CARACTERISTICAS QUIMICAS Y BIOQUIMICAS DE LA BIOMASA MICROBIANA

Carlos Rolz[1]

Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Guatemala, Guatemala, C.A.

RESUMEN

La composición química y bioquímica de la biomasa microbiana determinará su potencial nutricional, el cual varía según las diferentes especies de microorganismos, la fuente de nutrientes, y la forma empleada para su crecimiento, así como también por efectos del proceso durante el propio crecimiento o posteriores durante la recuperación de la biomasa. Se detalla la composición química de los productos de biomasa microbiana producidos comercialmente o en instalaciones piloto demostrativas, clasificándolos según procedencia de algas, bacterias, levaduras u hongos. Finalmente, se reseña información sobre el efecto que algunos parámetros ejercen en la composición de la biomasa, que ilustra tendencias observadas experimentalmente, sin llegar a constituir una revisión exhaustiva de la literatura técnica.

INTRODUCCION

La biomasa de microorganismos ha sido considerada desde el punto de vista nutricional como una de las posibles fuentes no tradicionales de proteína. Este hecho se refleja en el término comúnmente empleado para identificarla: "PUC" (proteínas unicelulares), traducido literalmente del equivalente anglosajón "SCP" (single-cell protein), que fuera concebido y universalmente aceptado en dos reuniones de expertos, celebradas a nivel internacional (1, 2).

No obstante, aparte de la proteína, la biomasa microbiana contiene cantidades apreciables de carbohidratos y lípidos, generalmente

Manuscrito modificado recibido: 29-10-87.

1 Jefe, División de Investigación Aplicada, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Apartado Postal 1552, Guatemala, Guatemala, C.A.

como biopolímeros heterogéneos que forman parte de las diferentes estructuras intracelulares y de la pared celular. Dichos compuestos, juntamente con la proteína, son fuentes de energía o calorías de la dieta.

Por otro lado, y en menor cantidad están los ácidos nucléicos, las vitaminas y los minerales. En algunos casos se atribuye también la existencia de ciertos factores estimulantes del crecimiento no identificados, aun cuando como lo menciona Mateles (3), éste todavía es un tema de controversia entre diferentes especialistas.

Por todo lo expuesto, el término proteínas unicelulares ("PUC"), no sólo está incorrectamente aplicado, ya que hay microorganismos multicelulares de interés comercial, sino que es discriminante en cuanto al potencial nutricional del producto.

La composición química y bioquímica de la biomasa microbiana determinará su potencial nutricional. La misma varía naturalmente no sólo entre diferentes especies de microorganismos, sino también entre miembros de una sola especie. Aún más, la composición celular depende de la fuente de nutrientes empleada y de la forma de crecimiento utilizado, incluyendo algunos parámetros externos como la temperatura y otros efectos de procesamiento ulteriores a la recuperación de la biomasa. Finalmente, también existe la posibilidad de alterar la composición química por manipulación genética del microorganismo en cuestión.

Cualquier comparación entre microorganismos o entre microorganismos y otras fuentes proteínicas tradicionales o no tradicionales, no deja, pues, de ser ciertamente irrelevante si no se especifican en detalle todas las variables mencionadas. Aún con esa advertencia, brevemente se ilustran a continuación los rangos de composición de la biomasa microbiana, para luego describir en detalle los efectos de algunas variables sobre dichos valores.

DISTRIBUCION DE LOS MACROCOMPONENTES

La biomasa de microorganismos recuperada de cultivos en su fase exponencial de crecimiento usualmente consiste de 2-3% de ADN, 10-15% de ARN, 40-60% proteína, 15-20% de polisacáridos, y 10-15% de lípidos en base seca (4). Frecuentemente se ha citado la composición elemental de bacterias y levaduras como: carbono, 45-53%; oxígeno, 19-32%; nitrógeno, 7.5-14%; hidrógeno, 6.0-7.3%, y minerales 4.8-8.0%.

En la Tabla 1 se ofrecen las cifras correspondientes a los rangos en que se encuentran los principales macrocomponentes de la biomasa de algas, bacterias, hongos y levaduras. Como era de esperar, los rangos son bastante amplios y aún así no son limitantes por las razones antes expuestas. Los mayores contenidos proteínicos se logran con bacterias, las que también muestran una mayor proporción de ácidos nucléicos originados por una velocidad mayor de reproducción de su masa.

TABLA 1

COMPOSICION DE LOS MACROCOMPONENTES FRECUENTEMENTE CITADOS DE LA BIOMASA MICROBIANA EN BASE SECA

Microorganismos	Proteína (N_2 x 6.25)	Acidos nucléicos	Lípidos	Cenizas
Algas	45-73	3- 8	2-20	5-10
Bacterias	40-83	6-20	2-21	3-10
Hongos	30-50	4-13	2- 8	3-14
Levaduras	40-68	3-15	1-24	5-10

Referencias

Kilhberg (5) Cuadro 1, p. 433.
MacLaren (67) Cuadro 2, p. 595.
Rogers (68) Cuadro 1, p. 111.
Drews (69) Cuadro 2, p. 16.
MacLennan *et al.* (70) Cuadro 1, p. 22.
Rehm (71) Cuadro 2, p. 311.
Praeve y Faust (72) Cuadro 3, p. 555.
Roth (73) Cuadro 3, p. 124.

COMPOSICION QUIMICA DE PRODUCTOS PRODUCIDOS INDUSTRIALMENTE

La composición química de los productos de biomasa microbiana se proporciona en las Tablas 2 a 5. A continuación se listan y han sido producidos comercialmente o en instalaciones piloto operadas por cierto tiempo prudencial.

Algas

[A][2] Localizadas en el sudeste asiático operan fábricas pequeñas que cultivan algas, principalmente *Chlorella* sp, bajo condiciones autotróficas, heterotróficas y mezclas de ambos, diseñadas para su incorporación en ciertos alimentos dietéticos para humanos (8-10).

[B] En el Instituto de Tecnología de Israel (Technion), se ha desarrollado tecnología para producir biomasa de algas en lagunas con alta tasa de oxidación, empleando como substrato aguas negras municipales (11). Aunque existe una población mixta microbiana, bajo ciertas condiciones predomina una especie de alga sobre las demás. Científicos de la Organización de Investigación Agrícola, Centro Volcani en Bet Dagan han informado sobre la composición de biomasa, consistente principalmente de *Chlorella*, separada por centrifugación y deshidratada en un secador de tambores rotatorios (12, 13).

[C] En el Centro de Estudios de Microorganismos Autotróficos

2 Las letras mayúsculas identifican a los diferentes productos en las Tablas correspondientes.

TABLA 2

COMPOSICION QUIMICA DE ALGAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

Macrocomponentes (g/100 g base seca)	Productos de biomasa			
	[A] Chlorella[a]	[B] Chlorella[b]	[C] *Scenedesmus*[d] *acutus* 8M	[D] *Scenedesmus*[f] *acutus* 273-3a
Proteína cruda	54-58	57.4	53.8	46-64
Proteína verdadera	40-41	-	43.9	48
Grasa	6-16	6.9	11.7	8-14
Fibra cruda	4	2.2	-	3-12
Extracto libre de nitrógeno	15-29	-	-	4-10
Ceniza	6-9	-	-	6-17
Acidos nucléicos	6	-	-	3-6
Clorofila	2-4	-	-	-
Carotenoides	0.3-0.5	0.12-0.26	0.49	0.4
Xantofila	-	0.65-1.10	-	-
Vitaminas (mg/100 g base seca)				
Tiamina	0.6-2.3	-	1.2	1.3- 8.2
Riboflavina	2-6	-	3.6	3.4-36.6
Piridoxina	> 0.1-3.2	-	1.1	2.5
Niacina	10-22	-	16.7	12
Acido pantoténico	>1-10	-	-	1.5
Acido fólico	> 0.1-4	-	-	0.7
Biotina	15-64 x 10^3	-	-	20-200 x 10^3
Cianocobalamina	trazas	-	trazas	0.04-0.44
Acido ascórbico	18-370	-	181	165
Provitamina A (UI)	82-91 x 10^3	-	-	-
Gamatocoferol	26-33	-	18.5	14
Minerales (g/100 g base seca)				
Calcio	0.5 -0.8	0.2	0.6	0.5 -4.0
Fósforo	1.4 -1.8	1.17	-	0.55-3.1
Magnesio	1.7 -2.2	-	0.5	0.5
Sodio	0.03-0.04	-	0.1	0.05
Potasio	0.8 -1.0	-	1.3	1.0
Azufre	0.5 -1.0	-	-	0.5
Hierro (mg)	0.05-0.06	-	-	0.2-0.66
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)				
Alanina	4.2- 7.4	-	9.7	5.3-10.4
Arginina	5.8-10.2	6.2	6.3	4.6- 7.1
Aspartato	6.9- 8.8	-	11.1	6.5- 9.7
Cistina	0.7- 0.9	0.3	0.8	0.6- 1.6
Fenilalanina	3.2- 5.1	4.4	6.4	3.6- 5.8
Glutamato	8.0- 1.8	-	5.3	6.7-10.7
Glicina	4.9- 5.5	5.0	7.0	3.4- 6.2
Histidina	1.4- 3.0	1.9	2.3	1.5- 2.1
Isoleucina	3.1- 6.4	4.0	4.9	2.2- 4.6
Leucina	6.8- 9.7	7.5	10.6	5.0-10.1
Lisina	4.9- 9.4	5.9	6.9	5.0- 6.4
Metionina	1.0- 1.8	2.0	2.7	1.4- 2.1

