidos de una amplia muestra de C.P.S. y de P.A.S. (Matil, 1974).

El PER de C.P.S. es del orden de 2'4, y el PER de las diferentes muestras de P.A.S. oscila entre 1'1 y 1'7, y crece con el contenido en metionina (Kies y Fox, 1971).

El enriquecimiento con metionina industrial, eleva el valor biológico de las proteínas de soja y es una práctica corriente en las fábricas de piensos compuestos, ya que la metionina se produce en condiciones económicas y es utilizable en su forma racémica.

Tabla 6

Aminoácidos esenciales en C.P.S. y P.A.S.

Aminoácido	Intervalo		Media	
	C.P.S.	P.A.S.	C.P.S.	P.A.S.
Lisina.	5.1-5.8	5.4-5.7	5.6	5.5
Treonina.	3.7-3.8	3.0-3.5	3.7	3.3
Valina.	4.7-4.8	4.2-5.0	4.7	4.6
Metionina.	1.2-1.3	0.9-1.2	1.2	1.1
Isoleucina.	4.5-4.6	4.3-4.6	4.5	4.4
Leucina.	7.8-8	7.3-7.8	7.9	7.6
Fenilalanina.	5.1-5.1	4.9-5.2	5.1	5.1

Cuando se usan las proteínas de soja para sustituir a proteínas animales más escasas y caras, es importante la posibilidad de complementar las pautas de aminoácidos. Así, por ejemplo, la harina de trigo tiene un PER de 1'1, pero cuando se le añade concentrado de proteínas de soja, en proporción adecuada para que las proteínas de la mezcla sean 50 % de trigo y 50 % de soja, el PER es de 2'5. En una experiencia, en que se alimentaron ratas durante 7 semanas con la mezcla, aumentaron 156 g de peso, mientras que las alimentadas con harina de trigo sólo aumentaron 39 g, y con CPS sólo aumentaron 125 g, es decir, 35 g menos que con la mezcla.

Como sustituto de carne, en salchichas, hamburguesas y otros productos, se permite hasta una proporción del 30 % en algunos países. No se observan cambios en el PER de la carne cuando se le incorpora un 25 % de proteínas aisladas de soja.

Cuando se añade 1'5 % de metionina el PER del C.P.S. aumenta de 2'4 a 3'2, y el PER de las P.A.S. aumenta de 1'3 a 2'5.

Las características organolépticas y tecnológicas de las proteínas de soja varían según fábricas y tipos. En unos casos se procura aumentar las proteínas solubles, y otros preparan productos con solubilidad baja. En muchos casos, se someten a tratamientos enzimáticos o se neutralizan, para darles propiedades específicas, y, muy especialmente la capacidad para emulsionar y retener grasas.

Los C.P.S. y P.A.S. del comercio son productos de color blanco o ligeramente tostado, con olor y sabor muy suaves, que recuerda el de los copos de cereales tostados. En sus mezclas se les puede dar los sabores deseados.

Los aromas y sabores de la soja se deben a los siguientes componentes:

- 3-metil-,1 butanol; n-hexanol y n-heptanol.
- Acetaldehído, acetona y n-hexanal. Este último tiene un umbral de

detección muy bajo.

c) Ácido siringico, ácido p-cumárico y ácido ferúlico, que contribuyen a los sabores amargos y astringentes de la harina desengrasada. Los dos últimos producen p-vinilfenol y p-vinilguayacol cuando la harina se trata en autoclave.

d) Los ácidos iso-caproico, n-caproico y n-caprílico.

e) Trazas de amoniaco, metilamina, dimetilamina, piperidina y caverina.

Cuando la soja se somete a procesos en que se macera con agua se forman: 1-octen-3-ol y etil-vinil-cetona, posiblemente por la acción de lipoxigenasas.

PROTEINAS FIBRILADAS

La posibilidad de transformar las proteínas de soja, obtenidas como polvos más o menos solubles, en formas fibrosas, masticables y de consistencia parecida a la carne, aunque no es esencial para el problema del déficit mundial de alimentos, ha servido para extender el uso de las proteínas vegetales, sobre todo al obtener productos que pueden incorporarse en gran proporción a preparados de carne.

Los avances más significativos en este aspecto, en los últimos años, son las proteínas fibriladas, que encuentran aplicación, principalmente, en alimentos sustitutos de la carne y que se obtienen por dos procesos: hilado en fibras y extrusión termoplástica.

En el proceso de hilado, la proteína de soja aislada se disuelve en medio alcalino y se pasa a través de finos orificios para formar fibras que se coagulan en un baño ácido y se hilan por medio de rollos que giran a velocidades crecientes. Los haces de fibras se cementan con adhesivos comestibles y se añaden otros ingredientes como colorantes, aromas, especias y nutrientes suplementarios, dándoles formas variadas para utilizarlos como sustitutos de jamón, carne ahumada, etcétera, en alimentos preparados diversos (Boyer, 1954).

Las P.A.S. destinadas al hilado deben secarse en condiciones suaves, para permitir su rehidratación completa. Se prepara una suspensión al 20% que, al elevar el pH, da una solución muy viscosa que se hila bien. El baño coagulante es una solución de ácido fosfórico a pH 2.5 y cloruro sódico al 8%. El dispositivo de hilado es una placa de metal noble, que tiene unas 15.000 perforaciones de 0.01 mm de diámetro. Los monofilamentos se tuercen en haces, por técnicas análogas a las de fabricación de fibras textiles sintéticas. A continuación se calientan y se neutralizan a pH 5-6, se lavan, se cortan y se secan.

Con ellos se preparan productos que imitan la textura y el sabor de productos cárnicos. Se ha señalado el dato de que una compañía ha dedicado a un equipo de más de 30 investigadores durante ocho años para desarrollar la tecnología necesaria para montar la primera fábrica.

Para preparar análogos de carne las fibras se mezclan con otros ingredientes: grasas, emulgentes, sabores, albúmina, almidón, nutrientes, etcétera, y luego se prensan o se extrusionan.

La característica esencial del proceso de extrusión es que se usa, como producto inicial, la harina de soja con 50% de proteínas.

La harina se cuece y se prensa en un extrusor en que la proteína termoplástica pasa a través de una pieza perforada que da la forma al material fibroso.

Después de seco, el producto tiene el 50% de proteínas y consistencia masticable como la carne y permite introducir un alimento proteico económico en la dieta de una gran parte de la población mundial.

El valor nutritivo de las proteínas fibriladas (T.V.P. Textured vegetable proteins) es semejante al de los C.P.S. y P.A.S. vistos anteriormente.

En la tabla 7 se ve su composición en aminoácidos, comparada con la carne y con la pauta de la F.A.O. (Hamdy, 1974).

Tabla 7

Composición en A. A. de T.V.P.

Aminoácido	T.V.P.	Carne	Pauta FAO
Isoleucina.	5'2	4'8	4'2
Leucina.	7'5	8'1	4'8
Lisina.	5'9	8'9	4'2
Metionina.	1'1	2'7	2'2
Cistina.	1'5	1'3	2'0
Treonina.	3'8	4'6	2'8
Triptófano.	1'4	1'2 ?	1'4
Valina.	5'7	5	4'2

Se ve que la T.V.P. necesita una adición de metionina para cumplir la pauta de la F.A.O. El PER de la T.V.P. es de 2'1, y el de la carne es de 2'3. La digestibilidad de las proteínas de la soja apenas es alterada por el proceso de extrusión termoplástica, y la adición de metionina eleva el PER de las T.V.P., como en los casos anteriores.

En las proteínas de soja fibriladas por extrusión, los hidratos de carbono constituyen más del 30% (Hamdy, 1974). Los más importantes son:

Sacarosa.	8	%
Estaquiosa.	5	%
Rafinosa.	1	%
Maltosa.	0'6	%
Glucosa.	0'3	%
Polisacáridos:		
Arabanas.	15	%
Xilanas.	3'5	%

La rafinosa y la estaquiosa son la causa de la elevada producción de gases intestinales de algunas legumbres y también de las T.V.P. de soja (23'5 cc/g) lo que es un inconveniente para su mezcla con productos cárnicos.

Los azúcares reductores pueden alterarse, pardeando, si las temperaturas de extrusión son demasiado altas. Se recomiendan entre 150 y 155°.

Por otra parte, no se han detectado aflatoxinas en ninguna muestra de TVP, y los antimetabólicos tales como inhibidores de tripsina o hemaglutininas, se inactivan en el proceso de preparación.

VI. PROTEINAS DEL ARROZ

El arroz es la primera cosecha del mundo. Su producción anual es del orden de los 400 millones de toneladas, y es el alimento principal de una gran parte de la población del mundo.

El estudio de sus proteínas es, por ello, cuestión de primordial interés y fue iniciado, hace unos años, en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valencia, teniendo en cuenta, además, que este cultivo es importante en España y está muy arraigado en la Región Valenciana.

En el equipo de investigadores deben destacarse muy especialmente a Salvador Barber y su esposa, Carmen Benedito.

Los trabajos se han seguido en dos direcciones: el estudio de las proteínas del grano de arroz blanco, elaborado en los molinos y el del salvado, o subproducto que se separa en las etapas de pulido.

a) Las proteínas del grano de arroz blanco.—Harina de la capa externa

Cuando se analizan los componentes de las capas sucesivas del grano de

arroz (de unas décimas de mm) y se comparan con la composición total del mismo, se observan algunos hechos interesantes.

La distribución de los componentes es heterogénea, y la mayoría de los componentes están en una concentración decreciente desde las capas externas hacia el centro. El almidón, en cambio, sigue la pauta inversa (figura 2) (Primo *et al.*, 1965, 1966) (Barber *et al.*, 1967) (Casas *et al.*, 1963).

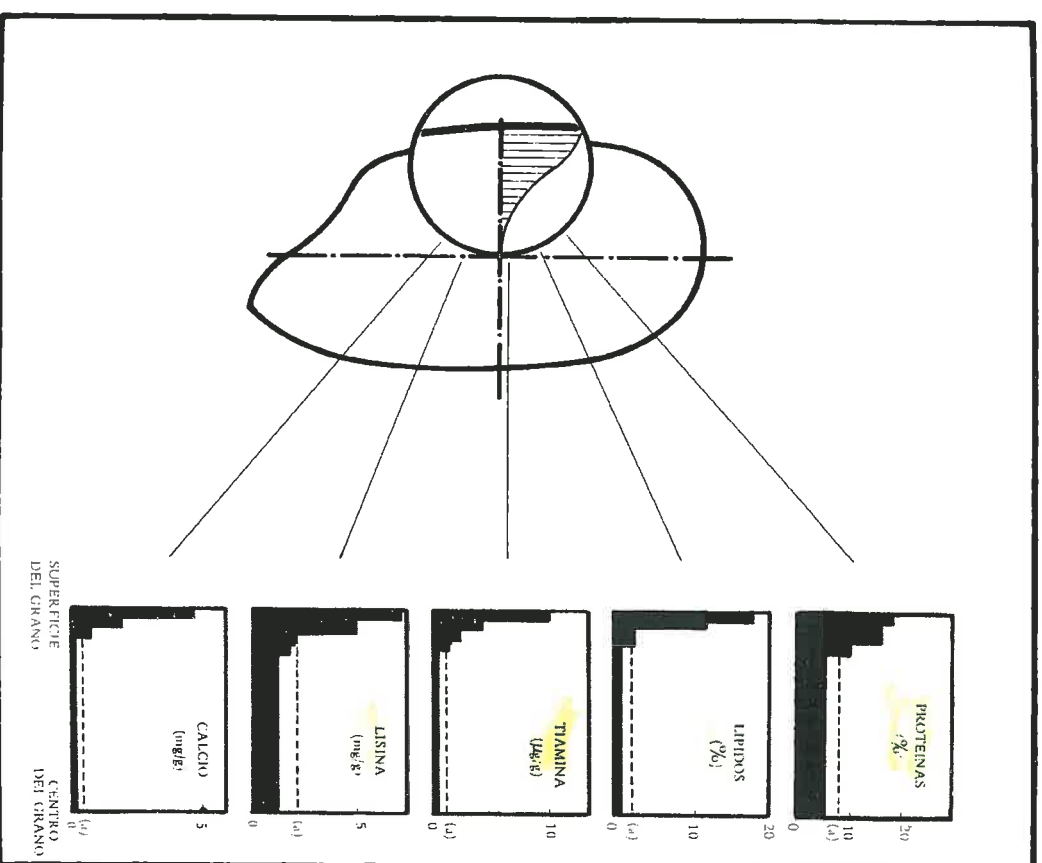


Figura 2.—Distribución de componentes en el grano de arroz.
(a) Contenido del arroz original.

Los datos sobre proteínas son especialmente interesantes. Hay una capa, inmediata a la de la aleurona, en que las proteínas alcanzan una concentración del orden del 20% (Primo *et al.*, 1963).

Por abrasión controlada, puede obtenerse una harina de esta capa externa de propiedades nutritivas excepcionales, ya que en ella se concentran también vitaminas y elementos minerales.

En la tabla 8 se ve la composición de esta harina.

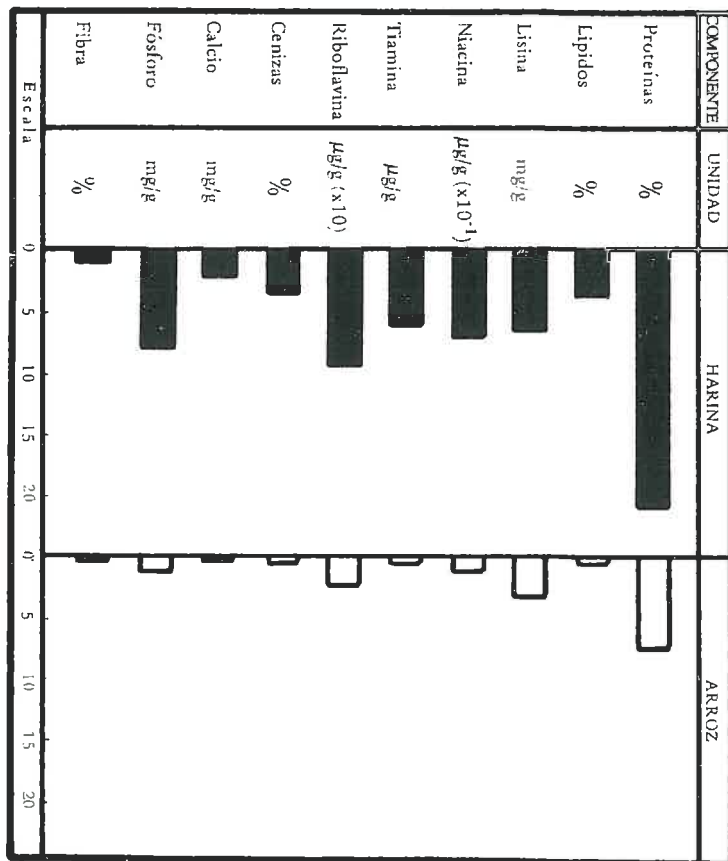


Figura 3.—Nutrientes en la harina de capa externa y en el arroz elaborado original.

En la figura 3 se compara la composición de esta harina con la del arroz blanco entero original. Se observa que el valor nutritivo de la primera es varias veces superior.

La harina resulta superior a todos los alimentos de arroz que existen actualmente, incluyendo a los arroces enriquecidos, como puede verse en la figura 4 (Barber, 1965, 1968).

Por otra parte, el contenido en lisina, que es el aminoácido limitante, y por tanto el valor biológico y el N.P.U. de las proteínas del arroz es mayor que las de los otros cereales.

Tabla 8

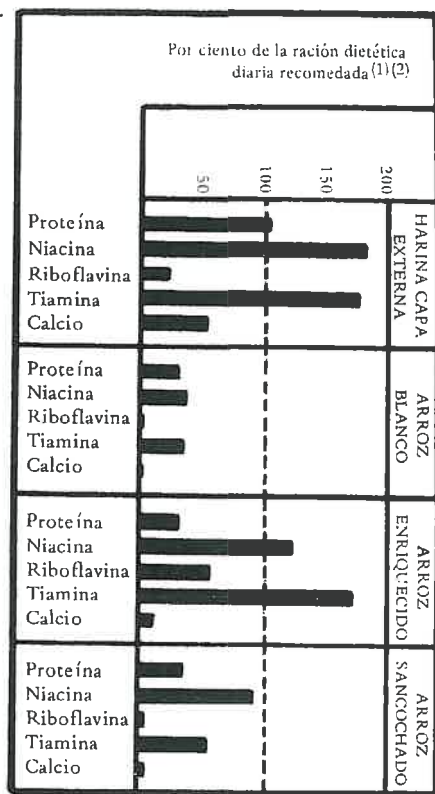
Composición química de la harina de capa externa obtenida por abrasión controlada de arroz elaborado

Componente	Harina	Fuente de datos	Componente	Harina	Fuente de datos
Proteínas (N X 5'95) (%).	15'1 -21'21	(a)(b)(c)	Grasas neutras (%).	2'53	(a)
Grasa (%).	3'59- 4'44	(a)(b)	Fosfolípidos (%).	0'57	(a)
Fibra cruda (%).	0'95- 1'30	(a)(c)	Acidos grasos libres (%):		
Cenizas (%).	0'71- 3'38	(a)	Acido mirístico.	0'01	(a)
E.L.N. (%).	70'8 -78'4	(a)	Acido palmítico.	0'24	(a)
Almidón (%).	66'32-67'40	(a)(b)	Acido palmíticoico.	Tr	(a)
Amilosa (%).	6'11-18'44	(a)(b)	Acido esteárico.	0'02	(a)
Azúcares reductores (% maltosa).	0'50	(a)	Acido oleico.	0'37	(a)
Azúcares no reductores (% sacarosa).	2'42	(a)	Acido linoleico.	0'39	(a)
Azúcares totales (%).	2'92	(a)	Acido linolénico.	0'02	(a)
Albúminas (N X 5'95) (%).	1'75	(a)	Acido araquídico.	Tr	(a)
Globulinas (N X 5'95) (%).	1'12	(a)	α-amilasa (H. SKB/g).	1'03	(a)
Prolaminas (N X 5'95) (%).	0'72	(a)	β-amilasa (mg maltosa/g).	223'81	(a)
Glutelinas (N X 5'95) (%).	7'93	(a)	Proteasa (U. hemoglobina/g).	6'03	(a)
Fracción insoluble (N X 5'95) (%).	3'28	(a)	Cisteína desulfhidrasa (U/g).	65'71	(a)
Aminoácidos libres (mg/100 g).	25'11	(a)	Riboflavina (ug/g).	0'95- 1'30	(a)(b)(c)
Grupos SH (µeq/g).	3'30	(a)	Niacina (ug/g).	72'2-260'0	(b)(c)
Grupos SS (µeq/g).	12'85	(a)	Tiamina (ug/g).	6'29- 40'4	(a)(b)(c)
Lisina disponible (mg/g).	6'14	(a)	Calcio (%).	0'262	(b)
Acidos grasos libres (%).	1'34	(a)	Fósforo (%).	0'804	(b)

(a) Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos.

(b) USDA.

(c) UNICEF.



1 Establecida según normas del "Food and Nutrition Board", de USA. Los niveles de ingestión se han establecido sobre la base de 200 g. de arroz (o harina) por día, sin tomarse en cuenta otros alimentos de la dieta.