(Continúa)

(Continuación Tabla 2)

Prolina	2.2- 6.4	-	5.3	3.1- 6.1
Serina	3.0- 4.1	-	4.8	3.2- 5.4
Treonina	3.6- 4.3	4.7	5.8	3.0- 5.8
Tirosina	2.6- 4.1	3.8	4.6	2.0- 3.6
Triptofano	1.0- 1.5	-	1.2	0.3- 1.8
Valina	4.8- 6.0	5.3	6.9	4.7- 7.4
Acidos grasos (g/100 g de grasa)				
Palmítico (16:0)	-	20.5[c]	14.9[e]	-
Palmitoléico (16:1)	-	10.9	1.2	-
Esteárico (18:0)	-	4.7	0.6	-
Oléico (18:1)	-	10.2	8.0	-
Linoléico (18:2)	-	14.9	19.7	-
Linolénico (18:3)	-	29.5	30.0	-

a Tomado de los datos de *Chlorella regularis* S-50 crecida auto y heterotróficamente por Endo y Shirota (74). Complementado por datos de *Chlorella* sp de referencias japonesas citadas por Waslein (75), Cuadros 2a y 4 y Cuadros 1 al 3 de Mitsuda *et al.* (76).

b Tomados de los Cuadros 1 al 3 de Lipstein y Hurwitz (12, 13) y Cuadro 2 de Yannai *et al.* (77).

c Un ácido graso no identificado que se sospecha con cadena de 17 carbones y un doble unión (17:1) contribuyó con 9.2%.

d Tomado de Cuadro 1 de Battaglini *et al.* (15) y de datos de Capella *et al.* (78) según se encuentran anotados en el Cuadro 3 de Materassi *et al.* (79).

e En *Scenedesmus acutus* 8M se informan también los ácidos grasos (16:3) y (16:4) con 4.3 y 20.3% respectivamente.

f Tomado de Cuadros 1 y 2 de Soeder (80); Cuadros 1-4 de Becker (81); Cuadros 2 y 3 de Walz y Brune (82); Cuadro 2 de Becker (83); Cuadros 1-4 de Payer *et al.* (84), y Cuadros 1 y 2 de Klafs *et al.* (85).

TABLA 3

COMPOSICION QUIMICA DE BACTERIAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

Macrocomponentes (g/100 g base seca)	Productos de biomasa						
	[A] Spirulina[a] maxima	[B] Spirulina[b] sp	[C] Lactobacillus[c] sp	[D] Methylophilus[d] methylotrophus	[E] Cepa bacteriana[e] RNK-84	[F] Methylomonas[e] clara	[G] Methylomonas[b] methanollica
Proteína cruda	55-70	56	-	78	80	80-85	81
Proteína verdadera	48-61	-	-	64[a]	71[a]	69-73	67
Grasa	4-7	1		9.2	9.6	8-10	-
Fibra cruda	0.1-3.6	5.8	-	< 1.1	0	-	-
Extracto libre de nitrógeno	30	19.4	-	-	-	-	-
Ceniza	6.4-9.0	7.2	-	10.9	8.1	8-12	7.5
Acidos nucléicos	2.9-4.5	-	-	16.0[a]	14.8	10-15	-
Clorofila	0.6-0.8	0.9	-	-	-	-	-
Carotenoides	0.4	0.3	-	-	-	-	-
Xantofila	0.1-0.2	-	-	-	-	-	-
Vitaminas (mg/100 g base seca)					-		
Tiamina	5.5	3.4	-	0.5	5.5	-	-
Riboflavina	4.0	3.0	-	4.0	11.5	-	-
Piridoxina	0.3	0.5	-	0.2	1.9	-	-
Niacina	11.£	-	-	5.7	38.9	-	-
Acido pantoténico	1.1	0.9	-	1.1	4.5	-	-
Acido fólico	0.05	0.03	-	1.5	0.2	-	-
Biotina	0.04	-	-	0.3	0.5	-	-
Cianocobalamina	0.02	-	-	< 0.01	0.06	-	-

(Continúa)

(Continuación Tabla 3)

Acido ascórbico	-	-	-	-	-	-	-
Beta caroteno	0.15-0.19	-	-	-	-	-	-
Gama tocoferol	19	13.9	-	-	7.2	-	-
Inositol	35	86.7	-	-	200.0	-	-
Minerales (g/100 g base seca)							
Calcio	0.10-0.23	0.08	-	1.4	0.08	0.1	-
Fósforo	0.76-0.98	0.78	-	2.7	2.4	2.4	-
Magnesio	0.14-0.19	-	-	0.24	0.35	-	-
Sodio	0.03-0.04	-	-	0.22	0.10	-	-
Potasio	1.3 -1.5	-	-	0.20	0.70	-	-
Hierro	0.05-0.06	-	-	0.04	0.04	-	-
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)							
Alanina	5.0- 6.1	7.4	6.0- 9.8	6.9	5.8-6.9	-	-
Arginina	4.5- 9.3	6.6	3.0- 5.3	5.1	3.6-5.1	3.4	6.3
Aspartato	6.0-15.2	9.4	7.0-14.6	8.9	7.9-8.9	-	-
Cistina	0.6- 2.2	0.4	0.0- 1.0	0.7	0.6	[i]	0.7[l]
Fenilalanina	2.8- 4.0	4.3	2.6- 4.2	3.6	3.6-3.8	5.1	4.3
Glutamato	8.2-21.9	15.0	9.1-14.6	10.6	8.4-9.7	-	-
Glicina	3.2- 4.0	5.0	3.4- 4.4	5.3	4.8-5.5	5.1	-
Histidina	0.9- 1.6	2.0	1.4- 2.5	1.8	1.2-1.9	2.8	1.8
Isoleucina	3.7- 4.5	5.7	4.1-13.2	4.6	4.1-4.5	3.6	5.2
Leucina	5.6- 7.7	8.7	1.5- 8.0	7.2	6.4-7.1	6.6	8.9
Lisina	3.0- 4.5	4.6	4.5-10.4	5.7	4.4-6.0	6.2	7.2
Metionina	1.6- 2.2	2.8	1.5- 2.2	1.9	1.9-2.3	2.5[i]	2.5
Prolina	2.7- 3.2	3.6	2.4- 3.6	3.1	2.7-3.5	-	-
Serina	3.2- 4.3	4.5	2.3- 3.2	3.1	2.7-3.4	-	-
Treonina	3.2- 4.5	4.9	-	4.6	3.5-4.3	4.8	5.4
Tirosina	3.9	4.4	2.2- 4.2	3.1	2.6-3.5	5.1	3.6
Triptofano	0.9- 1.2	1.3	-	1.4	1.6-1.7	1.5	-
Valina	4.2- 6.0	6.3	4.2- 6.7	5.6	5.05-5.4	4.8	7.0
Acidos grasos (g/100 g de grasa)							
Láurico (12:0)	0.4	-	-	[f]	[h]	[j]	-
Mirístico (14:0)	1.0- 1.1	-	-	2.4	-	-	-
Palmítico (16:0)	33.4-37.1	-	-	38.8	48.3-50.4	41	-
Palmitoléico (16:1)	3.0- 3.6	-	-	34.1	36.1-37.1	51	-
Palmitolinoéico (16:2)	3.6- 4.3	-	-	-	-	-	-
Esteárico (18:0)	trazas- 0.6	-	-	-	-	-	-
Oléico (18:1)	4.0- 5.3	-	-	5.9	1.3	-	-
Linoléico (18:2)	22.1-24.2	-	-	5.9	-	-	-
Linolénico (18.3)	18.1-21.0	-	-	-	-	-	-