2 Niños de 1-3 años de edad.

Figura 4.—Harina de capa externa en la dieta infantil. Comparación con diversos tipos de arroz.

Tabla 9

Valor biológico y N.P.U. de proteínas de cereales (valores aproximados)

	Arroz	Trigo	Maíz
N.P.U.	75	60	32
Valor biológico.....	80	65	36

En la figura 5 se ve el esquema de rendimientos de la obtención de esta harina proteica.

Para ello pueden utilizarse los molinos actuales, aunque serían más convenientes máquinas pulidoras, especialmente diseñadas para este fin, que disminuirían al máximo las roturas.

El arroz residual tiene prácticamente el mismo valor nutritivo que el original, como se ve en la figura 6.

Esto supone poder mejorar la alimentación de la población infantil de los países en desarrollo, sin afectar a la alimentación normal de los adultos, mediante una distribución más racional de las proteínas.

Por otra parte, el arroz elaborado, del que se ha eliminado la capa externa, es más blanco y más estable que el elaborado normal, como se ve en la figura 7.

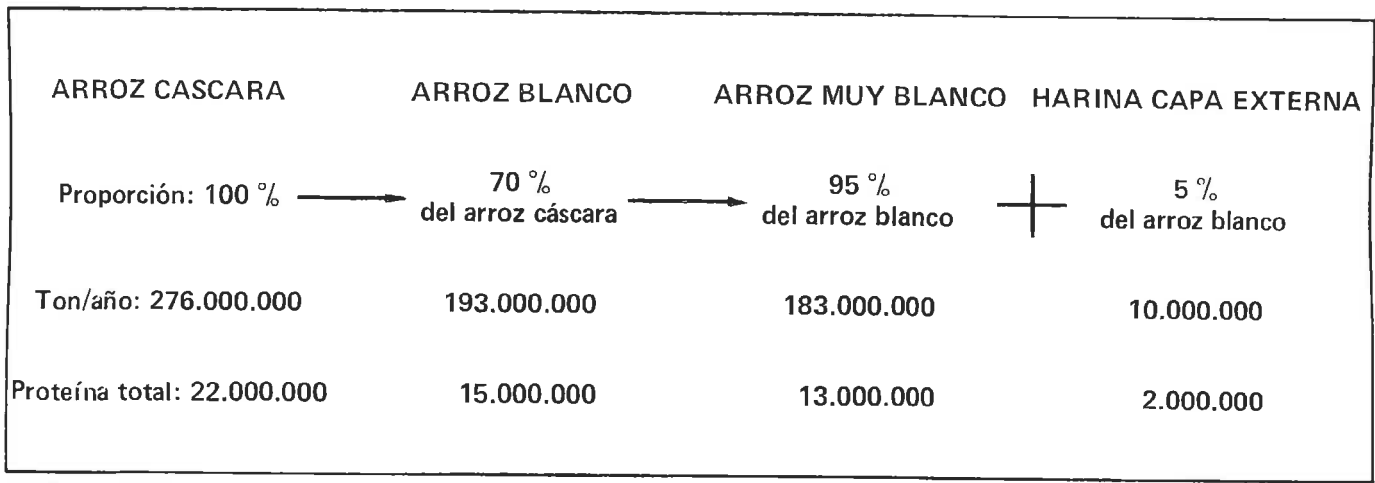
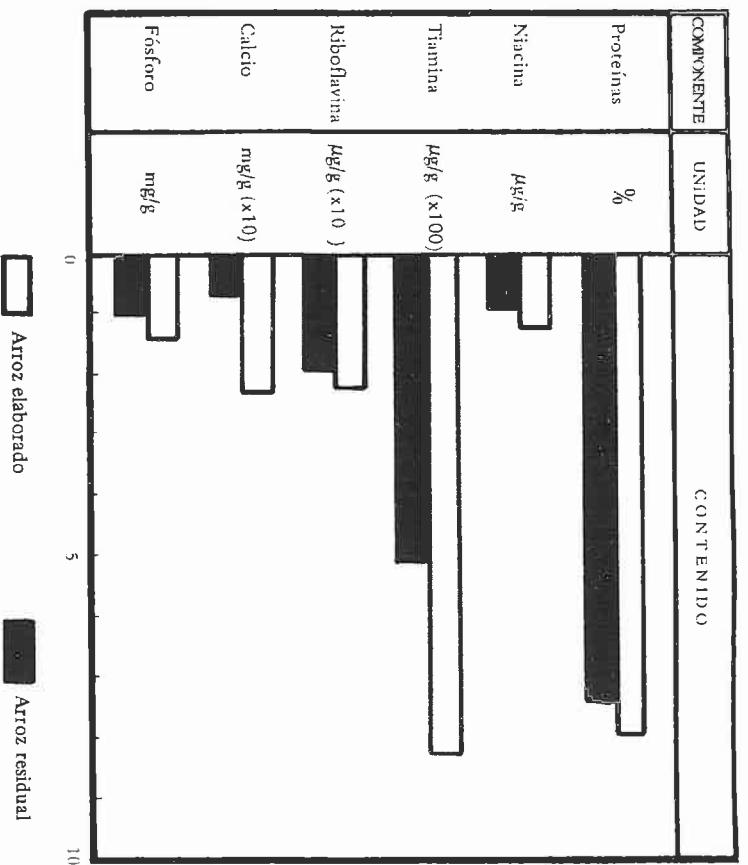


Figura 5.—Posibilidades anuales para la obtención de proteínas de la capa externa del arroz, para la alimentación infantil.



*Gráfica adaptada de los datos obtenidos por F.L. Normand, D.M. Soignat, J.T. Hogan y H.J. Deobald, Rice J., 69/8, 13-8 (1966).

Figura 6.—Nutrientes en el arroz residual de capa externa y en el arroz original*.

La harina de la capa externa en la alimentación infantil

En los países del tercer mundo, la malnutrición infantil es una de las taras más graves. Se calcula que, actualmente, más de quinientos millones de niños sufren de insuficiencia proteica más o menos grave.

Los 2.000.000 de toneladas anuales de proteínas que pueden suministrarse con la harina de capa externa podrían bastar para compensar este déficit y resolver este gran problema.

Con 200 g por día de la harina se cubren las necesidades proteicas de un niño de tres años, debiendo complementarse con 650 mg de lisina para cubrir las necesidades de aminoácidos esenciales. La mezcla de harina de capa externa y de concentrado proteico de soja es muy adecuada y amplía las posibilidades de la harina para una población infantil creciente.

Para cubrir las necesidades proteicas de un niño de 3 años con arroz

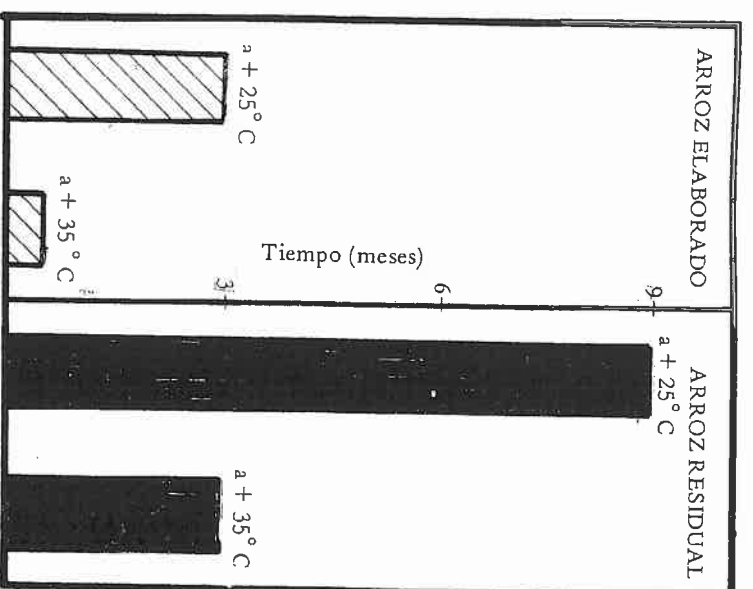


Figura 7.—Vida de almacenamiento del arroz residual de capa externa y del arroz original.

ordinario o enriquecido, debería ingerir 600 g diarios, con el exceso perjudicial de hidratos de carbono que ello supone.

La harina también puede utilizarse para enriquecer en proteínas otros alimentos, como pan, pastas, harinas dietéticas, etcétera, y ello sola o mezclada con harina o proteínas de soja.

b) El salvado de arroz

El salvado de arroz se produce en el proceso de molienda en las fases de blanqueado y pulido, después de haber eliminado la cascarrilla. Tiene el aspecto de una harina fibrosa y contiene los tejidos del pericarpio, aleurona,

parte del endospermo y la mayor parte del germen en forma pulverizada. También contiene impurezas y partículas de cascarrilla, sobre todo en las fracciones de los primeros conos, cuando se eliminan las capas más superficiales. La composición del salvado de arroz puede verse en la tabla siguiente:

Tabla 10

Variación de la composición química del salvado según el grado de molienda del arroz (a)

Porcentaje sobre materia seca	Grado de molienda (g salvado/100 g arroz sin cáscara)				
	3	6	9	10	10 ¹⁵
Humedad.	11'50	10'94	10'83	10'83	10'30
Proteínas.	17'03	17'33	17'22	17'16	17'01
Materias grasas.	17'65	17'38	17'08	16'77	16'39
Fibras.	10'51	10'62	9'03	8'67	8'20
Cenizas.	9'82	9'59	9'19	9'01	8'40
E.L.N.	45'00	45'10	47'52	48'40	49'62

(a) Datos tomados de Primo *et al.*, 1970¹.

En algunos molinos de Egipto, Italia y España, el germen se separa y se envasa aparte, pero en la mayor parte de los países el germen está incorporado al salvado y en la mezcla está en proporción del 20 % del peso total. Como el germen contiene más proteínas y grasas y menos fibra que el salvado, la composición del salvado que contiene germen es algo diferente (figura 8).

El grado de molienda también influye en la composición del salvado, en primer lugar porque a mayor grado de molienda se incorpora más cantidad de germen, como puede verse en la figura siguiente (figura 9).

Por otra parte, a mayor grado de molienda se incorpora también más cantidad del endospermo que contiene almidón y todo ello hace variar también en parte la composición del salvado (Barber y Benedicto, 1973).

Como hemos visto, la proporción de aceite en el germen y en el salvado de arroz es muy importante. Por esta razón existen en el mundo algunas fábricas que obtienen aceite a partir de este producto y el potencial para el desarrollo de esta industria es muy grande; se podrían obtener más de cinco millones de toneladas de aceite comestible cada año. Cuando se extrae el salvado de arroz, la composición del mismo cambia, en forma distinta, según se haga por prensado o por extracción con hexano.

En la tabla 11 se da la composición del salvado desengrasado por uno y por otro procedimiento.

Como hemos visto en las tablas anteriores, el valor nutritivo del salvado de arroz es muy grande. Ahora nos interesa contemplar, particularmente, el

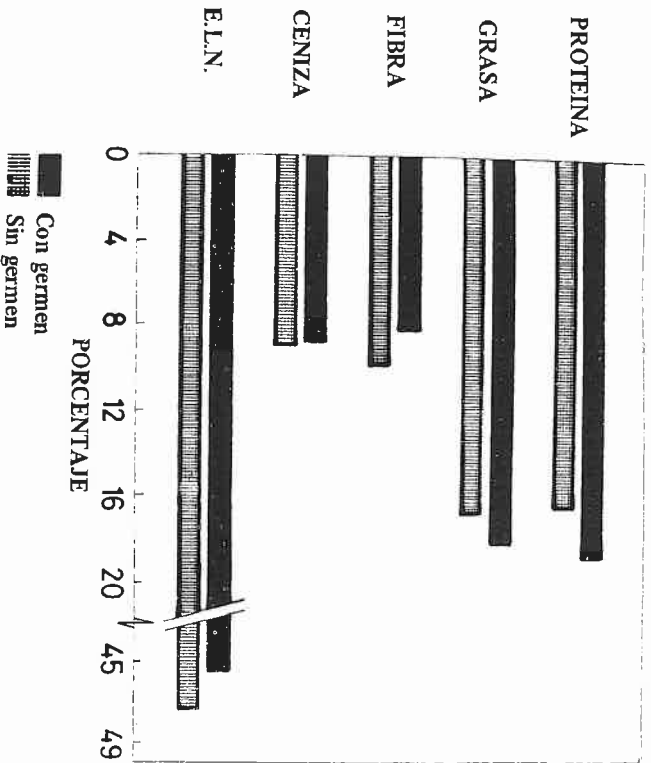


Figura 8.—Composición del salvado, según contenga o no el germen.

Tabla 11

Componentes (%)	Composición química de salvado de arroz normal y desengrasado (a)		
	Salvado normal	Salvado desengrasado por prensado	Salvado desengrasado por extracción con disolvente
Humedad.	12'59	9'39	12'28
Proteínas.	13'31	16'07	17'31
Grasas.	21'21	11'21	1'32
Fibra.	9'05	10'79	11'59
Cenizas.	9'40	11'41	12'01
E.L.N.	34'44	41'13	45'49

(a) Fuente: Yokochi (1972).

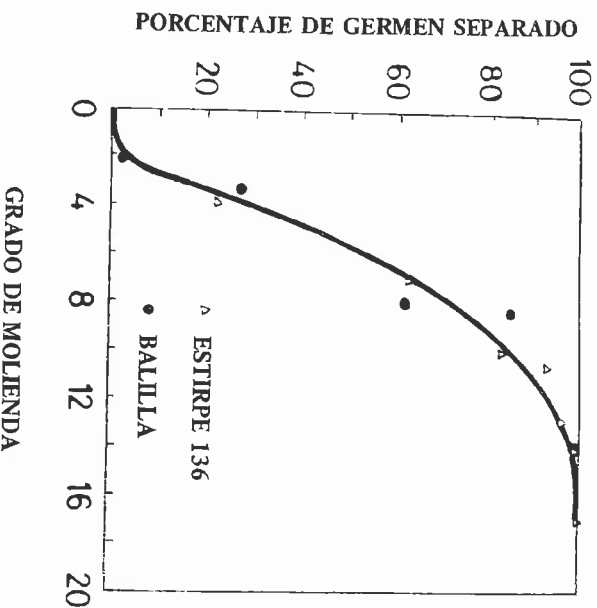


Figura 9.—Composición del salvado según el grado de molienda.

contenido proteico. Normalmente, el contenido del salvado en proteínas oscila entre el 14 y el 17%. En arroz cultivados en suelos poco fertilizados, el contenido proteico puede estar entre 9 y 13%. Estas cifras analíticas resultan de multiplicar el contenido en nitrógeno por el factor 5.95. Este factor es convencional y se ha elegido porque es el número de gramos de proteínas por gramo de nitrógeno en la glutenina, que es una de las fracciones proteicas más importantes del arroz. Sin embargo, en el caso del salvado, esto no es exactamente así, porque las gluteninas solamente representan del 20 al 25% de las proteínas del salvado, siendo las albúminas y las globulinas las más importantes, ya que ambas representan más del 70%. Sin embargo, estas proteínas no se han estudiado y se desconoce su contenido exacto en nitrógeno. En muchos casos, para transformar el dato expresado en nitrógeno en el contenido en proteínas, se utiliza el factor 6.25, que es el usual en la industria de piensos compuestos.

En la tabla 12 se da la composición de las proteínas del arroz y del salvado.

La composición total del salvado también varía mucho según el cono en que es extraído.

Tabla 12
Distribución de las fracciones proteicas en arroz blanco y en los subproductos (a)

	Arroz blanco		Arroz salvado		Harina de cilindros	
	Arroz blanco	Arroz salvado	Arroz blanco	Arroz salvado	Harina de cilindros	Harina de cilindros
Albúminas.	5	37	30	30	30	30
Globulinas.	9	36	14	14	14	14
Proteínas.	3	5	5	5	5	5
Gluteninas.	83	22	51	51	51	51

(a) Fuente: Gagampang *et al.* (1966).

Tabla 13
Composición de salvados normales y desengrasados procedentes de conos blanqueadores sucesivos (a)

Componentes (%)	Salvado de las descascarilladoras		Salvado del 1.º cono		Salvado del 2.º cono		Salvado del 3.º cono	
	Normal	Deseng.	Normal	Deseng.	Normal	Deseng.	Normal	Deseng.
Humedad.	12.8	10.3	14.2	11.8	10.6	13.2	11.6	13.5
Proteínas.	11.3	12.7	12.8	15.5	12.9	15.4	17.6	20.3
Grasas.	9.3	0.4	14.8	0.7	18.9	0.8	16.4	0.7
Fibra.	27.2	30.0	13.7	15.7	11.2	13.4	9.5	11.2
Genizas.	20.3	22.9	11.8	14.4	10.2	12.3	8.3	9.9
Almidón.	15.4	17.0	23.5	28.7	25.0	30.0	34.0	39.8
Azúcares totales.	1.5	1.6	2.3	2.8	2.6	3.1	2.5	2.9
Azúcares reductores.	0.5	0.6	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9

(a) Fuente: Pascual y Primo (1955).

En la tabla 13 puede verse esta variación, tanto para el salvado completo como para el salvado desengrasado.

Al comparar la tabla anterior con la tabla siguiente (tabla 14), que nos da los requerimientos diarios en proteínas, de acuerdo con la edad y el grado de desarrollo en hombres y mujeres, podemos tener una idea de la importancia potencial del salvado de arroz en la nutrición de la humanidad.

60 g diarios de salvado contienen las proteínas necesarias para un niño de un año, y las de 85 g pueden ser suficientes para los niños de 4 a 6 años. Esto supone que si las proteínas del salvado, en la cosecha mundial, se aprovecharan totalmente, se podrían alimentar a unos 1.300.000.000 de niños. Si estas proteínas se utilizaran para complementar la alimentación

Tabla 14

Niveles de seguridad en el consumo de proteínas (proteína de huevo) (a)

Distribución por edades	Nivel de seguridad en el consumo		
	Peso corporal (Kg)	(g de proteína por Kg y día)	(g de proteína por persona y día)
Niños de 6 a 11 meses:	9'0	1'53	14
— de 1 a 3 años:	13'4	1'19	16
— de 4 a 6 años:	20'2	1'01	20
— de 7 a 9 años:	28'1	0'88	25
Adolescentes, sexo masculino			
— de 10 a 12 años:	36'9	0'81	30
— de 13 a 15 años:	51'3	0'72	37
— de 16 a 19 años:	62'9	0'60	38
Adolescentes, sexo femenino			
— de 10 a 12 años:	38'0	0'76	29
— de 13 a 15 años:	49'9	0'63	31
— de 16 a 19 años:	54'4	0'55	30
Adultos, sexo masculino:	65'0	0'57	37
Adultos, sexo femenino:	55'0	0'52	29
Mujeres gestantes (última mitad de la gestación): ..			añadir 9
Mujeres lactantes (seis primeros meses):			añadir 17

(a) Fuente: FAO/OMS (1973).

base de otras, entonces el número de niños alimentados podría ser mucho mayor.

Valor nutritivo de las proteínas del salvado de arroz

La composición, en aminoácidos, de las proteínas del salvado de arroz es mucho mejor y más favorable que la de cualquier otro producto cereal. En efecto, la limitación de lisina que reduce tanto el valor biológico de las proteínas de los cereales, aquí es mucho menor, hasta tal punto de que la lisina no es el aminoácido limitante.

En la tabla 15 se da la composición típica media de las proteínas del salvado de arroz, obtenida de datos de diferentes autores.