a Tomado de Tabla 1 de Hernández y Shimada (86); Cuadros 1 al 5 de Durand-Chastel (87); Cuadro 1 de Santillán (88).
b Tomado de los Cuadros 1 y 2 y el Apéndice de Yoshida y Hoshii (89).
c Tomado del Cuadro 1 de Erdman (19).
d Información suministrada directamente por ICI, 12/7/83.
e Tomado de Cuadro 11 de Faust y Prave (20).
f Otros ácidos grasos presentes C12, C14:1, C15, C17, C18, C18:3.
g Tomado de Cuadros 5 al 8 de Ohkouchi *et al.* (28) y Cuadro 5 de Urakami *et al.* (90).
h Otros ácidos grasos presentes: C19:0, hidroxi 3-OH 10 y ciclopropano 17:0.
i La cifra correspondiente a metionina incluye la cistina según el texto en Faust *et al.* (20).
j Otros ácidos grasos presentes: C14, C17:1, C18, C:18:1, C18.2, C18:3, C19.
k Tomado de Cuadro 1 de Ericsson *et al.* (91) y Cuadro 1 de Mogren (92).
l Informado como Cisteina.

TABLA 4-A

COMPOSICION QUIMICA DE LEVADURAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

	Productos de biomasa				
Macrocomponentes (g/100 g base seca)	(A) *Kluyveromyces*[a] *fragilis*	(B) *Candida*[a] *intermedia*	(C) *Endomycopsis*[f] *fibuligera más Candida utilis*	(D) *Candida*[h] *lipolytica*	(E) *Candida*[j] *lipolytica*
Proteína cruda	51-55	41-9	48.0	60-70	58.4
Proteína verdadera	—	—	—	—	—
Grasa	3-7.5	5.9	3.0	1.5-10	9.6
Fibra cruda	—	—	1.0	—	2.9
Extracto libre de nitrógeno	27.5-32.5[b]	—	36.5[g]	20[g]	—
Ceniza	6.5-8.5	16.7	5.5	6-7.9	5.1
Acidos nucléicos	2.7	—	4.0	—	4.5
Vitaminas (mg/100 g base seca)					
Tiamina	1.0-1.5	0.3	14.5	—	0.5
Riboflavina	2.5-5.0	7.6	8.0	—	4.2
Piridoxina	0.8-1.2	0.7	3.5	—	2.7
Niacina	35-45	22.2	43.0	—	13.0
Acido pantoténico	8-15	—	—	—	9.9
Acido fólico	1.8-2.0	—	2.0	—	—
Biotina	0.04-0.09	0.04	—	—	—
Cianocobalamina	$0.5\text{-}1.5\times10^{-3}$	3.1×10^{-3}	—	—	11.1×10^{-3}
Acido ascórbico	20-30	—	—	—	—
Beta caroteno	—	—	—	—	—
Gama tocoferol	25-45	—	—	—	—
Inositol	—	—	—	—	—
Minerales (g/100 g base seca)					
Calcio	0.05-0.15	—	—	0.01-0.03	—
Fósforo	1.1-1.6	—	—	1.6-1.5	—
Magnesio	0.1-0.15	—	—	—	—
Sodio	0.1-0.25	—	—	—	—
Potasio	2.2-2.45	—	—	—	—
Hierro	0.6×10^{2}[e]	—	—	—	—
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)					
Alanina	5.1	5.2	—	—	—
Arginina	4.4	3.6	4.6	5.0-5.1	2.9
Aspartato	8.3	9.8	10.3	—	—
Cistina	1.3	1.7	1.0	0.9-1.1	—
Fenilalanina	3.4	4.0	5.4	4.3-4.8	4.7[k]
Glutamato	13.1	14.7	13.8	—	—
Glicina	3.1	3.1	—	—	3.3

(Continúa)

(Continúa Tabla 4-a)

Histidina	1.7	—	2.0	2.1	2.9
Isoleucina	2.2	5.1	4.3	5.1-5.3	3.9
Leucina	5.2	7.8	7.3	7.4-7.8	4.5
Lisina	6.6	6.7	6.3	7.4-7.8	5.4
Metionina	0.9	1.3	1.5	1.6-1.8	1.2[j]
Prolina	3.4	3.7	—	—	—
Serina	4.1	5.1	—	—	—
Tirosina	3.9	—	4.8	3.6-4.0	—
Treonina	4.0	5.7	5.4	4.9-5.4	3.4
Triptofano	1.0	—	1.8	1.3-1.4	0.3
Valina	2.8	5.3	4.2	5.8-5.9	3.4
Acidos grasos (g/100 g de grasa)					
Láurico (12:0)	0.2[d]	—	—	[i]	—
Mirístico (14:0)	1.0	—	—	—	—
Palmítico (16:0)	19.2	—	—	—	—
Palmitoléico (16:1)	3.4	—	—	—	—
Esteárico (18:0)	2.8	—	—	—	—
Oléico (18:1)	32.8	—	—	—	—
Linoléico (18:2)	23.5	—	—	—	—
Linolénico (18:3)	8.8	—	—	—	—

Ver notas en Tabla 4-C

TABLA 4-B

COMPOSICION QUIMICA DE LEVADURAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

	Productos de biomasa				
Macrocomponentes (g/100 g base seca)	(G) *Candida*[m] *maltosa*	(H) *Pichia pastoris*	(I) *Candida*[o] *boldini*	(J) *Pichia*[q] *aganobi*	(J) *Torulopsis*[q] *methanoescule*
Proteína cruda	54.1	61.0	61.0-64.0	55.3	58.6
Proteína verdadera	—	57.0	—	—	—
Grasa	2.8	5.0	5.8	8.0	7.2
Fibra cruda	3.6	—	1.1	3.3	2.7
Extracto libre de nitrógeno	27.9	17.2[r]	22.7-25.7	—	—
Ceniza	7.1	7.1	7.2	7.8	7.7
Acidos nucléicos	—	4.8	5.5	8.2	7.6
Vitaminas (mg/100 g base seca)					
Tiamina	—	—	—	13.7	10.8
Riboflavina	—	—	—	21.9	30.8
Piridoxina	—	—	—	1.6	1.8
Niacina	—	—	—	71.8	53.5

(Continúa)

(Continuación Tabla 4-b)

Acido pantoténico	—	—	—	6.4	3.5
Acido fólico	—	—	—	$32.4x10^{-3}$	$150:0x10^{-3}$
Biotina	—	—	—	$50.7x10^{-3}$	$67.3x10^{-3}$
Cianocobalamina	—	—	—	$0.8x10^{-3}$	$4.8x10^{-3}$
Acido ascórbico	—	—	—	-	—
Beta caroteno	—	—	—	—	—
Gama tocoferol	—	—	—	—	—
Inositol	—	—	—	800	600
Minerales (g/100 g base seca)					
Calcio	—	—	—	0.033	0.03
Fósforo	—	—	—	1.8	2-1
Magnesio	—	—	—	0.22	0.18
Sodio	—	—	—	0.1	0.1
Potasio	—	—	—	2.2	2.4
Hierro	—	—	—	0.034	0.03
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)					
Alanina	6.1	—	5.5	5.8	5.7
Arginina	4.5-5.1	—	5.5	5.0	4.5
Aspartato	9.4	—	11.3	9.2	9.4
Cistina	1.5-1.8	—	2.1	1.5	1.5
Fenilalanina	4.3-4.4	—	4.3	4.3	4.2
Glutamato	13.9	—	13.2	12.4	11.8
Glicina	4.8	—	4.1	4.6	4.4
Histidina	2.2-2.4	—	2.2	2.1	2.1
Isoleucina	4.6-5.4	—	4.8	4.7	4.7
Leucina	6.9-7.1	—	6.8	7.2	7.0
Lisina	7.0-7.5	4.1	7.2	6.5	6.5
Metionina	1.2-1.4	—	1.5	1.9	1.6
Prolina	4.4	—	3.5	3.8	3.7
Serina	4.7	—	4.6	4.9	4.4
Tirosina	3.3-3.8	—	4.1	4.1	3.7
Treonina	5.1-5.4	—	4.8	4.8	4.4
Triptofano	1.0-1.2	—	1.8	1.8	1.3
Valina	5.4-5.5	—	4.9	5.2	5.0
Acidos grasos (g/100 g de grasa)					
Láurico (12:0)	—	—	0.2[p]	—	—
Mirístico (14:0)	—	—	0.2-0.3	—	—
Palmítico (16:0)	—	—	21.6-21.8	15.5	12.8
Palmitoléico (16:1)	—	—	18.7-22.6	7.3	1.9
Esteárico (18:0)	—	—	0.6-1.4	—	—
Oléico (18:1)	—	—	19.4-23.1	21.6	39.4
Linoléico (18:2)	—	—	29.2-29.9	34.2	34.2
Linolénico (18:3)	—	—	—	17.3	—

Ver notas en Tabla 4-C

TABLA 4-C

COMPOSICION QUIMICA DE LEVADURAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

	Productos de biomasa					
Macrocomponentes (g/100 g base seca)	(J) *Hansenula*[q] *polymorpha*	(K) *Candida*[r] *Ethanothermophilus*	(L) *Cepa de*[t] *propiedad*	(M) *Candida*[w] *utilis*	(N) *Kluyveromyces*[s] *fragilis*	(O) *Hansenula*[x] *anómala*
Proteína cruda	55.0	55.8	62	57.5	45	64-70
Proteína verdadera	—	—	57	46.8	—	—
Grasa	8.1	7.6	5	6.5	—	0.7
Fibra cruda	4.0	0.3	—	4.5	—	0.6
Extracto libre de nitrógeno	—	24.0	18[w]	21.5-22.5[w]	—	25
Ceniza	8.5	8.4	11	8.12	—	9-10
Acidos nucléicos	7.1	—	—	—	8	5-8
Vitaminas (mg/100 g base seca)						
Tiamina	13.6	0.4	8.8	—	15	—
Riboflavina	53.6	3.4	21.2	4.9	5	—
Piridoxina	1.4	2.0	5.6	4.2	—	—
Niacina	84.5	39.5	64.0	38.7	40	—
Acido pantoténico	7.5	9.3	6.8	21.1	8	—
Acido fólico	49.0×10^{-3}	0.2	2.8	1.1	—	—
Biotina	25.9×10^{-3}	0.06	0.1	0.1	0.2	—
Cianocobalamina	1.1×10^{-3}	9.4×10^{-4}	0.4×10^{-4}	0.1×10^{-4}	50×10^{-5}	–
Acido ascórbico	—	—	—	–	—	—
Beta caroteno	—	—	—	—	—	—
Gama tocoferol	—	200	—	—	—	—
Inositol	1300	1200	342	0.5	225	—
Minerales (g/100 g base seca)						
Calcio	0.022	—	0.09	—	1.7	0.11
Fósforo	1.8	—	2.5	2.0	1.3	1.95
Magnesio	0.19	—	0.3	—	0.18	0.06
Sodio	0.1	—	0.01	—	0.7	0.2
Potasio	2.3	—	2.5	—	2.2	2.1
Hierro	0.03	—	0.034	—	0.45×10^{-2}	0.61×10^{-2}
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)						
Alanina	5.9	5.2	6.0- 7.1	5.9	—	—
Arginina	5.3	5.2	4.2- 6.1	7.2	3.2	3.6
Aspartato	9.7	9.7	10.2-11.4	8.0	—	—
Cistina	1.5	0.4	0.6- 0.9	0.6	—	—
Fenilalanina	4.6	4.9	3.9- 5.4	3.7	3.5	3.7
Glutamato	11.4	14.6	13.3-13.6	16.2	13.1	—
Glicina	4.6	4.7	4.9- 6.2	5.1	–	—
Histidina	2.3	1.3	2.4- 2.6	2.0	2.0	1.5

(Continúa)

(Continuación Tabla 4-c)

Isoleucina	4.7	5.2	4.9-6.7	4.3	4.3	5.1
Leucina	7.2	7.2	7.7-8.6	7.0	7.5	6.4
Lisina	6.7	7.2	6.8-7.4	7.2	6.9	10.4
Metionina	1.6	1.6	1.2-1.8	1.9	1.4	1.3
Prolina	4.1	3.2	3.9-4.8	4.1	—	—
Serina	4.6	4.3	2.9-4.7	4.3	—	—
Tirosina	4.2	2.9	3.5-4.8	3.3	3.2	—
Treonina	4.7	4.9	4.3-5.1	4.7	5.2	4.5
Triptofano	1.4	1.3	1.1	—	1.8	1.3
Valina	5.6	6.1	5.8-7.4	5.3	4.8	5.4
Acidos grasos (g/100 g de grasa)						
Láurico (12:0)	—	—[p]	—[v]	—	—	—
Mirístico (14:0)	—	0.2	—	—	—	—
Palmítico (16:0)	48.3	11.2	8	—	—	—
Palmitoléico (16:1)	36.1	8.8	7	—	—	—
Esteárico (18:0)	—	1.9	1	—	—	—
Oléico (18:1)	—	29.3	37	—	—	—
Linoléico (18:2)	—	23.2	37	—	—	—
Linolénico (18:3)	—	23.1	9	—	—	—

a Datos tomados directamente del panfleto informativo de Protibel publicado por Bel Industries, Division Produits Industriels des Fromageries. B.P. 29208 75361 Cedex 08, Francia.

b Dichos valores se refieren específicamente a carbohidratos, distribuidos así: 47% glucogalactanos, 20% galactomanano, 17: de glucomanano y de glicógeno.

c Se informa también los valores siguientes: zinc 0.45 x 10^{-6} y cobre 0.25 x 10^{-3} g/100 g y una serie de microelementos.

d Se informa también de la presencia de ácido butírico (C4), pentadecanóico (C15), heptadecanóico (C17), araquidónico (C20) y elcosenóico (C20:1).

e Tomado de los Cuadros 10 y 11 de Meyrath y Bayer (22).

f Tomado de los Cuadros 2 y 3 de Skogman (23).

g Informado como carbohidratos.

h Tomado de Cuadro 1 de Shaclady (93), Cuadros 1 y 2 de Shaclady (94, 95), Cuadros 1 y 2 de Shaclady (98) y Cuadro 3 de Levi *et al.* (97).

i Las levaduras que emplean carbohidratos como substratos, aunque no están libres de ácidos grasos con número impar de átomos de carbono, generalmente poseen una mayoría de ácidos grasos con un número par de átomos de carbono. Sin embargo, la biomasa que se ha reproducido en alcanos contiene cantidades significativas de ácidos grasos con una longitud de su cadena similar a la del substrato empleado (97).

j Tomado del Cuadro 2 de Birckenstaedt *et al.* (25).

k Datos de fenilalanina más tirosina.

l Dato de metionina más cistina.

m Tomado del Cuadro 3 de Takata (98) y Cuadro 3 de Levi *et al.* (97).

n Informado como carbohidratos.

o Tomado de los Cuadros 1-3 de Cardini *et al.* (99) y Cuadro 2 de Cardini *et al.* (100).

p Se informa de la presencia en proporciones pequeñas de ácidos cáprico, tridecanóico, pentadecanóico, heptadeca y heptadecenóico.

q Tomado de los Cuadros 5 al 8 de Onkouchi *et al.* (28).

r Tomado de los Cuadros 2 y 3 de Masuda *et al.* (29) y Cuadros 2, 3 y 5 de Masuda (30).

s Se informa de la presencia de pequeñas cantidades de ácidos tetradecenóico y heptadecanóico.

t Información suministrada directamente por Corporación Provesta, 15/7/83.

u Informado como carbohidratos.

v Se informa la presencia de pequeñas cantidades de heptadecenóico y trazas de mirístico, pentadecanóico, hexadicenóico, heptadecanóico, monadecanóico y monadicenóico.

w Información suministrada directamente por Pure Culture Products, Inc., 6/9/83.

x Informado como carbohidratos (por diferencia).

y Información suministrada directamente por Amber Laboratories, 29/7/83.

z Tomado de Cuadro 1 de Heisel (101) y Cuadro 1 (102).