En las tablas 16 y 17 se dan las necesidades diarias, en aminoácidos esenciales, para el hombre; también se dan las pautas de aminoácidos esenciales para algunas proteínas tipo. De la comparación de estas tablas con la de la composición del arroz, resulta la tabla 18, que nos da el valor de las

Tabla 15

Composición en aminoácidos del salvado de arroz (a) (g/16'0 g N)

Aminoácidos	Promedio	Desviación típica
Lisina:	3'88	0'82
Histidina:	2'11	0'57
Amoníaco:	1'72	0'96
Arginina:	6'50	1'31
Acido aspártico:	7'62	2'03
Treonina:	3'06	0'69
Serina:	4'24	0'73
Triptófano:	1'70	0'51
Acido glutámico:	12'84	2'86
Prolina:	4'10	1'01
Glicina:	4'52	0'86
Alanina:	5'67	1'22
Cistina:	1'63	0'58
Valina:	5'45	0'43
Metionina:	2'22	0'35
Isoleucina:	3'94	0'54
Leucina:	6'96	1'44
Tiroxina:	3'65	1'28
Fenilalanina:	4'47	0'83
% N recuperado:	85'6	11'3

(a) Fuente: Houston y Kohler (1970), Tamura y Kermochi (1963), Nishihara y Tashiro (1970), Ronda y Soto (1965).

Tabla 16

Necesidades de aminoácidos esenciales para los seres humanos

	Adultos (mg por Kg y por día)	Niños de 0 a 6 meses (mg por Kg y por día)	Niños de 10 a 12 años (mg por Kg y por día)
Histidina:	0	28	0
Isoleucina:	10	70	30
Leucina:	14	161	45
Lisina:	12	103	60
Metionina + cistina:	13	58	27
Fenilalanina + tiroxina:	14	125	27
Treonina:	7	87	35
Triptófano:	3'5	17	4
Valina:	10	93	33

Fuente: FAO/OMS (1973).

Tabla 17

Pauta de los aminoácidos esenciales de proteínas de referencia

Aminoácidos	A) mg aminoácidos/g de proteína		B) mg aminoácidos/g de nitrógeno		Razón A/E mg aminoácidos/g aminoácidos esenciales totales	
	1973 FAO Pauta provisional ^a	Pauta de las proteínas del huevo completo ^b	1973 FAO Pauta provisional ^a	Pauta de las proteínas del huevo completo ^b	1973 FAO Esquema provisional ^a	Esquema de las proteínas del huevo completo ^b
	Isoleucina.	40	66	250	415	111
Leucina.	70	88	440	553	194	172
Lisina.	55	64	340	403	153	125
Metionina + cistina.	35	55	220	346	97	107
Fenilalanina + tiroxina.	60	100	380	627	167	195
Treonina.	40	51	250	317	111	99
Triptófano.	10	16	60	100	28	31
Valina.	50	73	310	454	139	141
Esenciales totales.	360	513	2250	3215		

Fuentes: a: FAO/OMS (1973); b: FAO/OMS (1966).

Tabla 18

Valor nutritivo de diversos tipos de salvado de arroz según su valoración química ^a

Tipo de salvado ^c	Contenido en triptófano			Tipo de salvado ^c		
	(g A.A./16'0 g N) c.s. ^b	A.A. c.s. ^b	A.A. c.s. ^b	A.A. c.s. ^b	A.A. c.s. ^b	A.A. c.s. ^b
Normal.	1'34	87	Lys	95	Thr	95
Sancochado.	1'34	94	"	97	"	99
Desengrasado (E.U.).	0'85	85	Trp	89	Lys	97
Desengrasado (India).	0'85	36	"	52	"	54

^a Proteína de referencia: Pauta provisional de la FAO (FAO/OMS, 1973).

^b El coeficiente de cada aminoácido se calcula de la manera siguiente (FAO/OMS, 1973):

c.s. = mg del aminoácido en 1 grano de la proteína investigada X 100
mg del aminoácido en la pauta de la referencia de la FAO

^c Valor medio.

proteínas del salvado de arroz en comparación con las proteínas tipo.

La comparación está hecha expresándola con coeficientes químicos, es decir, como una relación entre las concentraciones respectivas de los aminoácidos limitantes de la proteína del salvado y de la proteína tipo.

Algunos autores opinan que las exigencias establecidas en la pauta de la FAO y la que corresponde a las proteínas de huevo son altas, y que la proporción E/T es demasiado elevada para muchos de los aminoácidos esenciales, especialmente para la isoleucina y la metionina (Kofranyi *et al.*, 1961) (Irwin *et al.*, 1971). En este caso, las proteínas del salvado todavía tendrían un coeficiente mayor. Aceptando la proteína de huevo como tipo, el aminoácido limitante para el salvado es la isoleucina, seguido por la treonina y por la lisina. En la tabla 19 se da la relación entre la totalidad de los aminoácidos esenciales de diferentes tipos de salvado y el nitrógeno total de los mismos y en la tabla 20 se da el valor nutritivo de diferentes alimentos

Tabla 19

Relación entre los aminoácidos esenciales totales y el nitrógeno total en diversos tipos de salvado de arroz

Tipos de salvado	Razón E/T g/g N total
Normal ^a	2'69
Sancochado.	2'67
Desengrasado.	2'74

^a Valor medio.

Tabla 20

Valoración química de algunos alimentos seleccionados

Fuente proteica	Valor según el aminoácido limitante ^a		Aminoácidos limitantes
	c.s.		
Cebada completa, sin cáscara	63		lisina
Maíz, grano o harina completa	49		"
Mijo	62		"
Harina de avena	67		"
Arroz moreno o descascarado	69		"
Arroz blanco	66		"
Arroz sancochado	64		"
Harina de centeno completa	62		"
Sorgo	37		"
Trigo, grano completo	52		"
Trigo, gluten	26		"
Trigo, harina 80-90 g.e.	46	b	"
Trigo, harina 70-80 g.e.	38		"
Trigo, harina 60-70 g.e.	33		"
Semilla de algodón	80		"
Soja	74		aminoácidos azufrados
Torta de girasol	67		lisina
Huevo de gallina, completo	100		
Leche humana	85		Aminoácidos azufrados
Leche de vaca	95		"

^a Ver tabla 11.

b g.e. = grado de extracción.

típicos según su composición en aminoácidos. De la comparación de las tablas anteriores con la tabla 18 puede deducirse el valor nutritivo de las proteínas del salvado en relación con las de otros alimentos importantes.

Según sus coeficientes, las proteínas del salvado de arroz son de las mejores, en un segundo grupo que está situado después del primer grupo, formado por la caseína, proteínas totales de huevo y leche de vaca. Las proteínas del salvado de arroz se comparan favorablemente con las de la carne de vaca, con las de cerdo y con las de pescado. Son superiores a las propias proteínas del arroz blanco.

No se tienen muchos datos sobre la evaluación biológica de las proteínas del salvado. En la tabla 21 se dan los valores PER de varios subproductos del arroz y en la tabla 22 se dan dichos valores para algunos alimentos típicos seleccionados.

Como se ve, el PER de las proteínas del salvado se compara favorablemente con el de las proteínas de soja y de otras oleaginosas, y es

Tabla 21

Valores PER de los subproductos del arroz

Subproductos	PER	Observaciones	Referencia
Salvado	161	a 81.6 % de proteínas	Kik, 1957
Salvado	192	a 90.0 % de proteínas	Kik, 1965
Salvado	177-19	—	Kik, 1962
Harina de cilindros	184	a 91.0 % de proteínas	Lynn, 1969
Harina de cilindros	188	—	Kik, 1965
Harina de cilindros	192	—	Kik, 1966
Harina de arroz	184	—	Milner, 1962
Salvado sancochado comercial	170	—	Milner, 1965
			Houston y Kohler, 1970
Germen	259	a 57 % de proteínas	Kik, 1957
Germen	190	a 90 % de proteínas	Kik, 1957

Tabla 22

Valor PER de algunos alimentos ^a

Fuente proteica	PER
Huevo completo	38
Carne de vaca	32
Leche de vaca	25
Semilla de algodón	13-21
Arroz	19
Soja	0.7-1.8
Cacahuets	1.7
Maíz	1.2
Trigo	1.0

^a Fuente: Liener (1972).

muy superior al de las de trigo y maíz.

Los datos sobre el valor calorífico del salvado pueden verse en la tabla 23 (Crampton y Harris, 1969).

De esta tabla se deduce que, en el salvado, la relación entre los gramos de proteínas y las calorías es de 1 a 20. Puesto que para un hombre de 20 años se requirieran 40 gramos de proteínas y 3,200 kilocalorías, lo que supone una relación de 1 a 80, resulta que el salvado de arroz es un alimento adecuado para incrementar la relación proteica de otras dietas más calóricas y, por tanto, este subproducto es un excelente contribuyente para el suministro de proteínas para la humanidad.

Tabla 23

Valores energéticos del salvado de arroz y de otros subproductos arroceros

Subproducto	Valor energético	
	ED (Kcal/Kg) ^a	EM (Kcal/Kg) ^b
Salvado.	2'939	2'410
Salvado desengrasado.	2'973	2'438
Harina de cilindros.	3'221	2'641
Germen desengrasado.	3'325	2'727

^a Energía digerible.

^b Energía metabolizable.

El aceite de salvado de arroz

Como hemos dicho anteriormente, el contenido en aceite de salvado de arroz es muy importante. La explotación normal del salvado deberá ser el aprovechamiento total de su aceite para obtener un aceite comestible de valor comercial semejante al de soja, o mejor, y luego el aprovechamiento total de las proteínas del germen y salvado desengrasado, para la alimentación humana.

El aceite de salvado de arroz contiene cantidades importantes de ácidos grasos no saturados y también de tocoferoles, lo cual les da propiedades antioxidantes y características nutritivas valiosas.

Es importante proteger el contenido en ácidos grasos insaturados del arroz; su oxidación lleva consigo la pérdida del contenido en tocoferol y, también, incluso de aminoácidos esenciales. Se ha demostrado que los derivados carbonílicos producidos por enranciamiento del aceite se combinan con las proteínas dando una polimerización cruzada.

Interés especial tiene el caso de la saturación de los ácidos insaturados en el rumen de los rumiantes, cuando el salvado de arroz se utiliza como pienso. Efectivamente, cada vez es más importante obtener carnes y leches con mayor contenido en ácidos insaturados. Para este fin se ha ensayado la protección de los ácidos insaturados, a su paso por el rumen, encapsulándolos con una capa de caseína coagulada con formaldehído. De esta forma, los ácidos insaturados no son hidrogenados en el rumen y la leche producida por estos rumiantes tiene mayor contenido en ácidos insaturados.

Vitaminas y minerales

En la tabla 24 se da el contenido en vitaminas del salvado de arroz. Se

ve que es una fuente muy importante de vitaminas del grupo B y de vitaminas E, pero que no tiene interés como fuente de vitaminas A, C o D. En la tabla 25 se comparan estos datos con las necesidades diarias de dichas vitaminas. Se ve que 100 g de salvado de arroz cubren, con exceso, los requisitos diarios para tiamina y niacina.

Tabla 24

Contenido vitamínico del salvado del arroz ^a

	γ/g peso en seco ^b
Vitamina A (carotenos).	6
Tiamina.	20
Riboflavina.	2'15
Niacina.	420
Pyridoxina.	20
Ácido pantoténico.	50
Biotina.	0'4
Inositol.	7.000
Colina.	1.500
Ácido fólico.	1
Vitamina B12.	0'005
Vitamina E (tocóferoles).	150

^a Fuente: Calculado a partir de Juliano (1972).

^b Valores medios de varios autores.

Tabla 25

Dosis diarias recomendadas de vitamina y cantidades suministradas por 100 gramos de salvado de arroz

Vitamina	Dosis recomendada ^a			Cantidades existentes en 100 g de salvado
	Niños 4 a 6 años	Hombres	Mujeres	
Tiamina (mg).	0'9	1'5	1'1	1-2'8
Niacina (mg).	12	20	14	23-59
Riboflavina (mg).	1'1	1'8	1'4	0'2-0'3
Vitamina B ₆ (mg).	0'9	2	2	1-3'2
Vitamina B ₁₂ (μg).	1'5	3	3	0'5-0'6
Ácido fólico (μg).	200	400	400	5-15
Vitamina E (U.I.).	9	15	12	20-25
Vitamina A (U. e. q. retinol).	500	1.000	800	—
Vitamina D (u.I.).	400	400	400	—
Vitamina C (mg).	40	45	45	—

^a Nat. Acad. Sc. (1974).

En el caso del arroz sancocado, el contenido en vitaminas del salvado varía notablemente, como puede verse en la tabla 26.

Tabla 26

Comparación de la tiamina, riboflavina y niacina existentes en los salvados normal (crudo) y sancocado ^a

Vitamina (mg por g)	Variedad Rexoro	
	Crudo	Sancocado
Tiamina.	21'05	6'82
Riboflavina.	2'79	1'90
Niacina.	269'2	233'5

^aFuente: Kik y Williams (1945).

También disminuyen, por el sancocado, otros componentes de valor nutritivo del salvado (Benedito *et al.*, 1974).

La tabla 27 nos da el contenido en minerales interesantes del salvado de arroz.

En la tabla 28 se comparan estos datos con las necesidades diarias de dichos minerales.

La absorción de calcio y de hierro del salvado puede ser impedida o interferida por la presencia de ácido fítico. La presencia de una fitasa deja libre fosfórico y calcio. También es de señalar la presencia de algunos factores negativos. Existe un inhibidor de tripsina que se destruye por la cocción y se han detectado hemaglutininas que igualmente son destruidas por el calor. Se ha aislado un factor antitiamina y se ha encontrado alguna actividad estrógena (Barber *et al.*, 1975) (Benedito y Barber, 1975).

Tabla 27

Elementos minerales en salvado de etapas sucesivas de abrasión ^a

Salvado	% respecto		Minerales (mg/Kg de salvado)						
	a arroz	% resp. salvado	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
1.º cono.	2'5	9'82	210	15.120	320	10.070	280	140	80
2.º cono.	2'5	9'37	240	13.490	160	14.060	190	110	90
3.º cono.	2'4	8'35	260	13.030	170	8.670	150	100	80
4.º cono.	0'9	7'49	170	11.760	140	8.910	150	80	70
1.º pulidor. ...	0'5	7'23	110	10.920	180	7.650	80	80	60
2.º pulidor. ...	0'5	6'02	20	8.070	140	7.520	60	50	40

^a Fuente: Primó *et al.* (1970 b).

Tabla 28

Necesidades diarias de elementos minerales y cantidades suministradas por 100 gramos de salvado

Minerales	Necesidades (mg/día) ^a			Minerales suministrados por 100 g salvado (mg/100 g salvado)
	Niños 4-6 años	Hombres ^b	Mujeres ^c	
Calcio (mg).	800	800	800	14-131
Fósforo (mg).	800	800	800	1.480-2.870
Todo (g).	80	140	100	1'5
Hierro (mg).	10	10	18	13-53
Magnesio (mg).	200	350	300	865-1.230
Zinc (mg).	10	15	15	8

^a NAS (1974).

^b Peso tipo 67 Kg - 19-22 años.

^c Peso tipo 58 Kg - 19-22 años.

c) El aprovechamiento de las proteínas del salvado de arroz

c1) La estabilización del salvado de arroz

Como hemos visto anteriormente, el salvado de arroz constituye una materia prima de interés primordial para la alimentación de la humanidad. El salvado procedente de la cosecha anual de arroz podría suministrar cada año unos 5.000.000 de toneladas de proteínas de muy buena calidad, y la misma cantidad, aproximadamente, de aceite comestible.

La aportación que esto supone o puede suponer para los países de las áreas productoras de arroz es evidente. El gran inconveniente para aprovechar esta materia prima es su rápida alteración. El salvado de arroz se deteriora en horas o en pocos días y, por ello, no puede ser objeto de almacenamiento prolongado ni de un comercio que exceda los límites de una región estrecha.

La principal causa de alteración es una lipasa extremadamente activa. En efecto, una vez separado el salvado del grano, la lipasa actúa a una velocidad de un grado de acidez por hora. A las pocas horas de obtenido en el molino, el salvado alcanza índices de acidez de 30 y 40; inmediatamente actúan las peroxidasas, que producen peróxidos y compuestos carbonílicos con fuertes sabores a rancio. El aceite obtenido de este producto puede servir para usos industriales de jabonería, pero es completamente inadecuado para uso comestible, y tampoco puede someterse a una refinación rentable: la solución sería el poner las fábricas extractoras de aceites a pie de molino, pero esto no es posible, porque el tamaño de las fábricas de extracción ha de

tener un mínimo rentable y la gran dispersión de la molinería arrocerera hace que aquéllas deban suministrarse de una red de molinos generalemente distantes. Por ello, este problema ha ocupado a investigadores de todo el mundo.

La alteración de los glicéridos del salvado de arroz va seguida de la de otros componentes importantes. Así, los tocóferoles son destruidos por los peróxidos, y también disminuye la lisina disponible porque sufre reacciones con los compuestos carbonílicos formados en la alteración oxidativa de las grasas. Por otra parte, las alteraciones microbiológicas también son de consideración; hay una proliferación importante de muy diversos hongos que producen, en algunos casos, toxinas y, también, una proliferación microbiana muy abundante, hasta tal punto que todas estas reacciones de deterioración producen una elevación muy importante de la temperatura del salvado almacenado.

En un estudio realizado en una serie de molinos españoles, no se han encontrado, en ningún caso, trazas de aflatoxinas en las muestras del salvado; sin embargo, es muy probable que, en climas más cálidos y muy húmedos, esto sea un problema importante.

En los últimos años se ha desarrollado, en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valencia, un proceso para la estabilización del arroz, en el que se han tenido en cuenta tanto los efectos sobre los diferentes enzimas, la población bacteriana y los insectos como también sobre los nutrientes y sobre las propiedades físico-químicas que definen el comportamiento del salvado en los diferentes procesos industriales.

El proceso se basa en un trabajo realizado en 1953 (Gómez y Primo, 1953), y consiste en un tratamiento térmico húmedo, durante un tiempo determinado y a temperatura controlada (Barber *et al.*, 1974).

En una variante de él se produce, finalmente, una extrusión que da lugar a la obtención de un producto granulado.

En el proceso se consigue una completa inactivación de los enzimas, de carácter irreversible, una disminución drástica de la flora microbiana hasta valores no perjudiciales, una destrucción de los insectos y una mejora muy importante de la digestibilidad. Todo ello da lugar a un producto, un salvado de arroz, que puede almacenarse con seguridad durante períodos largos, de más de un año.

Después de fijadas las condiciones del proceso, se ha desarrollado una maquinaria capaz de su aplicación industrial. Estas máquinas están diseñadas para trabajar en molinos que no tengan instalación propia de vapor y, por ello, son autosuficientes. Trabajan en forma continua a medida que se produce el salvado en el molino, son fáciles de manejar y sencillas, y no necesitan personal muy preparado. Su capacidad de estabilización puede adaptarse a diferentes tipos y tamaños de molino. Las unidades prototipo

fabricadas, trabajan entre un margen de 100 y 400 Kg hora de salvado: el equipo es compacto y de fácil reparación (Fito *et al.*, 1974) (Fito y Sanz, 1974).