TABLA 5

COMPOSICION QUIMICA DE BACTERIAS PRODUCIDAS COMERCIALMENTE O EN UNIDADES PILOTO

	Productos de biomasa					
Macrocomponentes (g/100 g base seca)	[A] *Agaricus*[a] sp	*Pleurotus*[a] sp	[B] *Fusarium*[a] *graminearum*		[C] *Paecilomyces*[d] *varioti*	[D] *Chaetomium*[a] *cellulolyticum*
Proteína cruda	16.4-62.4	12.7-43.4	54.1	(56.4)[f]	48-63	39
Proteína verdadera	-	-	42.9	(48.1)	-	-
Grasa	0.4- 8.0	1.0- 9.4	1.0	(12.4)	1-4	2
Fibra cruda	4.8-12.4	7.5-27.8	14.7	(24.6)	6-9	18
Extracto libre de nitrógeno	26.7-81.2[b]	46.6-81.8[b]	-	(2.7)	25-35	-
Cenizas	7.7-12.0	5.8-15.8	6.1	(3.8)	5-8	11
Acidos nucléicos	-	-	6-13	(1.1)	7-10	-
Clorofila	-	-	-	-	-	-
Carotenoides	-	-	-	-	-	-
Xantofila	-	-	-	-	-	-
Vitaminas (mg/100 g base seca)						
Tiamina	0.3-8.9	4.8	-	(0.04)	0.6-0.08	-
Riboflavina	3.7-5.2	4.7	-	(0.9)	3.6-7.0	-
Piridoxina	trazas	-	-	(0.5)	1.0-2.5	-
Niacina	42.5-57.0	108.7	-	(1.4)	27.2-48.8	-
Acido pantoténico	trazas	-	-	(1.0)	2.6-6.0	-
Acido fólico	trazas	-	-	(0.03)	1.2-2.0	-
Biotina	trazas	-	-	(0.07)	0.2	-
Cianocobalamina	-	-	-	(0.08)	-	-
Acido ascórbico	26.5-81.9	0	-		-	-
Beta caroteno	-	-	-		-	-
Gama tocoferol	-	-	-		-	-
Minerales (g/100 g base seca)						
Calcio	0.02-8.04	0.03	0.14	(0.2)	0.25-0.30	0.14
Fósforo	0.79-1.53	1.55	1.58	(1.1)	1.8	1.63
Magnesio	-	-	-	(0.1)	0.1	0.12
Sodio	0.64-2.45	0.84	0.05	(0.02)	0.1	-
Potasio	1.21-4.76	3.79	-	(0.03)	1.0-1.4	3.05
Hierro	< 0.01-0.13	0.02	0.03	(trazas)	0.02	-
Aminoácidos (g/16 g nitrógeno)						
Alanina	7.0	6.8	-	(6.3)	5.9	6.3
Arginina	6.6	5.7	-	(7.7)	6.1-6.5	5.5
Aspartato	8.5	9.1	-	(9.9)	8.1	8.6
Cistina	1.1	4.6	1.8	(0.8)	0.6-1.0	1.2
Fenilalanina	4.3	3.1	4.4	(4.8)	3.7-4.2	6.6
Glutamato	13.6	15.4	-	(11.5)	12.0	10.7
Glicina	4.8	4.4	-	(4.6)	4.2	4.4
Histidina	2.4	1.7	-	(3.9)	2.2	2.1
Isoleucina	4.2	4.8	4.8	(5.1)	3.8-4.6	3.8

(Continúa)

(Continuación Tabla 5)

Leucina	6.7	6.8	6.5	(8.3)	6.7-7.1	6.4
Lisina	6.8	4.5	7.5	(8.1)	6.1-6.6	6.1
Metionina	1.8	1.4	1.9	(2.2)	1.3-1.6	1.8
Prolina	5.7	4.4	-	(4.7)	4.0	5.8
Serina	4.7	4.6	-	(5.1)	4.4	5.1
Treonina	4.8	4.4	5.1	(5.5)	4.2-4.8	5.7
Tirosina	2.8	3.0	4.1	(3.9)	3.2-3.5	4.3
Triptofano	1.8	1.1	-	(1.7)	1.4-1.5	1.6
Valina	4.5	5.0	7.2	(5.9)	4.6-5.1	4.4
Acidos grasos (g/100 g de grasa)						
Láurico (12:0)	-	-	-		-	-
Mirístico (14:0)	-	-	-		-	-
Palmítico (16:0)	-	-	-	(18.46)	-	-
Palmitoléico (16:1)	-	-	-		-	-
Esteárico (18:0)	-	-	-	(2.97)	-	-
Oléico (18:1)	-	-	-	(16.09)	-	-
Linoléico (18:2)	63-74	-	-	(50.41)	-	-
Linolénico (18:3)	-	-	-	(12.07)	-	-

a Tomado de los Cuadros 1 al 3 de Crisan y Sands (34) y el Cuadro 3 de Hayes y Wright (35).
b Informado como carbohidratos.
c Tomado del Cuadro 6 de Anderson (103) y del Cuadro 3 de Duthie (104).
d Tomado de Cuadro de Romantschuk (36), Cuadro 1 de Romantschuk y Lehtomaki (37), Cuadro 2 de Heger (105), Cuadro 2 de Kiishinen *et al.* (106) y Cuadro 1 de Jaervinen*et al.* (107), Cuadros 1, 2 y 6 de Salo (108), Cuadro 1 de Lehtomaki (109).
e Información proporcionada directamente por Envirocon Ltd (#300-475 W Georgia St., Vancouver BC V6B 4M9, Canadá).
f Informaciónproporcionada directamente por RHM Research Limited (The Lord Rank Research Centre, Lincoln Road, High Wycombe, Bucks HP12 3QR, England) Acidos nucléicos como ARN, fibra cruda como fibra de detergente neutro y extracto libre de nitrógeno como azúcares solubles en agua.

del Instituto de Microbiología Agraria y Técnica de la Universidad de Florencia, Italia, se ha producido biomasa de algas en plantas piloto, como parte de un programa más amplio de purificación de efluentes (14).

La composición química del alga *Scenedesmus acutus* 8M preservada por criodeshidratación ha sido discutida por Battaglini *et al.* (15) de la Facultad Agraria de Perugia, Italia.

[D] Desde 1970 el Gobierno de la República Federal de Alemania apoyó la transferencia de tecnología para cultivar algas desarrollada en Dortmund, grupo que ya no se encuentra activo y que en parte fue trasladado al Institut fur Biotechnologie en Julich, hacia condiciones locales encontradas en India, Tailandia y Perú. Una de las algas producidas fue *Scenedesmus acutus* 273-3a cuya composición quimica representativa se encuentra anotada en la Tabla 2.

Bacterias

[A] El alga verde-azul (o cianobacteria) *Spirulina* sp se produce en varios lugares. En el Lago Texcoco, cercano a la ciudad de México, se cultiva la *S. maxima* o *S. geitleri* J. de Toni en los canales del caracol, o evaporador solar de la compañía Sosa Texcoco, S.A. El producto listado en la Tabla 3 ha sido preservado mediante deshidratación por aspersión en corriente de aire caliente.

[B] La Compañía Dainippon Ink & Chemicals, Inc. del Japón ha experimentado con la producción de biomasa de *Spirulina* sp preservada por deshidratación con aire.

[C] En el campo de los alimentos fermentados (16, 17) las bacterias lácticas juegan un papel muy importante en el desarrollo de los caracteres organolépticos propios de dichos productos (18), aunque poco se ha publicado de la composición química de dicha biomasa y sus características nutricionales. La distribución de aminoácidos, recientemente informada por Erdman *et al.* (19), se detalla en la Tabla 3.

[D] La empresa Imperial Chemical Industries (ICI) ha desarrollado un proceso comercial para producir biomasa de la bacteria *Methylophilus methylotrophus* en metanol, como substrato. El producto comercial se denomina "Pruteen" y se produce en una planta piloto de 50,000 tpa[2] que se completó en 1980.

[E] La compañía Mitsubishi Gas Chemical Co. Inc. en Tokio, Japón, ha operado una planta piloto en cooperación con Hitachi, Ltd., en la cual se ha producido biomasa de varias cepas de bacterias capaces de metabolizar el metanol.

[F] Las firmas Hoechst AG y Uhde GmbH de la República Federal de Alemania patrocinadas por el Ministerio de Investigación y Tecnología de ese país, han operado una planta piloto de 1000 tpa en la que han producido biomasa de bacterias en metanol. El producto se denomina "Probion" (20).

[2] tpa = Toneladas métricas por año.

[G] Por otra parte, la empresa Norprotein de investigación y desarrollo fue formada por la compañía sueca AB Marabou y el grupo químico noruego Norsk Hydro a.s., con el fin de desarrollar tecnología para producir biomasa bacteriana a partir de metanol. El desarrollo llegó a una planta piloto pequeña, pero en 1978/79 se decidió suspender el proyecto.

[H] Un proyecto conjunto entre Exxon y Nestec, utilizó la bacteria *Acitenobacter calcoaceticus* y como substratos etanol y carbohidratos. Se operó a escala de planta piloto y se llevaron a cabo extensas pruebas toxicológicas, así como de procesamiento para desarrollo de productos alimenticios. El proyecto fue cancelado hace varios años.

[I] Asimismo, la compañía Shell desarrolló un proceso para producir biomasa de un cultivo mixto de bacterias, empleando como *substrato metano y gas natural*. El proceso se llevó a una escala de pequeña planta piloto en el Centro de Investigaciones de Sittingbourne, Inglaterra.

[J] Por último, en el Instituto de Investigación Científica de Kuwait se ha llevado a escala de planta piloto, un proceso de cultivo mixto en metanol con dos bacterias termotolerantes localmente aisladas (21).

Levaduras

[A] La compañía Bel Industries en París, Francia, ha desarrollado tecnología para producir biomasa de *Kluyveromyces fragilis* en suero de queso desproteinizado. El producto se denomina "Protibel", se ha producido desde 1956 en una fábrica localizada en Vendome, y en 1977 se construyeron dos plantas más en Sable sur Sarthe y en Saint-Brice en Cogles, Francia. La biomasa es separada por centrifugación en dos etapas con un lavado con agua intermedio. Luego existen dos alternativas: a) filtración, plasmólisis, secado en tambores rotatorios, compactación y empaque, y b) concentración y plasmólisis seguida de deshidratación en aire caliente y empaque.

[B] En Klagenfurt, Austria, se encuentra en operación una empresa que produce biomasa de *Candida intermedia*, empleando el proceso llamado Vienna-Unterhartner-Molkerei (22). No se separa la biomasa, sino que el efluente del biorreactor se concentra hasta una humedad final de 12%, después de una termolisis.

[C] El proceso Symba utiliza dos levaduras, *Endomycopsis fibuliger* y *Candida utilis* en efluentes de naturaleza amilácea desarrollado por la Compañía del Azúcar de Suecia y la compañía de ingeniería suiza Chemap Co. La planta funcionó en Suecia en el período 1973-1979 (23).

[D] La British Petroleum desarrolló tecnología en el período 1963-1978 para producir biomasa de levaduras empleando hidrocarburos como substratos. La cepa de levadura empleada fue *Candida lipolytica* y el producto comercial se denominó "Toprina". Se operó una planta asociada a la refinería Lavera en Francia en un proceso no aséptico, empleando gas-oil como substrato. Otra planta en Grangemouth, Escocia, se operó como proceso alterno con n-parafi-

nas como substrato y en un proceso aséptico. La escala de producción llegó a ser de 100,000 toneladas por año. Se han citado razones económicas por el aumento en los precios del petróleo, así como decisiones negativas de los Gobiernos de Italia y Japón como resultado de la presión de grupos de consumidores y de seguridad en la composición del producto, como las principales causas de que esta tecnología haya sido abandonada por la Compañía que la desarrolló. Si fueron con certeza éstas las únicas razones, o si hubo otras de carácter político-económico, debido a la franca competencia en el mercado europeo y japonés de este producto con la harina de soya en las formulaciones de concentrados para animales, es muy difícil o prácticamente imposible de confirmar. Quiera que no, la incógnita de la duda persistirá y las plantas comerciales construidas por las compañías italianas: Italproteina y Liquichimica así como las de British Petroleum, quedan como testigos de este desarrollo tecnológico.

[E] Durante los años 1970 a 1973, un consorcio de compañías que consiste de Hoechst, Uhde y Gelsenberg, desarrollaron un proceso para producir levaduras, usando N-parafinas como substrato. La cepa escogida fue la *Candida lipolytica* FH-H-5027 (24). La biomasa producida en una planta piloto de 20 tpa se separa por centrifugación en dos etapas; luego sufre una termólisis, y finalmente se deshidrata en un secador por aspersión en aire caliente (25).

[F] La empresa japonesa Dainippon Ink and Chemicals Inc. (DIC), llevó a cabo una investigación a escala de laboratorio y planta piloto en los años 1960 y 1970, con el objeto de desarrollar tecnología para producir biomasa de levadura en N-parafinas. En marzo de 1975 se formó una nueva compañía denominada Roniprot, entre DIC y CIMCCL (Centrala Industriala de Medicamente, Cosmetice, Coloranti si Lacuri) de Rumanía, la cual instaló una planta de 60,000 tpa en la ciudad de Curtea de Arges, la cual se encuentra en operación. La biomasa de la levadura *Candida paraffinica* se separa por centrifugación en varias etapas con lavados con agua intermedios, se termoliza, se concentra en un evaporador, y se seca por aspersión en aire caliente (26).

[G] Kanegafuchi Chemical Industry Co. Ltd. de Japón desarrolló una tecnología para producir *Candida maltosa* en N-parafinas y diseñó la planta de Liquichimica SpA.

[H] El Instituto Francés del Petróleo (IFP) por su parte, estudió el proceso de producir levaduras de N-parafinas desde el comienzo de la década de los años 60 (27). Sin embargo, desde 1972 se ha cambiado de substrato poniendo énfasis en el metanol. El microorganismo empleado es la *Pichia pastoris* IFP 206, cultivada a 35°C a un pH entre 3 y 3.5. La biomasa se separa en un decantador primario, filtra y lava con agua. La suspensión entonces se termoliza y se deshidrata con aspersión en aire caliente. El desarrollo se ha hecho en conjunto con Elf, CFR y Technip. Se han operado tres plantas piloto localizadas en Francia, Austria e India.

[I] Las compañías Societa Italiana Resine-SIR SpA y Euteco Impianti SpA de Milán, Italia, desarrollaron la tecnología para

producir *Candida boidini* SIR L170 en metanol en la década de los años 70, y han operado por varios años una planta piloto continua.

[J] Por otro lado, en Tokio, Japón, la compañía Mitsubishi Gas Chemical Co. Inc. desarrolló desde 1969, conjuntamente con el Instituto de Investigaciones en Fermentación de MITI del Gobierno japonés, tecnología para producir levadura de metanol en forma continua. En 1974 se construyó una planta piloto que operó juntamente con Hitachi Ltd y se emplearon tres cepas de levaduras: *Pichia aganobi* y-1023, *Torulopsis methanoescule* MT-8 y *Hansenula polymorpha* U-32. La biomasa se recupera por centrifugación, se termoliza y se deshidrata en aspersión en aire caliente. El polvo seco se granula, mezclándolo con la crema de levadura separada en la centrífuga (28).

[K] Asimismo, la Mitsubishi Petrochemical Co. ha desarrollado la tecnología para producir biomasa de las levaduras *Candida ethanothermophilum* y *C. acidothermophilum* en etanol. La biomasa se recupera por centrifugación en dos etapas con un lavado intermedio con agua; luego se concentra en un filtro rotatorio al vacío, para finalmente, deshidratarse por aspersión en aire caliente. Se operó una planta piloto de 50 tpa (29, 30).

[L] La Corporación Provesta subsidiaria de la Compañía Phillips Petroleum ha desarrollado también tecnología para producir biomasa de levaduras en metanol o etanol (aunque el proceso puede ser empleado con glucosa o sacarosa). La cepa de levadura es de propiedad de la Compañía, obtenida a través de mutaciones, y está adaptada a un crecimiento continuo a altas densidades (120 a 150 gl ^{1}) lo que permite que todo el flujo del fermentador sea pasteurizado y secado por aspersión en aire caliente. El producto final destinado a la alimentación animal generalmente se comparte y se granula. El nombre comercial del producto es "Provesteen".