El proceso comienza por un calentamiento directo y humidificación del salvado con vapor, en un lecho fluidificado; después, el salvado pasa a través de un cilindro en el que gira un tornillo sin fin, cuyo cilindro está recubierto por una camisa de vapor en donde se termina el tratamiento en las condiciones de tiempo y temperatura deseadas. A continuación, pasa el salvado a un desecador relámpago, en el que se enfría rápidamente. El proceso total dura 3 minutos. Cuando se quiere obtener salvado estabilizado granulado, el salvado, caliente y húmedo, que procede del tornillo sin fin, pasa a un "extrusionador" que lo reduce a gránulos, lo seca y lo enfría. Las necesidades caloríficas son de 140 K-calorías por kilo de salvado. La mitad de estas calorías se suministran como aire caliente a 90° C y la otra mitad como vapor a la presión de un Kg por centímetro cuadrado. Con el fin de que el aparato pueda instalarse en cualquier molino de cualquier área rural, está provisto de su propia fuente calorífica. Esta produce, al mismo tiempo, aire caliente y vapor. Como combustible, puede usarse gasoil o fueloil, y también se ha desarrollado una unidad que usa la cascarilla de arroz, producida en el mismo molino.

c2) Características del salvado estabilizado

El tratamiento inactiva, completamente, las lipasas y las lipoxidasas responsables de la alteración de las grasas, y esto sucede aun en condiciones en que las actividades enzimáticas son muy elevadas como, por ejemplo, cuando se ha obtenido la cosecha en tiempo muy húmedo y no se ha logrado una desecación adecuada de la misma.

El recuento de microorganismos se reduce drásticamente. Así, pasa de 3.770.000 en el salvado original a 180 en el salvado estabilizado granulado. El número de mohos pasa de 110.000 por g a cero en el salvado estabilizado y granulado.

La humedad de equilibrio del salvado estabilizado y granulado es de 8 a 10 %, a la temperatura ambiente de 15 a 30° C, y humedad relativa 50 a 85 %, lo cual es muy satisfactorio para la prevención de reacciones de hidrólisis y del crecimiento de microorganismos. La densidad aparente es mucho mayor que la del salvado no tratado. El almacenamiento y el transporte del salvado estabilizado en polvo requiere 0'7 metros cúbicos por tonelada menos, y el del salvado granulado requiere 1'1 metros cúbicos por tonelada menos, que el producto no tratado.

Las respectivas densidades aparentes son las siguientes:

Salvado no tratado: 0'32.

Salvado estabilizado en polvo: 0'41.

Salvado estabilizado granulado: 0'50.

El contenido en polvo fino del salvado estabilizado en polvo es menor que el del salvado no tratado. Esto es importante en relación a las dificultades que los finos producen en las instalaciones de extracción de aceite. El producto granulado es todavía más favorable en este sentido. El color del salvado estabilizado es algo más oscuro que el del no tratado, pero las diferencias no son importantes.

En la tabla 29 se dan los parámetros del colorímetro Hunter para los tres productos.

Tabla 29

Efectos de la estabilización sobre el color del salvado de arroz ^a

	L		a		b	
Salvado de arroz crudo.	62'0	0'2	15'6			
Salvado de arroz estabilizado						
—polvo.	53'2	0'7	16'6			
—gránulos ^b .	57'3	1'3	16'8			

^a Color "Hunter": tipo blanco (L = 93'6, a = -1'0, b = 2'3). L. luminosidad; a, componentes rojos; b, componentes amarillos.

^b Muestra molida.

Tabla 30 ^a

	A		B		Significación
Ingesta (sustancia seca ingerida g/rata/día).	9'84±0'21	12'37±0'31	P < 0'05	% x	
Incremento de peso (g/rata/día).	2'37±0'09	3'08±0'16	P < 0'001	% x xx	
Coeficiente Digest. apar. (C.D.A.)	62'6 ±0'58	64'7 ±0'70	—	—	
Coef. Digest. real (C.D.R.)	68'0 ±0'74	70'4 ±0'80	—	—	
Valor biológico (V.B.)	79'2 ±1'23	81'0 ±1'22	—	—	
Utilización proteica neta (N.P.U.)	53'9 ±1'07	57'1 ±1'41	—	—	
Valor productivo de la proteína (P.P.V.)	1'92±0'05	2'09±0'12	—	—	
Balance de nitrógeno.	+73'5 ±2'89	+96'1 ±2'28	P < 0'001	x, xx	

A: salvado sin estabilizar; x = signif. A frente a B; xx = signif. A frente a C.

B: salvado estabilizado I.A.T.A.

^a Fuente: Varela y Escobá (1974).

Como se deduce de los datos de la tabla 30, el valor nutritivo del salvado estabilizado es muy bueno (Varela *et al.*, 1974). Los experimentos de alimentación realizados con animales indican que no hay pérdida de los aminoácidos esenciales (Tortosa *et al.*, 1974). Al mismo tiempo, los ensayos de tiamina indican que el salvado tratado tiene 37 miligramos por kilo, respecto a un original que contenía 39'9 miligramos por kilo. Por tanto, la retención de las tiaminas es superior al 95 %. Estos resultados tan satisfactorios se deben a las características especiales del proceso, con alta temperatura y tiempo corto, las cuales no se dan en ninguno de los procesos hasta ahora descritos.

La estabilidad en el almacenamiento del salvado tratado es muy buena. En la figura 10 se ven los incrementos de acidez después de varios meses.

La utilización lógica del salvado estabilizado es la extracción de aceite. El rendimiento en aceite no disminuye por la estabilización, aunque es algo menor en el caso del salvado granulado, pero las ventajas del funcionamiento de la distribución industrial compensan esta disminución del rendimiento (Pascual *et al.*, 1954).

En la tabla 31 se ven los rendimientos en aceite de los tres tipos de salvado.

El color del aceite extraído es un poco más oscuro, en el caso del salvado estabilizado, pero las diferencias son pequeñas. En la figura 11 se ven los espectros de absorción de ambos tipos de aceite. Este es rico en ácidos grasos insaturados y en antioxidantes (Colom *et al.*, 1953) (Gómez *et al.*, 1955). Su sabor es muy fino y, si se evita su alteración, es de primera calidad como aceite comestible.

c3) Aprovechamiento del salvado de arroz como alimento para el hombre

Actualmente, el único uso alimenticio del salvado de arroz es como pienso para los animales. En este sentido, la estabilización y la extracción de aceite es interesante porque produce un pienso estable, que puede comercializarse internacionalmente, y porque la extracción da lugar a un aumento del contenido proteico. Sin embargo, el máximo aprovechamiento de las características, interesantísimas, nutritivas del salvado es la preparación de productos que sirvan para alimento del hombre. El más grave inconveniente para este uso es el alto contenido en fibra y cenizas que tienen el salvado de arroz, tanto el natural como el estabilizado y el extraído con hexano (Pascual y Primo, 1955).

La separación de las proteínas del salvado puede hacerse por extracción en medio alcalino y precipitación al pH isoelectrico, en forma parecida a la que se ha descrito para la obtención de las proteínas aisladas de soja. Sin

Tabla 31

Efectos de la estabilización sobre el rendimiento de la extracción de aceite de salvado de arroz ^a

	Extracción en frío	Extracción en caliente
Salvado de arroz crudo.	16'3	18'3
Salvado de arroz estabilizado:		
--polvo.	16'4	18'4
--gránulos.	15'7	17'6

^a Aceite extraído por medio de hexano, %.

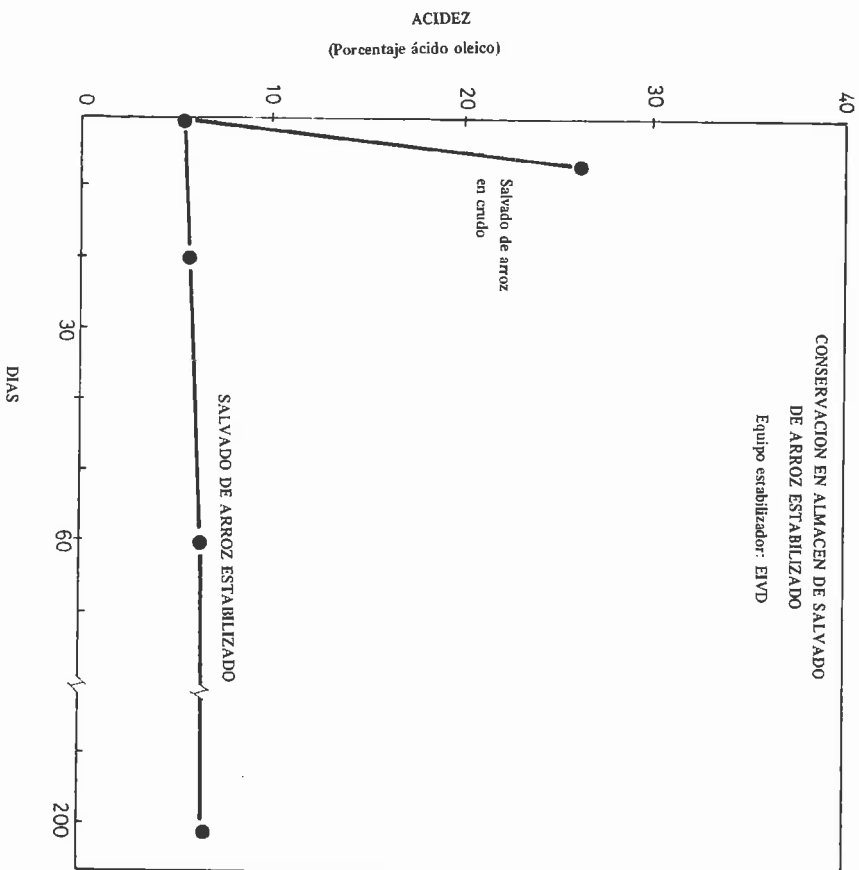
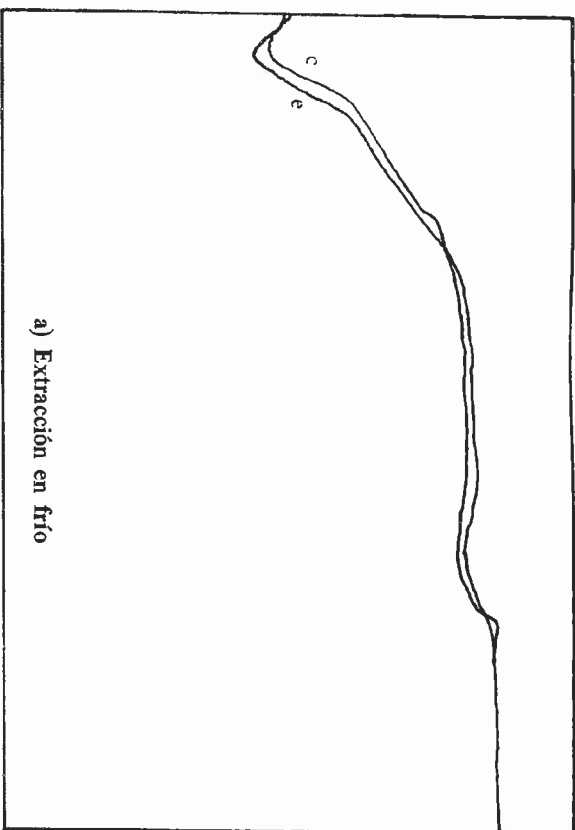
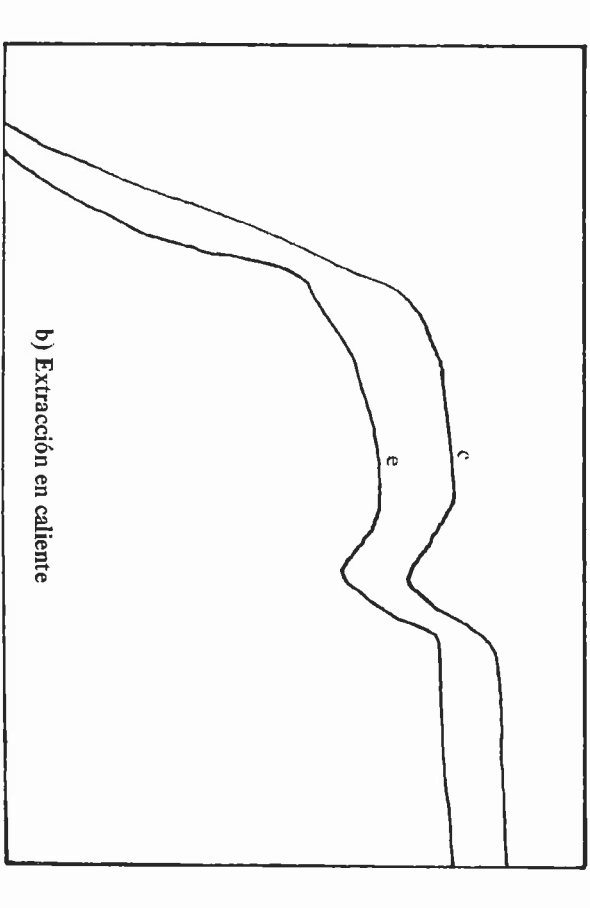


Figura 10.—Cambios en el grado de acidez durante el almacenamiento del salvado de arroz (Salvado de arroz almacenado en lugar cerrado y en sacos de plástico de 1 Kg de capacidad).



a) Extracción en frío



b) Extracción en caliente

Figura 11.—Curvas de absorción de aceites extraídos por hexano en el salvado del arroz, crudo y estabilizado (c = salvado crudo; e = salvado estabilizado).

embargo, este proceso destruye algunos aminoácidos y, por otra parte, en el caso del salvado, es menos favorable por el más bajo contenido proteico del mismo.

En el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valencia, se ha desarrollado un nuevo proceso que permite fraccionar el salvado en una harina fibrosa y una harina proteica con contenido en fibra inferior al 3^o/₅, y perfectamente utilizable para la alimentación humana (Barber *et al.*, 1974).

El fraccionamiento puede utilizarse con salvado desengrasado o con salvado no desengrasado, aunque la explotación completa y racional del salvado aconseja la previa extracción del aceite.

En la tabla 32 se ven los rendimientos y la composición de las fracciones.

Tabla 32

Proceso I.A.T.A. de fraccionamiento del salvado: Rendimiento y composición química de las fracciones ^a

	Fracción		Extracto
	Salvado original	Fracción baja en fibra elevada en fibra	
Rendimiento.	100	57	11
Proteínas.	14'5	16'9	6'1
Grasas.	14'6	17'1	6'3
Fibras.	9'5	3'0	0'5

^a Fuente: Barber *et al.* (1974 a).

El proceso IATA consiste, fundamentalmente, en una trituración diferencial en medio acuoso, la cual pulveriza, en forma diferente, los diferentes tejidos, lo que permite posteriormente una separación de los tejidos más fibrosos. El salvado se suspende en agua y se deja macerar, en condiciones controladas y, después, es molido diferencialmente en molinos coloidales y rotatorios. Las fibras se eliminan mediante una serie de tamices curvos e hidrociclones, en una combinación tal que permite separar una fracción fibrosa y una fracción harinosa más rica en proteínas. Las fracciones, en forma de pasta concentrada, se deshidratan por centrifugación y a continuación se seca. Queda un líquido extractivo que contiene proteínas solubles y vitaminas, del cual se obtiene un concentrado de gran valor nutritivo y utilizable para alimentos dietéticos y para farmacia. El diagrama del proceso puede verse en la figura 12.

La influencia del tipo de tamiz en la separación de la fibra puede verse en la figura 13.

A este resultado se ha llegado después de un profundo estudio histológico e histoquímico del germen y del salvado de arroz (Barber *et al.*,

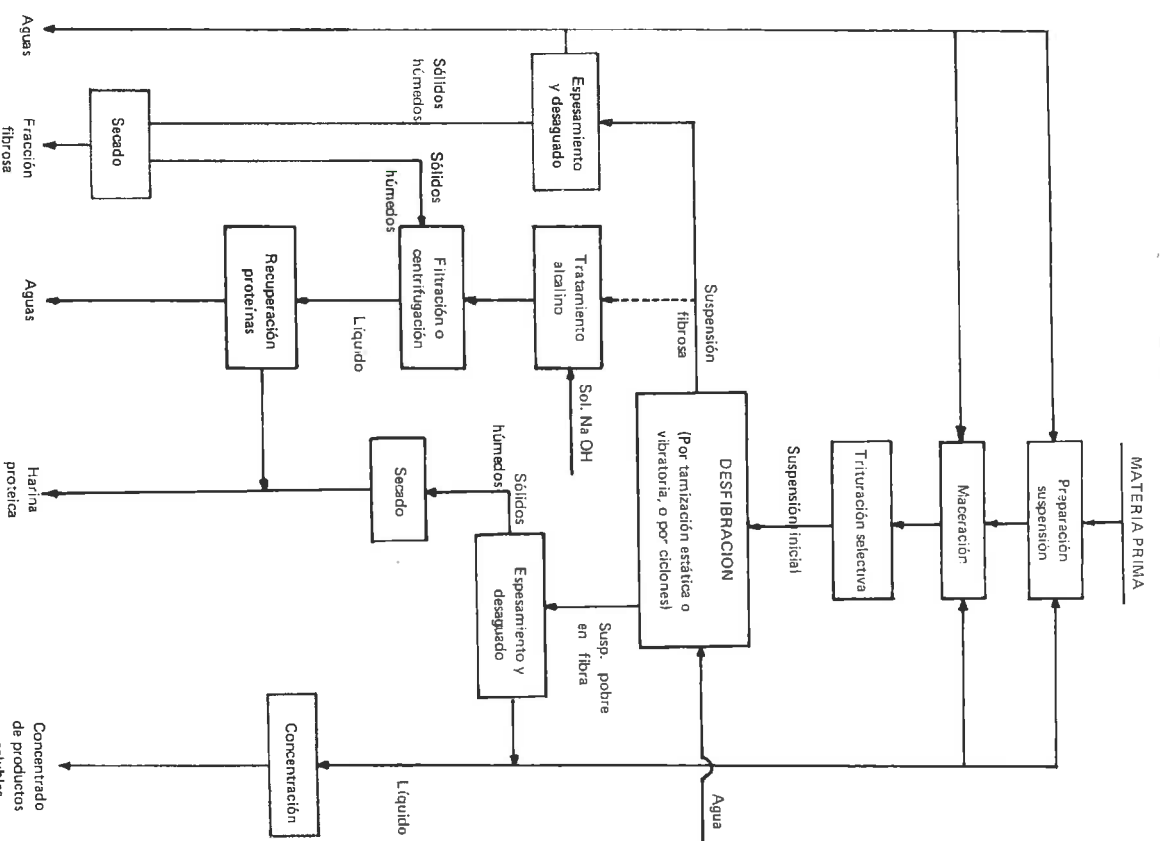


Figura 12.—Diagrama de flujo del procedimiento para el fraccionamiento del salvado de arroz y otros cereales.

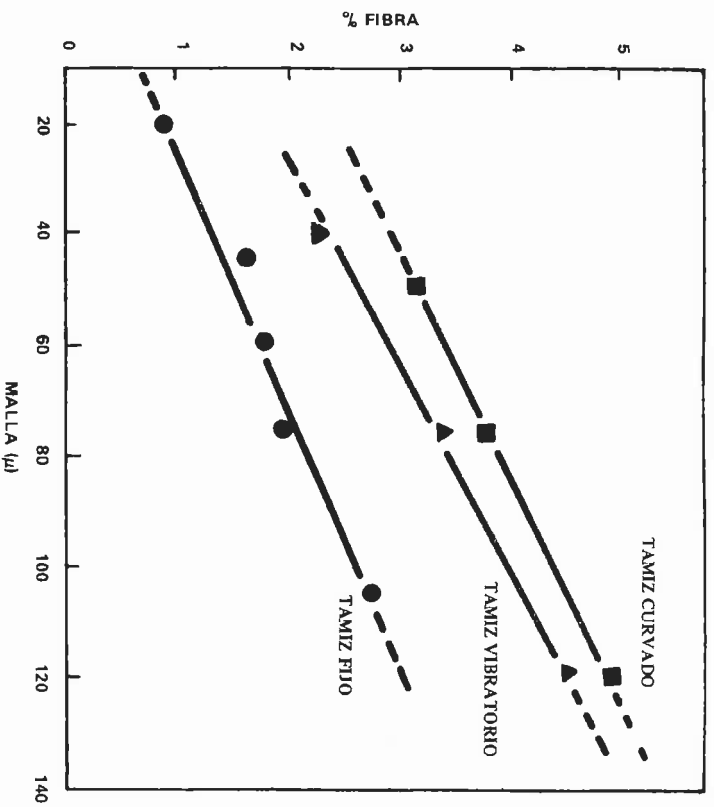


Figura 13.—Influencia del tipo de tamiz en la separación de la fibra.

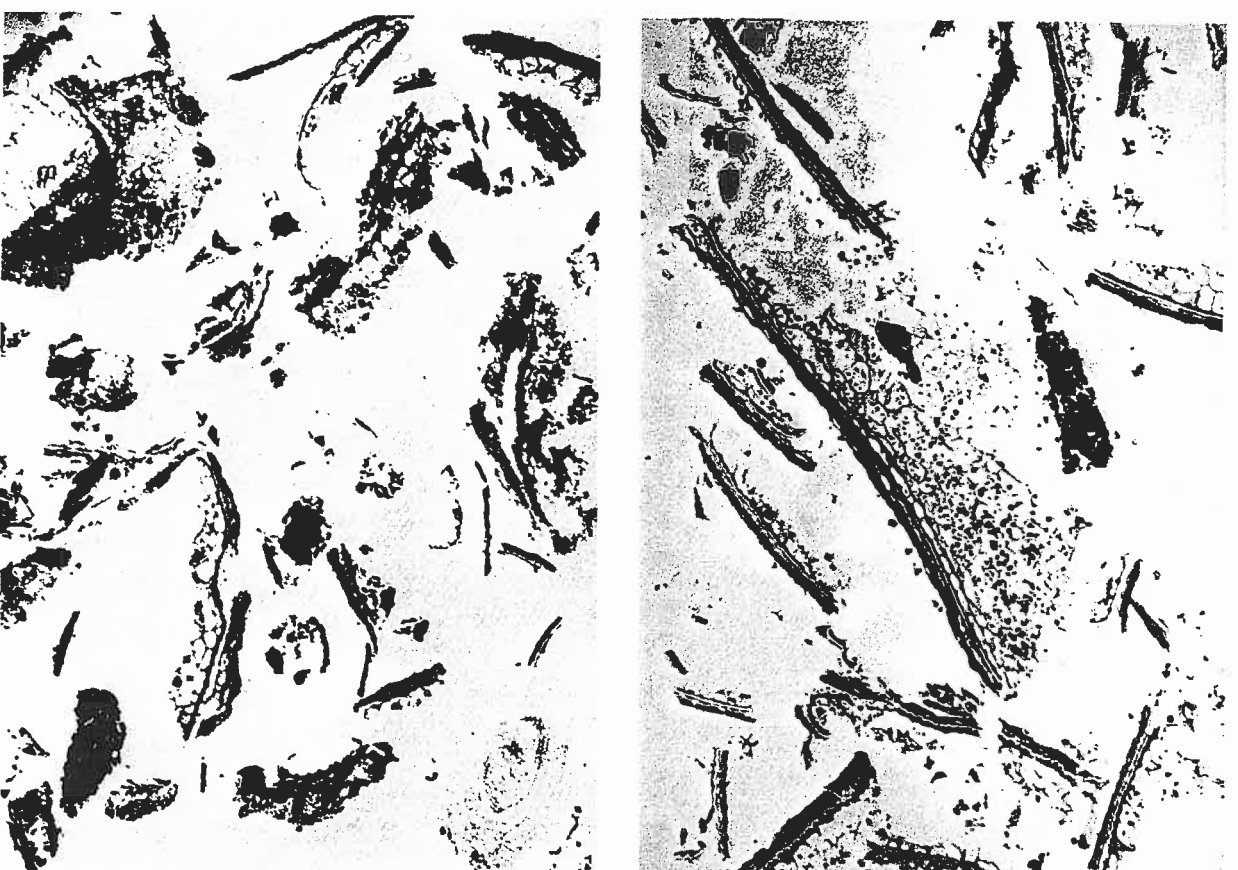
1972 y 1976) (figura 14).

El reciclado de los líquidos es una de las bases del proceso. La suspensión de la fracción fibrosa puede someterse a un proceso de extracción alcalina, para separar todavía una nueva fracción de proteínas. Estas se precipitan por tratamiento con ácido, hasta el punto isoelectrónico.

Con este proceso, una gran cantidad de la producción anual de salvado de arroz podría incorporarse a la alimentación humana.

Los ensayos realizados para su incorporación al pan, en proporción hasta del 20 %, han dado buenos resultados. El pan obtenido tiene un contenido proteico y un valor nutritivo excepcionales. Otras aplicaciones son: su incorporación a galletas, pastas para sopa o gránulos imitando al arroz. Otras posibilidades, como su incorporación a productos cárnicos y otros, están siendo estudiadas actualmente.

Las proteínas extraídas y precipitadas de la fracción fibrosa pueden



Figuras 14 a y b.—Fotomicrografías de salvado de arroz comercial, mostrando partículas simples y compuestas de diferentes tejidos y partes anatómicas del germen (x 220).
Tinción PAS (hidratos de carbono)

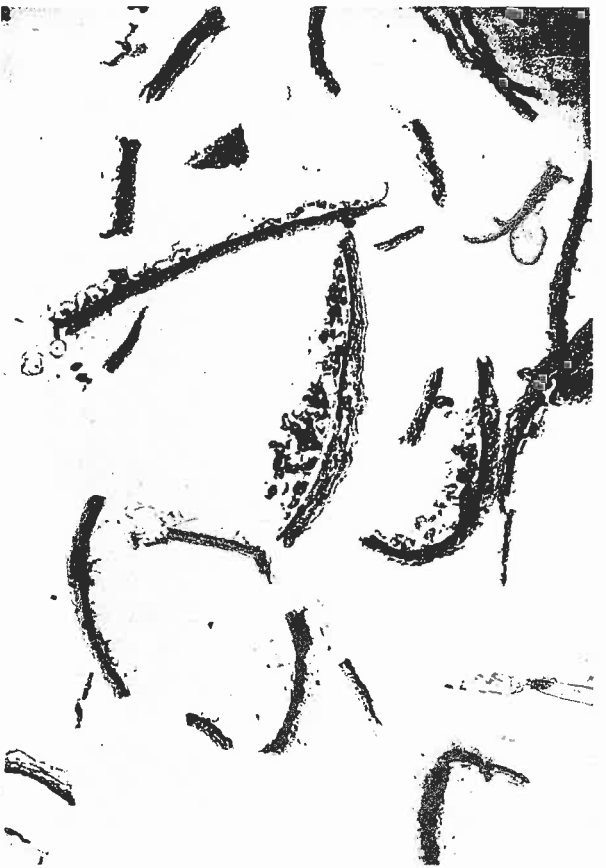


Figura 14 c.—Efectos de la trituration sobre una partícula compuesta. El pericarpio se esponja; las células del endospermo, así como las de aleurona, se desprenden, vaciando su contenido. Se observan restos de paredes de la aleurona adheridos al tegmen y pericarpio (x 300). Tinción: Sudán Negro (lípidos).

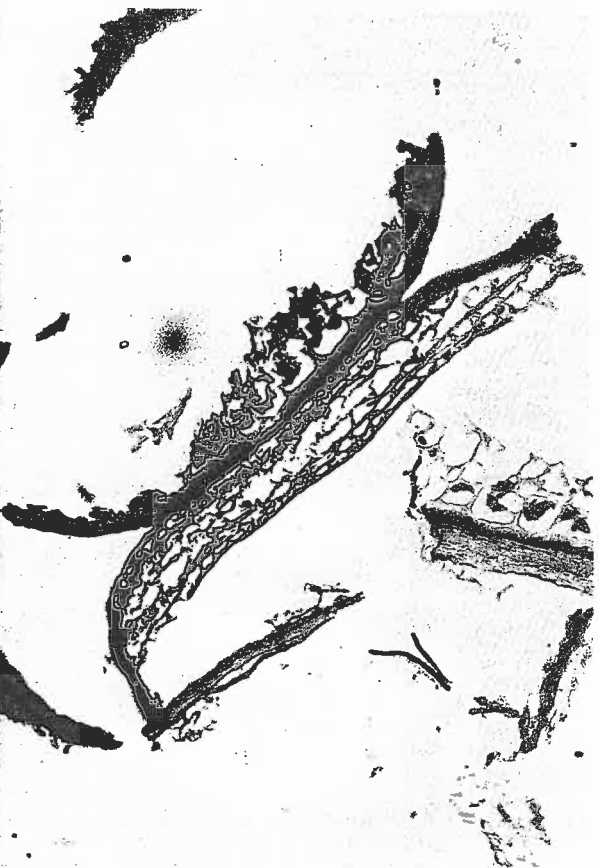


Figura 14 d.—Fotomicrografía de salvado de arroz triturado y tamizado (fracción que no pasa por el tamiz), mostrando abundancia de partículas fibrosas constituidas prácticamente por pericarpio y cubierta de la semilla (x 200). Tinción: Sudán Negro (lípidos).

también someterse a procesos de "extrusión" del mismo modo que las proteínas de soja.

También puede prepararse un extracto del concentrado graso, que tiene propiedades semejantes a la leche y que, sazonado con diferentes sabores, constituye una bebida agradable y de gran valor nutritivo, cuya composición puede verse en la tabla 33.

Tabla 33

Composición de una bebida similar a la leche con proteínas del salvado de arroz y comparación con la leche de vaca ^a

Componentes	Leche de salvado	
	de arroz (% peso)	Leche de vaca (% peso)
Proteínas.	3'60	3'42
Grasas.	4'00	3'67
Minerales.	0'70	0'73
Hidratos de carbono.	4'81	8'77
Agua.	87'10	87'30

^a Fuente: Lynn (1969).

Se han propuesto otros procesos de fraccionamiento y, entre ellos, pueden seleccionarse los siguientes:

a) La molienda del salvado desengrasado y el fraccionamiento, por clasificación de tamaños y densidades en ciclones de aire, de harinas con diferente contenido proteico, pero con poca desproporción de la fibra.

En la tabla 34 se ve la composición de las diferentes fracciones obtenidas por este proceso de clasificación con aire.

b) Mediante extracción alcalina de las proteínas y precipitación ácida, se obtiene un concentrado casi libre de fibra.

El diagrama del proceso se ve en la figura 15.

La elevación del pH de extracción eleva el rendimiento, pero por encima del pH 11 se produce degradación de las proteínas y destrucción de algunos aminoácidos, en primer lugar de la cistina.

Después de la extracción se centrifuga la suspensión de salvado y el líquido se precipita a pH 5 con ClH.

En la tabla 35 puede verse la composición de las fracciones.

Este proceso es semejante a los que se utilizan para la obtención de proteínas aisladas de soja, pero en el caso del salvado se necesitan pH más altos para obtener buenos rendimientos, y, además, la mayor proporción de carbohidratos dificulta el proceso. Se han ensayado algunos tratamientos enzimáticos previos, para mejorar el rendimiento, pero esto encarece notablemente el producto final.

Tabla 34

Fracción	% Peso	Composición				
		Proteína (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	
Original	100'0	10'6	7'37	0'91	11'4	
Fracción 1 ^b	17'0	15'4	10'7	0'90	6'6	
Fracción 2	6'8	14'2	11'3	0'74	6'1	
Fracción 3	4'7	12'4	8'95	0'78	8'4	
Fracción 4	3'8	12'1	8'11	0'98	8'4	
Fracción 5	3'5	11'0	6'38	0'68	8'4	
Fracción 6	4'7	9'4	4'93	0'67	8'0	
Fracción 7	4'9	8'9	4'21	0'55	8'2	
Fracción 8	52'2	6'8	4'53	0'36	13'8	

^a Fuente: Houston y Mohammad (1966).

^b El tamaño de partícula aumenta con el número de la fracción.

Tabla 35

Componentes	Balance del proceso de extracción alcalina del salvado ^a		
	Extracción a pH 9		Extracción a pH 11
	% extraído ^b	En el pre-cipitado ^c líquido	En el pre-cipitado ^c líquido
Proteínas	35'6	80'4	19'5
Grasas	0'5	1'1	0'2
Cenizas	12'4	5'4	1'5'3
Hidatos de carbono (por diferencia)	51'5	13'1	65'0
			40'3
			9'5
			61'0

^a Datos de Chen y Houston (1970).

^b Respecto al total de cada componente.

^c % de la cantidad extraída.

d) Extracción con agua

El proceso consiste en una trituración del salvado con agua, seguida de una centrifugación.

Con ello se separa un sólido, que contiene celulosa, almidón, proteínas insolubles, grasas, fitatos insolubles y sustancias inorgánicas.

El líquido centrifugado es una suspensión coloidal lechosa que contiene proteínas y grasas, vitaminas, azúcares, fitatos solubles, etcétera.

Las proteínas se coagulan y luego se desengrasan y se secan. Del

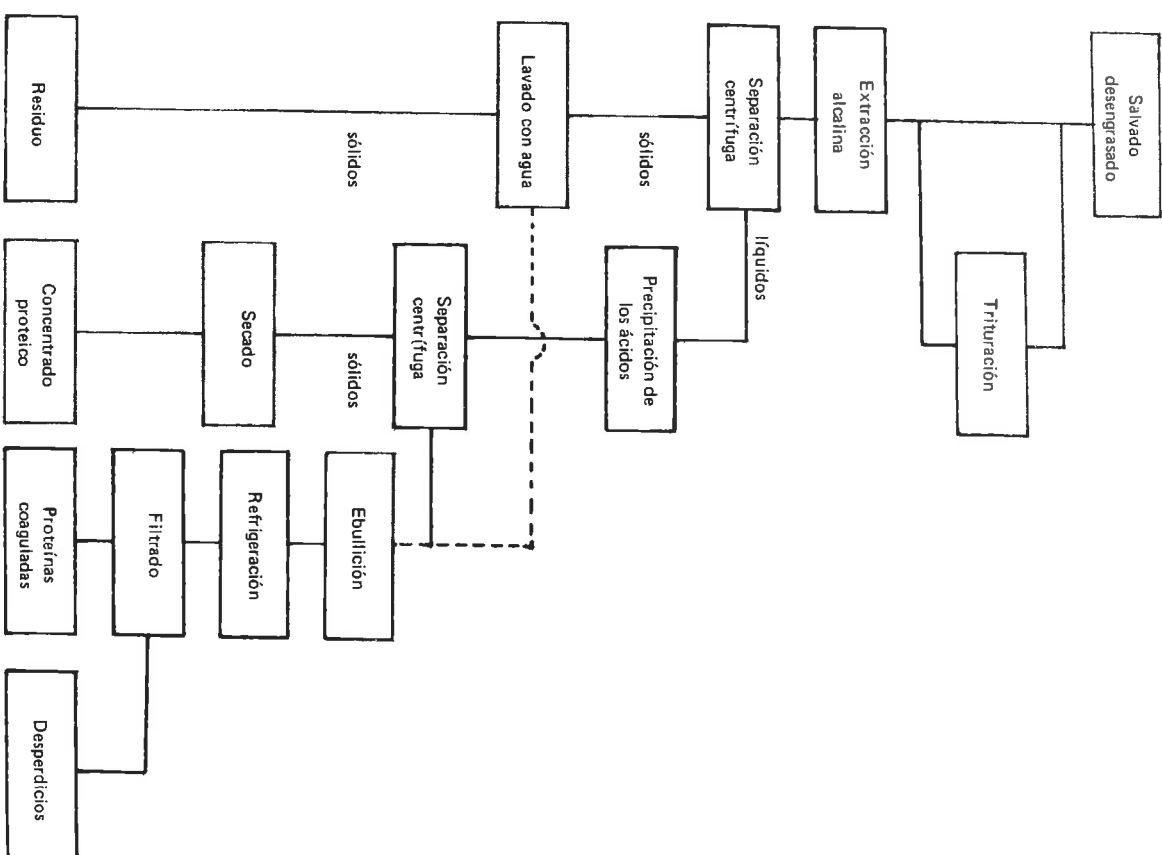


Figura 15.—Solubilización y recuperación de las proteínas procedentes del salvado desengrasado del arroz (Chen y Houston, 1970).

filtrado puede precipitarse fitina, quedando un jarabe con azúcares y vitaminas.

En la tabla 36 puede verse la composición de las fracciones.

Tabla 36

Proceso NW: Rendimiento y análisis de diversas fracciones a

Composición (%):	Fracciones				
	Proteica	Amilácea	Fibrica	Residuos concentrado	Jarabe vitamínico de salvado de arroz
Rendimiento (Kg) ^b :	110	145	80	250	200
Composición (%):					
Agua.	8'56	5'40	—	2'21	—
Proteínas.	78'5	1'61	0	13'1	11'2
Grasas y aceites.	1'75	0'49	0	6'76	—
Celulosa.	0	1'67	0	26'3	—
Cenizas.	2'9	0'67	41'2	2'60	—
Otros hidratos de carbono. . .	8'28	90'1	0	48'8	87'3

^a Fuente: Mihara (1970).

^b Por tonelada de salvado.

VII. PROTEINAS DE ORIGEN MICROBIANO

Con las fuentes de proteínas que hemos visto en las páginas anteriores, podría nutrirse a una población humana varias veces mayor que la actual. Sin embargo, es evidente que, a largo plazo, estos recursos alcanzarán un límite no sobrepasable y que, a partir de este límite, la producción agraria no será suficiente para alimentar a la humanidad.

Pero existe una fuente de alimentos proteicos que puede crecer tanto como la población, y esta fuente es la producción industrial de proteínas microbianas, que se vienen llamando proteínas monocelulares o S.C.P. (single cells proteins). En la multiplicación industrial, 100 Kg de algunos microorganismos pueden producir, en 24 h 1 millón de Kg de proteínas, mientras que en ganadería, 100 Kg de animal vivo sólo producen 100 g de proteínas.

Las células de los microorganismos seleccionados se reproducen con velocidad muy superior a las de los animales y las plantas, su producción con está condicionada a la limitación del suelo laborable, ni a las condiciones

climáticas; se controla en instalaciones industriales según los métodos desarrollados por la ingeniería bioquímica y, además, el contenido en proteínas del producto es mayor que el de cualquier cosecha.

El desarrollo de la tecnología de la multiplicación de microorganismos en cultivo sumergido con aireación profunda ha sido la base de toda la investigación en este campo. En todos los casos el líquido nutritivo ha de contener: un substrato carbonado, una fuente de N inorgánico (sulfato amónico, urea, etcétera), fósforo inorgánico y elementos minerales y otros nutrientes esenciales.