[M] Pure Culture Products, Inc. es una subsidiaria de Amoco Chemical Corp. que a su vez pertenece a la Compañía Standard Oil de Indiana, y opera desde 1975 una planta comercial con una capacidad nominal de 7,500 tpa para producir *Candida utilis* usando etanol como substrato. La biomasa que se produce continuamente se separa por centrifugación, se pasteuriza y se deshidrata por aspersión en aire caliente. Luego el producto se procesa para obtener productos destinados al consumo humano, como ingrediente que proporciona ciertas características de sabor, funcionales y/o nutricionales. Los productos comerciales se denominan "Torutein", "Toruway" (mezclado con suero de leche), "Boost", "Zyest" (autolizados), "Pur-Cultur" y "Chezyer".

[N] La Compañía Amber Laboratories, que es propiedad de Universal Food Corporation, produce biomasa de *Kluyveromyces fragilis* en suero de leche. La biomasa se produce en forma de lotes con adición continua de substrato, se recupera por centrifugación, se inactiva por pasteurización, y se deshidrata por aspersión en aire caliente. El producto comercial se conoce como "Nutrex 540".

[O] La Compañía Linde AG ha desarrollado tecnología para producir *Hansenula anomala* en etanol, empleando oxígeno puro. La densidad celular es de 100 gl^{1}. La biomasa se recupera por centrifu-

gación o filtrado para luego deshidratarse en un secador al vacío de dos etapas especialmente diseñado en el cual el producto se granula. Existe en operación una planta piloto en Hoellriegelskreuth y una planta experimental de 120 tpa.

[P] En varios países de economía centralizada la producción de levaduras es una industria de gran volumen, principalmente en Rusia, Checoslovaquia, República Democrática Alemana, y Cuba. En el primero se emplean como substrato licores hidrolizados de madera e hidrocarburos. En el último se usan las mieles finales de ingenio; se produce también una miel enriquecida con biomasa mezclándose durante la formulación de concentrados para animales (31).

[Q] La Compañía Tate y Lyle (Research and Development Ltd) ha diseñado y construido una planta para tratar efluentes de una fábrica de confites empleando una cepa de *Candida utilis*. La capacidad es de 1-1.5 toneladas diarias del producto seco en un deshidratador de tambores rotatorios (32). La tecnología fue desarrollada desde el laboratorio y planta piloto (33).

Hongos

[A] La producción de setas y su consumo por el humano es una actividad distribuida en prácticamente todo el globo terráqueo. Algunas especies se producen en forma controlada y en algunos casos con un grado alto de mecanización. Por otro lado, otras se recogen de sus ecosistemas en donde crecen en una forma silvestre y natural. Entre ambos extremos existe una gran variedad de casos. La composición química de su biomasa varía influenciada por muchos factores como lo explican Crisan y Sands (34) y Hayes y Wright (35). De estos autores se ha resumido la información de *Agaricus* sp. y de *Pleurotus* sp.

[B] La compañía Rank-Hovis-McDougall ha desarrollado un proceso para producir hongos filamentosos para consumo humano de carbohidratos especialmente hidrolizados de almidón, y se ha operado una planta piloto durante varios años. La biomasa de *Fusariwm graminearun* A315, que es una de las cepas de hongos finalmente escogidas, se separa por filtración, se lava y se seca por aspersión en aire caliente. Luego, la biomasa se procesa y acondiciona para lograr propiedades funcionales especiales.

[C] En Finlandia, con el patrocinio del grupo privado SITU se desarrolló en 1963 la tecnología para producir el hongo filamentoso *Paecilomyces varioti* en los licores residuales del proceso sulfito para elaborar papel. Se encuentra una planta en operación en Manta. Durante algunos años funcionó otra planta en Jamsanroski. La producción es continua y la biomasa se recupera en un filtro rotatorio en donde se lava, luego se prensa para eliminar agua, y se deshidrata con aire caliente (36, 37).

[D] La compañía Envirocon Ltd de Vancouver, Canadá, ha construido una planta piloto de media tonelada por día para crecer el hongo *Chaetomium cellulolyticum* en efluentes de plantas de papel. El proceso es el denominado Waterloo por ser científicos del Depar-

tamento de Ingeniería Química de dicha universidad, los inventores del mismo (38, 39). La operación, tanto por tandas como semicontinua, se encuentra sujeta a optimización, y el producto está evaluándose en pruebas de alimentación animal.

Efecto de Algunos Parámetros sobre la Composición

Es un hecho conocido que durante el crecimiento por tandas de los microorganismos, la concentración de nutrientes en el medio disminuye; a su vez la velocidad específica de crecimiento varía antes y después de la fase exponencial. Recientemente, Martini, Martini y Miller (40) evaluaron para ocho especies diferentes de levaduras la variación en el contenido total y la distribución de aminoácidos, así como el contenido de ARN al tomar muestras en: a) la parte media del crecimiento exponencial; b) la parte final de la fase exponencial, y c) la fase estacionaria. Como puede observarse en la Tabla 6, hubo tendencia a disminuir en los contenidos de aminoácidos totales y ARN. El descenso de este último parámetro fue más significativo en *K. fragilis, S. castelli, C. utilis* y *S. uvarum*. En cuanto a los aminoácidos individuales, se observó una tendencia general hacia un ligero descenso, más marcado en triptofano, glutamato, lisina, prolina y arginina. El ARN en la célula juega un papel primario en la síntesis proteínica. Lógico es entonces, que mientras más rápida sea esa síntesis proteínica, más alto sea el contenido de ARN. El primer factor es proporcional a la velocidad específica de crecimiento, por lo que el descenso que muestra la Tabla 6 para el ARN ya había sido previsto. Datos para *C. utilis* en cultivo continuo han sido presentados por Alroy y Tannenbaum (41) y Paredes, Camargo y Ornelas (42). Nótese cómo el descenso de ARN con la velocidad de crecimiento influye sobre el cociente ARN:contenido total de aminoácidos. Dichos valores son representativos de los informados anteriormente en la literatura. Los cambios leves en el contenido de los aminoácidos específicos no son fácilmente explicables. Como comentan Alroy y Tannenbaum (43, 44) era de prever algún cambio si existiese un grupo de proteínas, como las proteínas de los ribosomas, que debido a su interacción con los ácidos nucléicos, tuviesen una relación definida entre su composición y su función. Estos autores también encontraron una disminución de la lisina y la arginina al disminuir la tasa específica de crecimiento en *C. utilis*. Los datos de Martini, Martini y Miller (40) son interesantes ya que muchos esquemas no tradicionales de producción de biomasa, aplicables a substratos renovables en países tropicales, se han desarrollado empleando esquemas de operación por tandas. Estos datos permiten definir un criterio alterno para fijar el tiempo de cada tanda como aquél en el que se minimice el cociente ARN:aminoácidos, por los problemas nutricionales que presentan los ácidos nucléicos.

Magalhaes, Vairo y Borzani (45, 46) estudiaron el efecto de la adición de nitrógeno a mieles de purga convertidas a etanol por levaduras, sobre el contenido de aminoácidos de la biomasa de levaduras resultante. El contenido total de aminoácidos aumentó en un 40%

TABLA 6

VARIACION DE ALGUNOS COMPONENTES NITROGENADOS EN ESPECIES DE LEVADURAS DURANTE SU FASE DE CRECIMIENTO[a]

Cepa de levadura	Fase de crecimiento	Contenido total de aminoácidos	Contenido de ARN	Cociente ARN: aminoácidos	Lisina	Triptofano	Glutamato	Prolina	Alanina
K. fragilis	MFE[b]	44.4	14.0	0.32	1.9	0.7	5.2	1.8	3.3
UCD 71.58	FFE	44.6	12.7	0.28	1.8	0.9	5.7	1.9	3.4
	FE	41.4	9.3	0.22	1.7	0.6	4.4	1.4	2.9
S. cerevisiae	MFE	34.5	6.3	0.18	2.9	0.3	4.9	1.7	2.3
UCD C88	FFE	29.2	6.1	0.21	2.1	0.4	3.9	1.3	2.0
	FE	33.3	5.8	0.17	1.9	0.4	4.0	1.4	2.3
C. utilis	MFE	43.3	9.1	0.21	1.8	0.6	5.8	1.7	3.1
UCD C35	FFE	39.4	6.9	0.18	1.7	0.4	4.9	1.5	3.0
	FE	39.0	6.2	0.16	1.6	0.5	4.2	1.6	2.9
C. castelli	MFE	42.4	12.7	0.30	2.0	0.4	5.9	1.5	2.8
UCD 58.7	FFE	42.4	8.9	0.21	2.1	0.4	5.1	1.5	2.6
	FE	38.8	7.9	0.20	1.5	0.3	4.4	1.4	2.6
S. uvarum	MFE	51.1	14.0	0.27	2.2	0.5	7.2	2.1	3.7
IMAT-PG1802	FFE	50.4	11.2	0.22	2.5	0.4	6.7	2.0	3.2
	FE	49.0	11.2	0.23	2.3	0.4	5.7	1.9	3.3