Los substratos carbonados son la clave de la tecnología y de la economía de los procesos y pueden ser derivados del petróleo (gas-óleo, n-alcános y metano), metanol, etanol y residuos agrícolas o industriales o incluso urbanos. En el caso de las algas la fuente de carbono es también el CO₂.

Los microorganismos utilizados son: levaduras, hongos, bacterias y algas. Hasta ahora, los procesos industriales más desarrollados son los que utilizan levaduras.

Se han hecho recientemente varias revisiones de estos procesos (Costa, 1974). En las páginas que siguen vamos a tratar del estado actual de la cuestión de las reales posibilidades de la S.C.P. para la alimentación de la humanidad. Debe tenerse en cuenta que una masa de levadura puede multiplicarse más de 1.000 veces en 24 h, la soja un 8 % cuando la estación es adecuada, y el ganado un 0'1 %.

Obtención de proteínas de levadura sobre substratos de gas-óleo y n-alcános

En los últimos años, después del buen funcionamiento de varias plantas semi-industriales, se han construido en diversos países algunas fábricas de proteínas de petróleo, con inversiones muy importantes.

Sin embargo, el aumento del precio de los derivados petrolíferos y los bajos precios de la soja, que es su principal competidor para la fabricación de piensos compuestos, debidos especialmente a las nuevas plantaciones del Brasil, han hecho que, últimamente, los planes de expansión estén en prudente expectativa, dado que el uso actual del producto es la alimentación animal.

Otra razón es la falta de datos suficientes sobre la presencia de productos tóxicos en las proteínas de petróleo. El empleo de gas-óleo se está eliminando, debido a que las levaduras sólo consumen los n-alcános, quedando los hidrocarburos ramificados que contaminan el producto final.

La materia prima, actualmente utilizada, es la fracción parafínica, separada previamente y que tiene un coste más elevado.

La British Petroleum Co., que ha sido una de las empresas de vanguardia en investigación sobre S.C.P., ha montado una instalación de 4.000 ton/año en Escocia, utilizando n-parafinas (Davis, 1975).

Junto con la empresa italiana Anic, S.p.A., ha fundado la Italproteina, que monta una instalación de 100.000 ton/año, también para n-parafinas, en Cerdeña, y están planeando otras en Venezuela y en la Arabia Saudita.

Otra empresa italiana, Liquichemica, S.p.A., ha montado una planta de 100.000 ton/año en Salina de Montebello, al sur de Italia.

Una instalación de 16.000 ton/año montada en Lavera (Francia), que utilizaba gas-oil, se ha modificado para trabajar con n-parafinas.

La firma japonesa Dianippon está construyendo una planta de 66.000 ton/año en Rumania, y se tienen noticias de otra gran planta rusa al este de Moscú, todas ellas con n-parafinas.

La levadura usada en estos procesos es la Cândida lipolítica.

Algunos científicos opinan que la completa falta de toxicidad de las proteínas de petróleo no está suficientemente comprobada. Especialmente se considera peligrosa la posible presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos, que pueden pasar al hombre a través de los productos ganaderos.

El gobierno japonés ha dotado un amplio programa de investigación de 5 años para determinar la toxicidad o inocuidad de las S.C.P. Entre tanto, y teniendo en cuenta también la actitud de los consumidores, las grandes firmas japonesas están aplazando sus planes para el lanzamiento del producto. También el gobierno italiano ha puesto últimamente, reparos a la venta de S.C.P. por Liquichemica.

La levadura lavada y desecada, obtenida en los fermentadores industriales, tiene una composición muy variable (tabla 37).

Tabla 37

Composición de la levadura (Candida lipolítica, C. utilis, Torula)	
	%
Proteína.....	42-68
Grasas.....	17-10
Carbohidratos.....	20-28
Cenizas.....	4-8
Ácidos nucleicos.....	6-11

Klapka *et al.* (1958); Champagnat *et al.* (1963); Otros datos no publicados.

El contenido en aminoácidos esenciales es también variable (tabla 46). El contenido en vitaminas del concentrado proteico, como puede verse en la tabla 38, es muy importante.

En la tabla 39 se da el contenido en aminoácidos de la levadura

Tabla 38

Vitaminas en concentrado proteico de levadura

Vitamina	µg/gm
Tiamina.....	150
Nicotinamida.....	500
Riboflavina.....	50
Pantoténico.....	100
Piridoxina.....	35
Ácido fólico.....	30
Biotina.....	1
Cobalamina.....	0'003

Klapka *et al.* (1958).

Tabla 39

Relación de aminoácidos en levaduras^a

Aminoácido	mg de A.A./g de N		A/E (%) respecto a	
	Levadura completa	Proteínas aisladas	Levadura completa	Proteínas aisladas
Isoleucina.....	323	339	98	95
Leucina.....	465	541	106	114
Lisina.....	470	387	148	112
Fenilalanina (aromáticos).....	511	611	103	113
Metionina (+ azufrados).....	32	111	12	40
Treonina.....	311	294	123	108
Triptófano.....	46	84	58	97
Valina.....	381	387	106	99

^a Informe FAO—OMS (1965).

^b A = Aminoácido que se considera; E = Total de aminoácidos esenciales.

completa y de las proteínas aisladas de la misma y su relación A/E, expresados en % del A/E de las proteínas de huevo.

El primer aminoácido limitante de las proteínas de levadura es la metionina y los A.A. sulfurados. En este aspecto, son semejantes a las proteínas de soja, y se complementan mejor con las de arroz.

La adición de metionina eleva el PER de las S.C.P. a valores cercanos a los de las proteínas de leche.

El PER de las S.C.P. es del orden de 1'5, y cuando se añade un 0'5 % de metionina llega a 2'5 (el PER de la caseína es 2'5, y el de las proteínas de huevo es de 3).

El valor biológico de las S.C.P. es del orden de 50-60, y cuando se añade 0'3-0'5 % de metionina, llega a 90-95.

El V.B. de la caseína es de 75-80, y el de las proteínas de huevo es de 95-100 (Lipinsky *et al.*, 1974).

Sin embargo, hay que señalar que, aunque la metionina es un producto comercial económico, su sabor y olor impide utilizarla para uso humano si no se desarrollan formas adecuadas para su incorporación a los alimentos.

La digestibilidad de las proteínas aisladas de levadura es mucho mayor que la de las células desecadas, como se ve en la figura 16 (Mitsuda *et al.*, 1970).

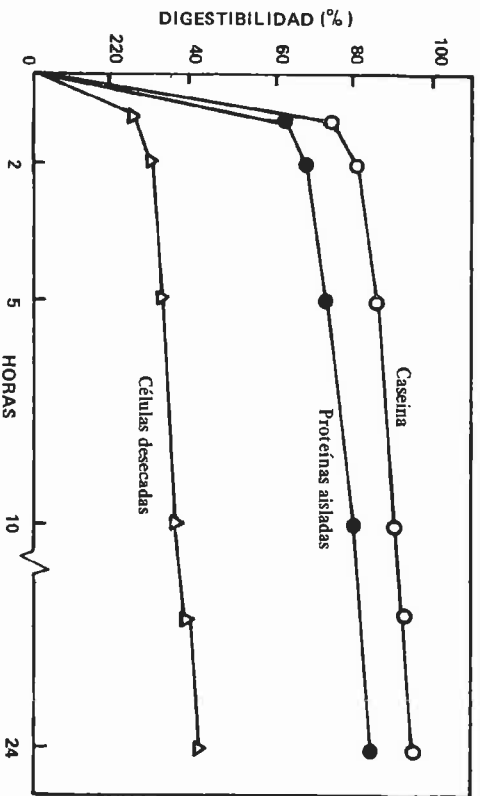


Figura 16.—Digestión, in vitro, con pepsina del concentrado proteico y de las células de levadura (Mitsuda *et al.*, 1970).

La ruptura de las células en desintegradoras de discos rotatorios es una práctica utilizada en algunas industrias. Sin embargo, algunos autores consideran que no es necesaria esta operación.

El alto contenido en ácidos nucleicos (6-11 %), da lugar a concentraciones excesivas de ácido úrico, en sangre, cuando se ingiere en cantidades superiores a 20 g diarios.

La separación del exceso de ácidos nucleicos de las S.C.P. mejora drásticamente su valor nutritivo. Uno de los problemas importantes a investigar, en este campo, es el de los procesos idóneos y económicos de aplicación industrial, para esta separación (acción de ribonucleasas, extracción alcalina, etcétera).

El mercado actual de las S.C.P. de petróleo es el de los piensos. Su aplicación para uso humano exige resolver previamente los problemas de los posibles residuos de hidrocarburos cancerígenos, que se han encontrado en

proporciones de partes por billón, los del exceso de ácidos nucleicos y la seguridad de la ausencia de otras causas de toxicidad.

Las proteínas concentradas podrían usarse como sustitutos proteicos parciales, en productos cárnicos, para enriquecer y complementar harinas, galletas, productos de panificación, pastas, etcétera, y para fabricar proteínas fibriladas, como las de soja. En todo ello, las posibilidades cuantitativas son inmensas, frente a una humanidad en expansión.

El metano del gas natural también se usa como sustrato carbonado para obtener levaduras, en fermentadores que dispersan finamente el gas en el caldo nutritivo. La empresa Shell Research Ltd, en Sittingbourne, Inglaterra, ha ensayado el proceso en planta piloto, pero ha postpuesto los planes de instalación industrial por las subidas de precio de los productos petrolíferos y la baja de la soja.

Levaduras obtenidas de metanol y etanol

Los problemas de residuos, procedentes del sustrato, que existen en las levaduras de petróleo, se eliminan cuando se utilizan el metanol o el etanol como fuentes de carbono. La solubilidad en agua y la facilidad de eliminación también son factores favorables en el proceso.

El metanol se obtiene del gas natural o del carbón, y desde el punto de vista económico, compete con las n-parafinas, porque aunque su coste por tonelada es mayor, el de la instalación necesaria es mucho menor.

La empresa japonesa Mitsubishi Gas Chemicals ha construido una planta semi-industrial de levadura de metanol, de 1.000 ton/año.

En E.E.U.U., la Phillips Petroleum Co., después de trabajar en escala piloto, ha seleccionado el metanol para sus futuros planes.

La I.C.I. ha anunciado un proyecto de planta de 100.000 ton/año, para obtener levadura de metanol, utilizando el gas natural del mar del Norte.

El etanol obtenido de etileno es también una excelente materia prima para levadura. Las empresas Mitsubishi Petrochemical Co., del Japón, y la Amoco Chemicals Co., de E.E.U.U., están trabajando en el desarrollo del proceso en plantas piloto (Davis, 1975).

La Amoco ha construido una instalación de 7.500 ton/año en Minnesota, y ha lanzado al mercado, en pequeña escala, las proteínas de levadura para consumo humano.

Utiliza levadura Torula, y se recomienda para mezclar con alimentos de pollo, carne y pescado, por su capacidad de ligar agua y grasas, y para enriquecer productos de panadería y complementar harinas de cereales, por su contenido alto en lisina.

El Instituto de Fermentaciones Industriales del C.S.I.C. está trabajando en un proceso piloto con alcohol de etileno, y utilizando la levadura *Hansenula anomala*, especialmente apta para consumir etanol, aislada entre las que producen velo, en los procesos de añejamiento de los vinos.

Otra ventaja importante de esta levadura es que tolera temperaturas altas de fermentación y ello hace que la refrigeración del fermentador, que es una cuestión crítica en estos procesos, sea mucho más simple y los cambiadores de calor mucho más económicos. Pero lo más importante es que estas proteínas son mucho más aptas para el consumo humano que las de petróleo, y su empleo para enriquecer alimentos puede darles un precio superior, al liberarlas de la competencia de los piensos.

La composición de la *Hansenula anomala* se da en las tablas 40 y 41 (Varela *et al.*, 1976).

Tabla 40

Composición cuantitativa de la levadura " <i>Hansenula anomala</i> "	
	% Sustancia seca
Humedad.	2'50
Proteína (N X 6'25).	51'20
Extracto etéreo.	0'90
Fibra bruta.	0'60
Cenizas.	7'40
Calcio.	0'07
Fósforo.	1'60
Extracto libre de nitrógeno (E.L.N.).	39'90

Es deficiente en metionina y cistina, pero es más rica en lisina que otros tipos de levadura y más pobre en lípidos.

Los valores V.B. y N.P.U. de 55 y 45 aumentan a 60 y 50 cuando se plasmoliza.

La adición de 0'23% de metionina eleva los valores a 93 y 90 respectivamente.

El empleo de etanol de fermentación puede tener fuertes restricciones económicas. Deben estudiarse, previamente, las ventajas y desventajas de convertir directamente en levaduras los substratos hidrrocarbonados fermentables.

Levaduras obtenidas sobre residuos agrícolas e industriales

Los primeros procesos de obtención de levadura-pienso se desarrollaron para resolver, al mismo tiempo, graves problemas de evacuación de residuos

Tabla 41

Composición en aminoácidos de la proteína de la levadura " <i>Hansenula anomala</i> "	
	% Proteína
Treonina.	3'67
Valina.	3'95
Metionina.	3'11
Isoleucina.	3'65
Leucina.	4'45
Fenilalanina.	3'18
Lisina.	32'77
Histidina.	6'27
Acido aspártico.	6'17
Serina.	3'18
Acido glutámico.	11'37
Prolina.	2'44
Glicina.	3'38
Alanina.	4'32
Cistina.	1'29
Tirosina.	2'77
Arginina.	1'70

contaminantes. Los desarrollos más importantes lo fueron en el aprovechamiento de las lejías residuales de las fábricas de papel. La falta de aceptación general del producto, y el alto coste de las instalaciones, ha hecho que el proceso no se haya extendido universalmente.

Otros residuos de interés son las mezclas de azúcares, los sueros residuales de las industrias lácteas, los líquidos de las fábricas de almidón de patata, los residuos de las industrias de zumos y conservas, etcétera.

Con el tiempo, es muy probable que también los residuos urbanos se utilicen como fuente de carbono, N y P, para obtener S.C.P. en procesos que sustituirán a las depuradoras de bacterias aerobias, actualmente utilizadas, que no aprovechen la materia orgánica. Parece lógico que, en el futuro, todo substrato carbonado residual deberá ser aprovechado para la alimentación. Ello exigirá procesos mejores y sobre todo mejores métodos de purificación de las proteínas finales.

Las soluciones para el aprovechamiento de los residuos agrícolas, industriales y urbanos, para obtener proteínas, son, al mismo tiempo, soluciones para el grave problema de la contaminación ambiental.

El ejemplo más significativo es el de las fábricas de papel. La obtención de pulpa de madera deja un residuo del orden del 50%. Parte del mismo son sólidos solubles (hasta 20% son azúcares) y parte es celulosa fina en suspensión. Se calcula que en 1970, la industria papelera vertió a las aguas unos 4 millones de toneladas de sólidos en suspensión. La separación de estos

sólidos por los métodos clásicos de sedimentación o filtración es muy costosa.

Más costosa es, todavía, la eliminación de los sólidos solubles de los efluentes de las fábricas. En algunas fábricas se concentran y se queman. Todo ello puede aplicarse a los costes de obtención de proteínas, haciendo más rentable el proceso. A pesar de esto, muy pocas fábricas de papel producen proteínas, y esto porque el precio alcanzado en el mercado de piensos no es rentable, y la economía del proceso muy ajustada.

En algunos países, el gobierno es muy severo en el control de la contaminación de las aguas, y algunas fábricas han tenido que cerrar, por no soportar los gastos de la descontaminación. En muchos casos, el Estado prima a las fábricas que mantienen estos procesos.

Se calcula que aprovechando los residuos de las papeleras de los Estados Unidos para obtención de levaduras, se podría cubrir 1/4 de la demanda proteica mundial, y que todas las papeleras reunidas podrían producir más proteínas que todas las demás fuentes actuales reunidas.

Con el aumento de los precios del petróleo, los procesos resultan más rentables. La empresa Attisholz ha desarrollado uno en que las lejías se fermentan primero para producir alcohol y luego para multiplicar Torula. Han construido instalaciones en varios países con producción unitaria de 3.000 ton/año de un pienso con 53-55 % de proteína.

En Finlandia, el Finnish Pulp and Paper Research Institute, ha desarrollado un proceso para obtener un concentrado con 60 % de proteínas y ha instalado una fábrica de 10.000 ton/año.

Es evidente que un mayor desarrollo tecnológico, y sobre todo, una mejora de los procedimientos de purificación, para obtener productos de mejor calidad, aptos para el consumo humano, darían un gran impulso a estos procesos que son de interés primario para la humanidad.

En este sentido, la empresa St. Regis Paper Co., ha instalado una planta de 10.000 ton/año de levadura de lejías residuales, para obtener proteínas aptas para el consumo humano.

Por otra parte, un equipo de la Universidad de Aston ha desarrollado un proceso para obtener levadura del papel recuperado, cuya celulosa es degradada y utilizada para el desarrollo de Torula.

Otros muchos residuos industriales pueden ser utilizados, y para ello se desarrollan procesos específicos. Dos ejemplos típicos son los residuos de las fábricas de almidón y de las fábricas de zumo de naranja.

Las aguas residuales de las fábricas de almidón son fuertemente contaminantes. Por ejemplo, una gran empresa de derivados de patata, contamina tanto como una ciudad mediana, y los métodos clásicos de purificación representan una carga económica muy grave. Dichas aguas contienen del 1'5 al 3'5 % de sólidos en suspensión o disueltos, con una

DBO₅ de 5.000 a 2.000 mg/l, y pueden utilizarse para la producción de S.C.P. por métodos rentables. Los laboratorios de investigación de la Svenska Socker Fabrik, en Arlov, han desarrollado un proceso llamado Symba, cuyos beneficios cubren con creces los gastos de purificación.

El proceso se basa en la acción simbiótica de dos levaduras: la *Endomycopsis fibuliger*, productora de amilasa, y que hidroliza los residuos amiláceos, y la *Candida utilis*, que consume los productos hidrolizados. Como la *Candida* crece mucho más rápidamente, el producto final está constituido principalmente por esta levadura. El substrate no necesita ningún tratamiento previo, excepto la esterilización con vapor, y el contenido en materia orgánica se reduce en el 90 %. Con los residuos de una fábrica de almidón, se producen, en Suecia, 1.500 ton/año de levadura Symba, que contiene 45 % de proteína y cuya composición en aminoácidos es semejante a la que se ha visto en las páginas anteriores. En cambio, se distingue porque la proporción de ácidos nucleicos no llega al 4'5 %, lo que permite un consumo más amplio, sin incrementos nocivos del ácido úrico. La levadura Symba puede utilizarse, como complemento proteico, en alimentos para el hombre, por su olor y sabor suaves.

Las fábricas de zumos cítricos también son muy contaminantes. Los residuos de corteza y pulpa son el 55 % de la fruta consumida. Este residuo, después de prensado, suele desecarse dando un pienso de bajo valor proteico. El líquido de prensa contiene de 5 a 10 % de azúcar, y se ha utilizado para obtener levaduras (Hendrickson y Kesterton, 1965).

Sin embargo, el líquido se vierte, en gran parte de las industrias, a los ríos, dando lugar a una contaminación grave, ya que aquél tiene una elevada demanda biológica de oxígeno (Viguera *et al.*, 1953).

El IATA ha desarrollado un proceso de obtención de levaduras en el que se utiliza como substrato el residuo total triturado (Herrández *et al.*, 1975) del que se recuperan previamente los aceites esenciales. La levadura utilizada es la *Candida utilis* que, en 16 h, alcanza el máximo crecimiento, consumiendo los azúcares del medio de cultivo.

Como fuente de N debe añadirse nitrato amónico, en la proporción de 0'17 g por g de azúcares. El pienso obtenido tiene la composición que se da en la tabla 42.

Actualmente se ensaya una asociación de hongos pectolíticos y celulolíticos con levadura. Los primeros degradan pectinas y celulosa del residuo sólido que así son utilizados por la levadura.

Los residuos agrícolas pueden ser también substratos adecuados para obtener levaduras. Así, por ejemplo, las grandes cosechas de cereales: arroz, trigo, maíz, etcétera, producen, anualmente, grandes cantidades de residuos formados principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La paja, la cascarilla de arroz y los zuros de maíz, son fuentes inmensas de hidratos de

Tabla 42

Composición del pienso de naranja IATA y del pienso normal de corteza desecada

	Pienso IATA (%) Corteza desecada	
Proteína	22'2	7
Grasa	2'2	2'9
Ceniza	11'0	9
Fibra cruda	12'0	12'2
E.L.N.	52'6	68'9

carbono, utilizables por levaduras y renovadas cada año.

El IATA estudió las posibilidades de la paja y la cascarrilla de arroz para este fin. El método se basa en una hidrólisis previa de la paja y cascarrilla, en medio ácido caliente, seguida de neutralización del líquido y siembra y desarrollo de la levadura (Viguera *et al.*, 1953).

En condiciones suaves, el 85 % de las pentosanas se hidrolizan con poca degradación a furfural. Sobre estos líquidos se desarrolla la Torula utilis, que debe aclimatarse previamente y da un rendimiento, en materia seca, del 45 % respecto a azúcares consumidos, que alcanzan el 95 % de los reductores. La Candida arborea es más para crecer sobre prehidrolizados de paja de arroz (Viguera *et al.*, 1952, 1953) (Pascual *et al.*, 1953).

En todos los casos en que se utilizan residuos impuros (lejiás de las fábricas de papel, residuos lignocelulósicos, posiblemente residuos urbanos, etcétera), la cuestión principal estriba en desarrollar métodos de purificación que permitan utilizar las proteínas producidas, directamente para consumo en alimentos para el hombre, sin problemas de toxicidad, ni de características organolépticas extrañas. Aun así, los rechazos psicológicos, por el origen de las materias primas, producirán retrasos importantes en el consumo de estas proteínas.

Algunas cosechas excedentarias podrían usarse como substratos, para la obtención de S.C.P., siempre que las condiciones económicas fueran favorables. Tal es el caso del azúcar, que se ha propuesto como substrato, para obtener proteínas de calidad para uso humano.

La producción mundial de azúcar está regulada para mantener los precios y su consumo se resiente por la tendencia a la limitación de la dieta calórica, contra la obesidad, en los países desarrollados. El descubrimiento de la monelina, proteína obtenida de un *Dioscoreofilum* cuyo poder edulcorante es 3.000 veces mayor que el de la sacarosa, puede afectar más todavía al comercio mundial de azúcar. Muchos países del tercer mundo dependen de la producción de azúcar, y una nueva forma de utilización podría ser vital para sus economías.

Dos formas se proponen:

- Producir levadura muy pura con azúcar de cuarto grado de refinación, y
- Extraer parcialmente la remolacha o la caña, obteniendo una fracción de sacarosa fácilmente refinable, y con menor coste de refinación, y dedicar el residuo a la obtención de una proteína de menor calidad. Se calcula que se podrían obtener, anualmente, 50 millones de toneladas de un producto con 30 % de proteínas.

Proteínas de bacterias, hongos y algas

Algunas bacterias son apropiadas para la obtención de proteínas, por su alto contenido en éstas (50-85 %), por su gran velocidad de multiplicación (hasta 80 generaciones por 24 h), y porque pueden crecer a temperaturas más elevadas que las levaduras, con las consiguientes ventajas en los equipos de refrigeración. Sin embargo, hasta ahora, no se han producido desarrollos industriales importantes de los procesos que multiplican bacterias.

Varias empresas (E.S.S.O., Nestlé, Formosan Petrol Corp.) han desarrollado procedimientos utilizando especies de Pseudomonas, sobre substratos de n-parafinas. El producto tiene 65-75 % de proteínas, 10-15 % de grasas, 10-12 % de hidratos de carbono y 6-12 % de cenizas.

La pautas de aminoácidos esenciales es parecida a la de las levaduras, pero con la ventaja de que contienen más metionina (2 %), triptófano (0'9 %) y cistina (0'6 %) (tabla 46).

El contenido en ácidos nucleicos de las bacterias es, en general, muy alto, llegando al 15-16 % en el producto seco.

La F.P.C. seleccionó, entre un gran número de bacterias del suelo, una Pseudomona P. 5401 de gran rendimiento, para las fracciones bajas de petróleo.

Más interés tendrá, en el futuro, el aprovechamiento como substratos de residuos celulósicos. Esta transformación se realiza en los rumiantes, en los que 1 Kg de urea sustituye a 5-8 Kg de piensos proteicos.

Para utilizar residuos agrícolas como substratos celulósicos, en la fabricación industrial de proteínas bacterianas, es necesario seleccionar bacterias celulolíticas que, al mismo tiempo, sean buenas sintetizadoras de proteínas, o bien utilizar asociaciones de bacterias o de bacterias y hongos, o de bacterias y levaduras.

Un equipo de la Universidad de Louisiana ha desarrollado un proceso utilizando bagazo de caña de azúcar. Entre las especies seleccionadas están varias razas de *Sporocitofaga mixococoides* y de *Corinebacterium fimi*.

En estas especies, el pH del medio de cultivo no puede desviarse mucho

de la neutralidad, y las temperaturas óptimas son del orden de 37-45° C.

De gran interés son las especies bacterianas que crecen sobre mezclas de aceites y agua, que con un residuo contaminante de muchas industrias, y que van desde los vertidos de las fábricas de autómóviles hasta los alpechinos de las de aceite de oliva, y en los que las proteínas producidas pueden cubrir los gastos de descontaminación. Otros substratos utilizados son el metano y el metanol.

Algunas especies de Corinebacterias son interesantes porque, sobre un substrato con acético, producen cantidades importantes de lisina, de gran valor para enriquecer harinas de cereales.

Como hemos visto, la fabricación de proteínas bacterianas es una industria prometedora, pero exige la investigación de procesos adecuados de aislamiento y purificación de las proteínas y de su transformación en productos gratos y sin ninguna toxicidad.

Los hongos crecen bien en una gran variedad de substratos y en un amplio margen de temperatura y de pH, pero su multiplicación es más lenta que la de las levaduras y bacterias.

La capacidad de muchas especies de hongos para hidrolizar celulosa y otros polisacáridos es muy interesante porque permite su asociación con levaduras o bacterias para la producción de proteínas de residuos agrícolas e industriales (bagazos, paja, cascarilla, cortezas de naranja, etcétera). Especies de *Mirothecium* que crecen a 30-35° C degradan la celulosa muy rápidamente.

La posibilidad de desarrollar instalaciones pequeñas y rentables, capaces de utilizar residuos en las propias granjas se está considerando por diversos Institutos de investigación.

Por otra parte, los hongos tienen una proporción importante (30-60 %) de proteínas de buena calidad (tabla 46).

Los aminoácidos limitantes son, como en las levaduras y bacterias, la metionina y el triptófano, y sus proporciones son más parecidas a las de las levaduras. El contenido en ácidos nucleicos es bajo, y no da lugar a problemas de ácido úrico.

Las algas son otra fuente potencial de proteínas que, en principio, puede ser la solución más adecuada para la alimentación futura de la Humanidad. Las algas fotosintéticas fijan el CO₂ y la energía solar, y realizan la síntesis de proteínas, grasas e hidratos de carbono a velocidades que son cientos de veces mayores que las de las plantas superiores. Mediante su cultivo, se producen alimentos en un proceso inverso al de su consumo respiratorio y catabólico, completando así un ciclo natural, en el que la única aportación externa es la energía solar. El ciclo completo, utilizando el CO₂ y los desechos humanos, se ha estudiado para los vehículos espaciales.

Sin embargo, las dificultades tecnológicas para realizar el proceso

industrialmente son importantes, y están sin resolver, por lo que la producción en gran escala no parece probable en un futuro próximo.

En algunos países orientales, sobre todo en Japón, se utilizan, desde antiguo, algas multicelulares como alimento; y en la guerra su consumo fue importante. Actualmente, en el Japón se venden comprimidos de algas como alimento dietético vitamínico.

La multiplicación de algas autótrofas monocelulares exige una fuente económica de CO₂, aportación de N asimilable, según las especies, fósforo y elementos minerales, iluminación adecuada y temperatura y pH convenientes. Las dificultades mayores son la saturación continua del medio con CO₂, manteniendo un equilibrio carbonato-bicarbonato-CO₃H₂ y la iluminación intensa de las células en crecimiento, que al aumentar en concentración, impiden el paso de la luz (tabla 43).

Tabla 43

Ejemplo de especificaciones por la multiplicación de algas ^a

NO ₃ K.	0'03 mol/l
(NO ₃) ₂ Ca.	0'001 mol/l
PO ₄ H ₂ K.	0'004 mol/l
SO ₄ Mg.	0'01 mol/l
CO ₂	5 % en aire inyectado a 100-200 cm ³ /minuto
Fe-EDTA.	2.10 ⁻⁵ mol/l
BO ₃ H ₃	2.10 ⁻⁵ mol/l
Cl ₂ Mn.	5.10 ⁻⁶ mol/l
SO ₄ Zn.	5.10 ⁻⁷ mol/l
VO ₃ NH ₄	1.10 ⁻⁷ mol/l
Cl ₂ Co.	1.10 ⁻⁷ mol/l
MO ₇ O ₂₄ (NH ₄) ₆	1'5.10 ⁻⁸ mol/l
pH.	5'2
Iluminación.	8,000 lux
Temp.	28-30°
Organismo.	<i>Clorella sorokiniana</i>

^a Coassini (1974).

Las algas utilizadas son varias; las más importantes son: *Clorellas* y *Scenedesmus*, o también *Chlamidomonas*, *Coelostrum*, *Crisofita*, *Nostocales*, *Anabaena* y *Spirulina*. Las condiciones varían según las especies. Por ejemplo, la *Spirulina* crece a pH 9'5-10, lo que tiene interés para ciertos residuos. En la tabla 44 se dan las especies más estudiadas.

Estas pueden cultivarse también en medio heterótrofo, con un substrato de carbono orgánico y mixto con CO₂. Este tipo de cultivo tiene interés como medio de depuración utilitaria de aguas residuales urbanas e industriales.

Tabla 44

Especies de algas utilizadas para su multiplicación

- Clorela elipsoidena
- Clorela sorokiniana
- Clorela vulgaris
- Spirulina maxima
- Spirulina platensis
- Anabaena cylindrica

Las algas multiplicadas en medio autótrofo tienen mayor contenido proteico (50-65 %) que las que consumen carbono orgánico (38-45 % de proteínas), mientras que éstas son más ricas en carbohidratos y tienen más fibra celulósica. El aumento de la temperatura del medio da lugar a un número mayor de células de tamaño menor, manteniéndose igual la cantidad total de biomasa.

Cuando la relación C/N, en el medio, se eleva a 20/1 y la temperatura a 40° C en cultivos de Clorela, la clorofila va desapareciendo también, y los productos obtenidos son más blancos y son más adecuados para la preparación de concentrados proteicos. La cantidad de proteínas producidas por la biomasa es la misma, pero el aprovechamiento del N del medio es mejor.

El paso a la escala industrial en los cultivos de algas tiene grandes dificultades. Se proponen dos métodos: uno en fermentadores de ciclo cerrado y otro en lagunas abiertas. En ambos casos, el cultivo puede ser total o parcialmente heterótrofo.

Los procesos autótrofos deben aprovechar fuentes muy baratas de CO₂. Tales podrían ser los gases de las fábricas de amoníaco (obtención del H₂) las de cemento, las centrales térmicas, siderúrgicas, etcétera.

Se calcula que 100 toneladas de CO₂ pueden dar cerca de 50 toneladas de proteína. La introducción de este CO₂ en el medio y su iluminación en capa delgada son los problemas tecnológicos que deberán resolverse para que estos procesos alcancen un importante desarrollo industrial.

El cultivo en balsas tiene la dificultad de la gran superficie necesaria y la de las contaminaciones.

Se calcula que pueden obtenerse 80 toneladas de algas secas con 50-60 % de proteínas por Ha y año, lo cual es un rendimiento por unidad de superficie muchas veces mayor que el de los cultivos agrícolas (una cosecha de maíz produce alrededor de 1^o5 toneladas de proteínas/Ha). El proceso es más interesante para los países con gran insolación, temperaturas medias altas y escasez de agua. También es apropiado para terrenos pantanosos y para marismas, en donde pueden asociarse a piscicultivos.

En las marismas de la costa occidental de Italia se está ensayando una

explotación de este tipo, y en el lago Texcoco de Méjico se recolectó Spirulina, que crece en él espontáneamente, y se utiliza para enriquecer alimentos, para uso humano, en proporción del 10-20 %.

Algunas empresas petroquímicas que han adquirido gran experiencia en el cultivo de levaduras están realizando investigaciones sobre multiplicación de algas, aunque no utilizan substratos de petróleo. En Francia se ha construido una planta piloto para cultivo de Spirulina, con una producción de 1 ton/día. En ella se ensayan métodos para procurar una iluminación homogénea a toda la masa de células mediante agitación, circulación y flujo en lámina delgada. Es evidente que la economía del proceso en gran escala exige la utilización de la luz solar. La gran ventaja de las algas es la de reciclar el CO₂ de la combustión, fijando de nuevo la energía de la radiación del sol.

Por su composición las algas constituyen una fuente de nutrientes de gran valor. En la tabla 45 se dan algunos datos sobre ello.

Tabla 45

Composición de las algas secas, multiplicadas en medio autótrofo y heterótrofo^a

	%	
	Heterótrofo	Autótrofo
Proteínas.	40-45	55-65
Carbohidratos.	45-50	15-30
Grasas.	3- 5	4- 7
Cenizas.	4- 5	8- 9
Fibra.	1 ^o 5- 4	1- 2
Humedad.	3- 4	4- 5

^a Coassini (1974).

La proporción de aminoácidos esenciales es buena, como se ve en la tabla 46.

Respecto al PER de las proteínas de Clorela se ha dado la cifra de 2'2, superior al de soja, y un poco inferior al de la leche deshidratada.

El contenido en vitaminas es muy importante, siendo especialmente ricas, sobre todo, en β-caroteno, y también en tiamina, riboflavina, nicotínico, biotina y cobalamina (tabla 47).

Las pruebas de alimentación humana han dado los límites de tolerancia entre 35 y 100 g por día. Uno de los problemas que se presentan es la baja digestibilidad de la pared celular celulósica. En algunos casos, se ha señalado un exceso de proteínas poco asimilables y de purinas y pirimidinas y las ingestiones altas de algas producen molestias gastro-intestinales.

La gran capacidad de las algas para la depuración de aguas y para la biosíntesis proteica, hacen prever un desarrollo fuerte de la investigación

Tabla 46

Aminoácidos esenciales en proteínas microbianas

A.A. g/100 g prot.	Levaduras			Algas			Hongos		Bacterias			
	Torula ^a	Proteína BP (Candida lipolitica) ^b	Proteína St. regis (Torula) ^c	Candida utilis ^d	Clorela vulgaris ^e	Clorela elipsoidea ^f	Spirulina maxima ^g	Fusarium ^h	Rhizopus ^d	Proteína Nestlé ^c	Pseudo-monas ⁱ	Pauta FAO
Isoleucina.	7'5	5'3	6'4	3'8	3'5	4'5	5'8	3'5	3'5	3'6	3'8	4'2
Leucina.	7'1	7'8	8	7'6	6'1	9'3	8'3	4'5	6'1	5'6	6'6	4'8
Lisina.	8'3	7'8	8'5	4'8	10'2	5'9	4'5	5'5	5'4	6'5	4'3	4'2
Metionina.	1'7	1'6	1'5	1'1	1'4	0'6	1'8	1'6	1'4	2'0	1'3	2'2
Fenilalanina.	4'8	4'8	5'1	8'6	2'8	4'2	5'2	2'5	2'8	2'9	3'3	2'8
Treonina.	5'2	5'4	5'1	5'4	2'9	4'9	4'6	3'3	3'4	4	4'1	2'8
Triptófano.	1'3	1'3	1'4	2'4	2'1	—	1'1	0'7	1'4	0'9	1'2	1'4
Valina.	5'7	5'8	5'6	3'8	5'5	7'9	6'6	4	3'9	4'5	3'5	4'2

^a Inskeep *et al.* (1951).^b Shacklady (1969).^c Jones (1974).^d Sobre H de C-Jones (1974).^e Powden (1954).^f Ulsar (1965).^g Garson *et al.* (1969).^h Thatcher (1954).ⁱ Sobre gas-oil-Jones (1974).

Tabla 47

Contenido vitamínico de algas Clorela (mg/Kg)^a

Caroteno.	300-500
Tiamina.	6-10
Nicotinamida.	50-250
Riboflavina.	25-40
Biotina.	1-2
Vitamina B ₁₂	0'2-0'3
Piridoxina.	20-25
Pantoténico.	15-25
Vitamina C.	100-300

^a Coassini (1974).

científica y tecnológica en este campo en los próximos años.

El futuro de las proteínas de microorganismos depende de la investigación. Por una parte, para desarrollar procesos industriales eficaces y rentables, y por otra, para encontrar métodos de fraccionamiento y purificación que permitan conseguir proteínas de buena digestibilidad, carentes de efectos perjudiciales y de toxicidad crónica (ácido úrico, efectos gastro-intestinales, etcétera), libres de contaminantes cancerígenos o de cualquier otro efecto nocivo y agradables al paladar, a la vista y al olfato.

Estas proteínas podrán convertirse en productos fibrosos y en alimentos compuestos; de amplia aceptación para consumo humano y directo, y las calidades inferiores podrán dedicarse a piensos.

En el futuro, se ve posible la asociación simbiótica de algas y microorganismos fijadores de N₂ del aire, como una solución total para la biosíntesis de alimentos utilizando la energía solar.

Ya se conoce que especies de Anabaena y Nostocales pueden asimilar N₂ atmosférico, y se han hecho ensayos, con ellas, para autofertilizar cultivos de arroz.

Por otra parte, las técnicas de cultivos de protoplastos permiten la incorporación de material genético de una célula a otra, y aunque las dificultades experimentales son todavía muy grandes, se ve posible la obtención de especies que sean a la vez fotosintéticamente fijadoras de CO₂ y de N₂.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, J. L. Austr. J. exp. Agric., 8, 121 (1968).
- Barber, S., Rev. Agr. Tecn. Alim., 5/1, 6 (1965).
- Barber, S., Benedetto, C., Guardiola, J. L. y Hernández, D. Rev. Agr. Tecn. Alim., 7/3, 346 (1967).
- Barber, S. Rev. Agr. Tecn. Alim., 8/3, 293 (1968).
- Barber, S., Navarro, L. y Tortosa, E. Rev. Agr. Tecn. Alim., 12/2, 232 (1972).
- Barber, S., Navarro, L. y Tortosa, E. Rev. Agr. Tecn. Alim., 12/4, 597 (1972).
- Barber, S. y Benedetto, C. Rev. Agr. Tecn. Alim., 13/4, 502 (1973).
- Barber, S., Flores, A., Tortosa, E., Camacho, J. M. y Cerni, R. Intern. Conf. Rice By-products. Valencia (1974).
- Barber, S., Camacho, J. M., Cerni, R., Tortosa, E. y Primo, E. Int. Conf. Rice By-products Utiliz. Valencia (1974).
- Barber, S., Flores, A., Tortosa, E., Camacho, J. M. y Cerni, R. Int. Conf. Rice By-products Utiliz. Valencia (1974).
- Barber, S., Benedetto, C., Flores, M. J. y Montes, J. J. 60° Ann Meet. Am. As. Cer. Chem. Kansas City (1975).
- Barber, S., Pineda, J. A. Datos no publicados (1976).
- Bander, A. E. Rev. Nutr. Food Sc., 3, 12 (1969).
- Benedicto, C., Martínez, J. y Barber, S. Int. Conf. Rice By-products Utiliz. Valencia (1974).
- Benedicto, C. y Barber, S. 60° Ann Meet. Am. As. Cer. Chem. Kansas City (1975).
- Boyer, R. A. U.S. Pat. 2,628 (1954).
- Braun, A. C. Phytopatology, 45, 659 (1955).
- Brown. USDA Foreign Agricultural Economic Report, no. 11 (1963).
- Brown. USDA Foreign Agricultural Economic Report, no. 25. Washington DC (1965).
- Cagampang, G., Cruz, L., Santiago, R. y Juliano, B. Cereal Chem., 43, 145 (1966).
- Carengian, D. y Sutarja, P. B. Nat. Appl. Sc. Bull., 22, 86 (1970).
- Carlson, P. S. Science, 168-487 (1970).
- Carlson, Smith y Dearing. Proc. Natl. Acad. Sc. U.S.A., 69, 2292 (1972).
- Carlson PNAS (USA), 70, 598 (1973).
- Casas, A., Barber, S. y Castillo, P. Rev. Agr. Tec. Al., 3/3, 241 (1963).
- Coassini, L. Ind. Alim., 2, 64 (1974).
- Colom, J., Primo, E. y Viguera, J. M. An. R. Soc. Esp. Fis. y Quim., 49B, 809 (1953).
- Corden Food Nutr. Not. Rev., 27, 77 (1970).
- Costa, E. Organismos Unicelulares fuentes de proteínas. Madrid (1974).
- Crampton, E. W. y Harris, L. E. Applied Animal Nutrit. 2.ª Ed. p. 664. Freeman (1969).
- Champagnat, A., Vernet, C., Lainé, B. y Filosa, J. Nature, 197, 13 (1963).
- Chen, L. y Houston, D. F. Cereal Chem., 47, 72 (1970).
- Davis, J. C. Chem. Eng. N., 12, 87 (1975).
- FAO. "Six Billions to Feed". Roma (1962).
- FAO-OMS. Roma (1965).
- FAO-OMS. Roma (1966).
- FAO. Production year-book Vol. 23. Roma (1969).
- FAO. Report Joint Committee. Tech. Rep. Series 522. Roma (1973).
- Fito, P. J., Flores, A., Amutio, G., Camacho, J. M. y Barber, S. Int. Conf. Rice By-products Utiliz. Valencia (1974).
- Fito, P. J. y Sanz, J. Ibid. (1974).
- Fowden, L. Ann Bot., 18, 257 (1954).
- Garson, J., Margrot, M. y Busson, F. Med. Trop., 29, 536 (1969).
- Gómez, J. L. y Primo, E. An. R. Soc. Esp. Fis. y Quim., 49B, 801 (1953).
- Gómez, J. L., Colom, J., Lafuente, B. y Primo, E. An. R. Soc. Esp. Fis. y Quim., 51B, 291 (1955).
- Hamdy, M. M. J. Am. Oil Chem. Soc., 51, 85A (1974).
- Hendrickson y Kesterton. Bull. 698. Food Agr. Inst. Univ. Florida (1965).
- Hernández, E., Legorburu, M. B., Lequerica, J. L., Martín, E. y Lafuente, B. Rev. Agr. y Tecn. Alim., 15/3, 415 (1975).
- Horan, F. E. J. Am. Oil Chem. Soc., 51, 67A (1974).
- Houston, D. F. y Mohammad, A. Rice J., 69/8, 20 (1966).
- Houston, D. F., Allis, M. E. y Kohler, G. O. Cer. Chem., 46, 527 (1969).
- Houston, D. F. y Kohler, G. O. Nutr. Prop. Rice Nat. Acad. Sc. Washington, D.C. (1970).
- Inskip, G. C., Wiley, A. J., Holdetby, J. M. y Hughes, L. P. Ind. Eng. Chem., 43, 1702 (1951).
- Irwin, M. I. y Hegsted, D. M. Journ. Nutr., 101, 385 (1971).
- Jones, A. World Protein Resources. Med. and Tech. Publ., 23-261 (1974).
- Juliano, B. O. Rice Chem. and Tech., p. 16. Am. Assoc. Cer. Chem. (1972).
- Kharbas et al. Food Tech., 150 (1972).
- Kies, C. y Fox, H. J. Food Sc., 36, 841 (1971).
- Kik, M. C. y Williams, R. R. Nat. Acad. Sc. Nat. Res. Coun. Bull., 112. Washington, D.C. (1945).
- Kik, M. C. J. Agr. Food Chem., 4, 170 (1956).
- Kik, M. C. Agr. Exp. Stat. Bull. Univ. Arkansas, 589 (1957).
- Kik, M. C. Rice Journ., 20, (1962).
- Kik, M. C. Agr. Exp. Stat. Bull. Univ. Ark., 698 (1965).
- Klapka, M. R., Duby, G. A. y Paweek, P. L. J. Am. Diet. Ass., 34, 1317 (1958).
- Kofranvi, E. y Müller-Wecker, H. Hoppe Seyl. Ztsch. Phys. Chem., 325, 60 (1961).
- Liener, I. E. Soybeans Chem. and Techn. Vol. I, p. 203. Avl. Pub. Co. Inc. (1972).
- Linn, L. Protein-enriched Cereal Foods, p. 154. Am. Ass. Cer. Chem. (1969).
- Lipinsky, E. S. y Litchfield, I. H. Food Techn., 5, 16 (1974).
- Lorimer, G. H. y Andrews, T. J. Nature, 243, 359 (1973).
- Matil, K. F. J. Am. Oil Chem. Soc., 51, 81A (1974).
- Mendoza, B. y Sutarja, P. B. Nat. Appl. Sc. Bull., 22, 94 (1970).
- Mihara, S. Chem. Eng. Rev., 36, 42 (1970).
- Milnet, M. FAO-OMS. Bol. núm. 5, 39 (1970).
- Mitsuda, H., Tonomura, B. y Yasunoto, K. Proc. III Congr. Food Sc. Techn., 299 (1970).

- Nat. Acad. Sci. Recommended Dietary Allowances. 8.^a Edic. Washington (1974).
- Nasset, World Rev. Nutr. Diet., 14, 134 (1972).
- Mickell, L. G. y Torrey, J. G. Science, 166, 1068 (1969).
- Nishihara, S. y Tashiro, T. Seik. Kag. (trad. inglesa), 5, 1 (1960).
- Oomen. Proc. Nutr. Soc., 29, 197 (1970).
- Panda, B. y Gupta, S. M. J. Food Sc. Techn. Mysore II, 120 (1965).
- Pascual, F., Alcalá, A., Casas, A. y Primo, E. An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím. XLIX, 789 (1953).
- Pascual, F., Lafuente, B. y Primo, E. X Congr. Int. Ind. Agr. y Alim. (1954).
- Pascual, F. y Primo, E. An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím., 51B, 301 (1955).
- Primo, E., Casas, A., Barber, S. y Benedito, C. Rev. Agr. Tec. de Alim., 3/1, 22 (1963).
- Primo, E., Barber, S. y Tortosa, E. Rev. Agr. Teen. Alim., 5/4, 458 (1965).
- Primo, E., Barber, S., Benedito, C. y Hernández, D. Rev. Agr. Teen. Alim., 6/4, 468 (1966).
- Primo, E., Barber, S. y Benedito, C. Rev. Agr. Teen. Alim., 10/4, 499 (1970).
- Primo, Tadeo, Ribó y Sendra. Rev. Agr. Teen. Alim., 16/1, 69 (1976).
- Ronda, E. y Soto, E. Rev. Nutr. An. III/2, 92 (1965).
- Shacklady, C. A. Food Man, 44, 36 (1969).
- Stewart, G. A. J. Aust. Inst. Agric. Sc., 36, 85 (1970).
- Tamura, S. y Kennochi, N. Nippon Nogikagaku Kaishi (trad. inglesa), 37, 753 (1963).
- Tortosa, E., Antich, J., Camacho, J. M., Mañes, M., Martínez, J. y Barber, S. Int. Conf. Rice By-products Util. Valencia (1974).
- Usaka, S. W. Rev. An. Prod., 4, 11 (1965).
- United Nations. Population studies no. 41 (1969).
- Varela, G. y Escrivá, J. Int. Conf. Rice By-products. Utiliz. Valencia (1974).
- Varela, G., Mataix, F. J. y Navarro, M. P. Rev. Agr. Teen. Alim., 16/2, 265 (1976).
- Viguera, J. M., Lafuente, B. y Primo, E. An. R. Soc. Fís. y Quím., B, XLVIII, 911 (1952).
- Viguera, J. M., Lafuente, B., Primo, E. y Casas, A. Rev. Cienc. Apl., 30, 22 (1953).
- Viguera, J. M., Lafuente, B., Primo, E. y Casas, A. Rev. Cienc. Apl., 31, 142 (1953).
- Viguera, J. M., Lafuente, B., Casas, A. y Castellote, J. An. R. Soc. Fís. y Quím., B, XLIX, 245 (1953).
- Viguera, J. M., Casas, A. y Primo, E. Microbiol. Esp., 6/2, 129 (1953).
- Willert, D. J. von. Oecología, 14, 127 (1974).
- Wolf, N. J. y Cowan, J. C. Soybeans as a Food Sourcee Butterworths (1971).
- Yokochi, K. Informe UNIDO. Viena (1972).
- Zelitch, I. Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 70, 579 (1973).

Discurso de contestación del Académico Numerario

Ilmo. Sr. Prof. Dr. D. ENRIQUE HERNANDEZ GIMENEZ

Excelentísimo Señor Presidente
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores
Ilustrísimos Señores Académicos
Señoras, Señores

Permítame iniciar mi intervención recordando las palabras pronunciadas en el año 1968 con motivo de mi ingreso en esta Real Academia de Medicina. Decía entonces: "Si difícil es encontrar en la vida un maestro que nos oriente y guíe en nuestro camino, yo he tenido la gran fortuna de encontrarme con dos de ellos: Vicente Callao (q.e.p.d.), y Eduardo Primo. En el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Eduardo Primo, maestro de investigadores, inculcó en lo más profundo de mi ser el amor a la investigación. Su ejemplo nos ha servido en todo momento de guía e imagen en nuestros trabajos y puedo decir, a los varios años de estar con él, que al lado de Eduardo Primo tengo diariamente la suerte de aprender a investigar". Hoy, nueve años después, ingreso en esta Real Academia al haberse conferido a ésta la potestad de que **hombres relevantes de campos afines a la Medicina puedan formar parte de ella. Junto a la satisfacción personal y casi diríamos orgullo que siento al glosar la personalidad científica, profesional y humana de Eduardo Primo, quiero agradecer a la Academia el alto honor que me confiere al haberme elegido para dar la bienvenida en esta solemne recepción del nuevo académico.**

Hablar de Eduardo Primo, de sus trabajos y actividades, no es problema; pero la dificultad estriba en trazar en unos minutos los vigorosos contornos de su persona y hacerlos llegar a Vds., dando una imagen real de la gran personalidad humana y científica que encierra y el ejemplo que supone su vida dedicada al estudio y la investigación.

Nacido en 1918 en Mazarrón, donde su padre era Maestro Nacional, pasa pronto a residir en Carlet, su verdadera patria, donde estudia la Primera Enseñanza y el Bachillerato bajo un único profesor: su padre.

Estudia la Licenciatura en Ciencias Químicas en la Universidad de Valencia. Por penosas circunstancias familiares, en los últimos años de la carrera tuvo que simultanear el estudio y el trabajo, dando clases en una

escuela de primera enseñanza, colegios y clases particulares de Facultad. El final de sus estudios de Licenciatura son coronados con el Premio Extraordinario.

A los 23 años era profesor de Química en la Universidad de Valencia, donde varios centenares de médicos valencianos recibieron sus enseñanzas en esta época. Hizo el Doctorado en la Universidad de Madrid y completó su formación con el Prof. Reichstein, Premio Nobel de la Universidad de Basilea.

Sus estudios y afición a la química de productos terapéuticos le permiten, por primera vez en España, sintetizar el P.A.S. (para-amino-salicílico), obtenido con materias primas de nuestra industria nacional. Importantes son, en este tiempo, sus trabajos sobre compuestos de aluminio que alcanzan rápidamente amplia difusión como especialidades farmacéuticas.

En 1950 gana, por oposición, la plaza de Colaborador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, al cual pertenecía desde hacía cinco años en calidad de becario. Al final del mismo año es nombrado Investigador.

Ha sido el creador del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, que es hoy una institución dedicada al estudio de problemas agrícolas e industriales al servicio de Valencia, la región valenciana y de toda España. El Instituto comenzó con un puñado de investigadores instalados en el sótano de la Facultad de Ciencias y dirigido por Eduardo Primo, hasta que hace dos años, temporalmente, marcha a Madrid. Hoy es un gran centro conocido en todo el mundo, con más de 100 personas dedicadas a la investigación. Percatado de la gran importancia de la alimentación, crea la Escuela de Tecnología de Alimentos, donde por ella han pasado más de 300 postgraduados, extendidos por las principales Universidades e industrias de alimentos de España e Hispanoamérica. Sus estudios han sido reconocidos oficialmente por el Ministerio de Educación y Ciencia. El prestigio alcanzado por el curso de Tecnología viene avalado por el hecho de que más del cincuenta por ciento del alumnado procede de fuera de nuestra patria.

Fundó la Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, donde han salido a la luz todos los trabajos realizados por él y sus colaboradores. Ha preferido siempre la publicación en su revista española para dar a conocer, al mundo científico, sus investigaciones.

En 1965, gana por oposición la cátedra de Química Agrícola en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia. Posteriormente ha sido Vicerrector de la Universidad Politécnica.

Ha publicado cuatro libros y más de 200 trabajos científicos. Estos trabajos se refieren, principalmente a la industrialización de productos agrícolas y a la aplicación de la Química a la producción agrícola. De ellos,

los más importantes para la Región Valenciana son los que se refieren al arroz, a los cítricos, a las conservas vegetales, a la fertilización de los naranjos y al estudio de la tristeza y demás virosis de nuestros cítricos. Algunos de estos trabajos han sido subvencionados por la Caja de Ahorros y las Diputaciones del Reino de Valencia. Innumerables son los trabajos de divulgación publicados.

Ha dirigido 40 tesis doctorales sobre diversos aspectos de la Química Agrícola y la Tecnología de Alimentos.

Ha sido invitado a pronunciar numerosas conferencias en España y en Universidades de Alemania, Estados Unidos, Chile, Argentina y Portugal.

Ha obtenido el Premio "Cerdá Reig" de la Excma. Diputación de Valencia, Medalla Gascó Oliag al mérito profesional del Colegio de Químicos de Valencia, Premio "Juan de la Cierva" de Tecnología, Ayuda March para estudios sobre alimentos liofilizados, Premio Internacional de París a la invención en el campo de los alimentos, por una harina de capa de arroz elaborado enriquecida en proteínas, Premio "Suances" a la labor investigadora en favor de la industria española, y Premio "Francisco Franco" de investigación por sus trabajos sobre arroz.

Posee las grandes cruces de Alfonso X el Sabio, al Mérito Civil y al Mérito Agrícola.

En 1974, después de haber sido tres años Vicepresidente y anteriormente haber ocupado diversos cargos directivos, es nombrado Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, máximo organismo rector de la investigación en España, cargo que le obliga a tomar una decisión que personalmente le cuesta mucho: dejar, aunque sea momentáneamente, a su querida Valencia. Por este motivo sabemos de la repetida renuncia a otros importantes cargos públicos que le fueron ofrecidos por la Administración. Dedicado a organizar y reestructurar nuestra investigación, ha sentido las bases por las que se registró la investigación española del futuro.

La importancia de sus investigaciones en el campo de la Tecnología de Alimentos le llevan en 1963 a ser nombrado miembro del Comité Ejecutivo de la Unión Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. En 1974 es presidente y organizador del IV Congreso Mundial de Ciencia y Tecnología de Alimentos, que reunió en España a más de 3.000 científicos de todo el mundo. Este mismo año, por unanimidad entre los 56 países que son miembros, es nombrado Vicepresidente de la Unión Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, cargo que, por primera vez, desempeña un español.

Preocupado por la Tecnología de Alimentos, una importante actividad investigadora de su vida ha sido dirigida en esta dirección. La aportación de alimentos a la Humanidad es uno de los más graves problemas con que se va a enfrentar el hombre en los próximos años. La falta de alimentos en

determinadas zonas del mundo empieza ya a sentirse, aunque se debe más a la mala distribución que a una verdadera escasez. Con la producción actual de alimentos y el ritmo de crecimiento de la población, la falta de proteínas va a crear graves problemas de desnutrición. Como acabamos de ver por los propios resultados de sus trabajos en el campo del arroz y por las futuras y próximas metas a alcanzar apuntadas en la magistral lección de Eduardo Primo, la investigación en Tecnología Agrícola y de Alimentos sabrá aumentar la producción y calidad de los mismos para que puedan subsistir los nuevos seres que pueblen la tierra. Hoy mismo, si las 700 refinerías de petróleo que hay en el mundo instalasen una fábrica de levadura para utilizar determinados subproductos, la producción de proteínas aumentaría hasta límites insospechados. El exceso de ácidos nucleicos de las proteínas de levaduras, que es un inconveniente para su uso, está en fase de corrección, y la investigación nos da ya métodos para su reducción a niveles tolerados por el hombre. Los problemas de textura y aromatización para hacer este producto agradable organolépticamente, son de más fácil solución. El camino está iniciado y es prometedor el resultado final.

Esta es, a grandes rasgos, la vida del hombre que hoy nos llega a la Academia. Sobrio, sencillo, modesto y amante de su tierra, encierra una de las más brillantes personalidades científicas de la España de los últimos tiempos. Paso a paso, con su inteligencia y trabajo infatigable, ha escalado los más altos puestos de la Investigación española y mundial. Si la comunidad científica que trabaja en el campo de la Tecnología de Alimentos tiene como principal objetivo el que los hombres dispongan de más y mejores alimentos y a más bajos costos, Eduardo Primo ha contribuido a suministrar a la Humanidad, por lo menos, unas migajas de su ración diaria en condiciones más seguras y nutritivas. Nuestra enhorabuena. He dicho.