(Continúa)

(Continuación Tabla 6)

S. ludwigi	MFE	36.6	7.5	0.20	2.1	0.2	5.4	1.2	2.3
IMAT-PG2675	FFE	33.6	7.2	0.21	1.5	0.4	4.4	1.1	2.4
	FE	33.3	7.0	0.21	1.4	0.3	4.6	1.1	2.4
P. membranafaciens	MFE	35.4	8.5	0.24	1.6	0.4	5.2	1.5	3.2
UCD 57.22	FFE	32.5	7.9	0.24	1.6	0.5	3.7	1.3	2.5
	FE	33.9	6.3	0.19	1.5	0.4	3.9	1.3	2.5
L. starkeyi	MFE	31.6	5.2	0.16	1.2	0.3	7.4	1.2	1.9
UCD 51.55	FFE	23.2	5.2	0.22	1.0	0.3	2.5	0.7	1.7
	FE	23.4	5.5	0.24	0.9	0.4	4.4	0.6	1.5

a Tomado de Martini *et al.* (40). Datos expresados como g/100 g^{1} de peso seco celular.

b MFE = Media fase exponencial (velocidad específica de crecimiento máxima; FFE = Final fase exponencial (inicio del descenso de la tasa específica de crecimiento; FE = Fase estacionaria = Tasa específica de crecimiento menor).

al emplear sulfato de amonio y en un 59% al emplear urea. Los aminoácidos que más aumentaron fueron la alanina y el glutamato, según se aprecia en la Tabla 7. Los esquemas productores de etanol y biomasa a partir de mieles de purga son una alternativa interesante para los países tropicales, por lo que los datos obtenidos por Borzani y colaboradores en São Paulo, Brasil, son de mucho interés. Santos Oliveira (47) encontró que la adición de 400 µg de pantotenato de calcio al inicio de una tanda de crecimiento de *Candida utilis* en mieles de purga de caña con la adición de nitrógeno (inorgánico u orgánico), incrementaban el contenido de cenizas, levemente el nitrógeno proteínico y la riboflavina (ver Tabla 8). Nótese también en la misma Tabla 8 que el nitrógeno inorgánico se transforma más eficientemente en proteína celular que los aminoácidos presentes en el medio, aunque la distribución de algunos aminoácidos de interés permanece casi igual en ambos casos. Jigami, Suzuki y Nakasato (48) han demostrado que la fuente de carbono y energía afecta el contenido de lípidos neutros y la distribución de ácidos grasos de los componentes

TABLA 7

CAMBIO DE ALGUNOS AMINOACIDOS DE LA LEVADURA DE DESTILERIA AL SUPLEMENTAR MIELES DE PURGA DE CAÑA CON NITROGENO INORGANICO[a]

Aminoácido	Control[b]	Más sulfato de amonio[c]	Más urea[d]
Alanina	1.88	3.79	4.50
Arginina	1.42	2.02	2.38
Aspartato	3.53	4.50	4.71
Fenilalanina	1.54	1.72	1.85
Glicina	1.44	1.91	2.07
Glutamato	3.83	6.89	8.52
Histidina	0.67	0.79	1.08
Isoleucina	1.41	1.93	2.16
Leucina	2.29	2.98	3.24
Lisina	2.45	3.36	3.60
Metionina	0.46	0.54	0.68
Prolina	1.18	1.50	1.64
Serina	1.76	2.16	2.45
Tirosina	1.30	2.62	1.70
Treonina	1.79	2.16	2.38
Valina	1.88	2.49	2.74

a Tomado de Magalhaes *et al.* (45). Datos expresados como %.
b Concentración de nitrógeno: 0.56 gl^{-1} (cantidad original presente en las mieles).
c Adición de sulfato de amonio hasta llegar a 1.20 gl^{-1}.
d Adición de urea hasta llegar a 1.20 gl^{-1}.

TABLA 8

EFECTO DE LA ADICION DE PANTOTENATO DE CALCIO SOBRE ALGUNOS PARAMETROS ANALITICOS DE LA BIOMASA DE LEVADURA[a]

Item	Fuente de nitrógeno							
	Amoníaco		Sulfato de amonio		Urea		Acido glutámico	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Cenizas, %	9.56	11.55	9.22	8.89	7.70	11.15	7.49	8.46
Nitrógeno proteínico, %	5.61	6.07	5.31	5.30	5.97	5.85	4.44	4.34
Riboflavina, g/1000 g	53.8	68.0	54.0	73.0	58.0	64.0	49.0	55.0
Lisina, g/16 g nitrógeno	7.8	9.4	8.7	8.9	8.7	8.8	9.4	9.2
Metionina g/16 g nitrógeno	1.6	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.9	1.8
Triptofano g/16 g nitrógeno	1.1	1.2	1.5	1.4	1.0	1.1	1.6	1.6

(1) Sin pantotenato de calcio.

(2) Con pantotenato de calcio.

a Tomado de los Cuadros 2, 3, 4 y 6 de Santos Oliveira (47).

lípidos individuales de la biomasa de *Candida guillermondii*. Células crecidas en 0.8% p/v de metanol a 30°C en presencia de 0.025% de sulfato de amonio contenían 12% de lípidos totales, 67% de los cuales eran lípidos neutros. En cambio al crecer en glucosa (0.74%) o etanol (0.53% p/v), la biomasa contenía 21-22% de lípidos totales, 80% de los cuales eran lípidos neutros. La distribución de ácidos grasos puede observarse en la Tabla 9; el efecto del etanol es aumentar el ácido oleico y reducen el contenido de ácido palmítico. El metanol disminuye drásticamente el ácido oleico, aumentando el palmítoleico y el linoleico. Los efectos de diferentes fuentes de carbono y nitrógeno en la composición química de los lípidos en biomasa de hongos filamentosos también han sido estudiados recientemente por Bhatia y Arneja (49) en *Fusarium oxysporum*, y Farag *et al.* (50) en *Tolyposporium ehrenbergii* y *Sphacelatheca reiliana*. Estos datos son de interés por la posibilidad de diseñar sistemas en los cuales pueda producirse simultáneamente biomasa microbiana como fuente de lípidos y proteína. Farag *et al.* (50) han discutido las características similares y de variabilidad en la composición de ácidos grasos encontrados en diferentes especies de hongos. Los ácidos grasos saturados palmítico, esteárico y araquídico y los insaturados (16:1, 18:1 y 18:2) estuvieron presentes en todas las especies. El ácido oléico fue el componente individual mayoritario. La fracción insaponificable de la grasa a su vez estuvo formada por una fracción de hidrocarburos, que constituyó el 30 al 81%, y una fracción de esteroles.

Weaver, Kroger y Kneebone (51) analizaron el contenido de proteína y aminoácidos de nueve cepas representativas de las cuatro variedades de la especie comercial de ceta *Agaricus bisporus* (Lange) producidos en el Estado de Pensilvania. El contenido de proteína cruda varió entre 19.4 y 38.8% en base seca. La sumatoria de aminoácidos entre 19.8 y 30.6 en % en base seca. En la Tabla 10 se observa la distribución de aminoácidos entre las cepas, la que da una idea de la variación esperada y de la importancia que tiene el escoger adecuadamente la cepa a emplear.

Cuando la temperatura del medio disminuye, la insaturación de los ácidos grasos debería aumentar y la longitud de las cadenas de los ácidos grasos debería disminuir con el objeto de mantener las grasas en estado líquido. Moon y Hammond (52) y Okuyama *et al.* (53) han obtenido datos experimentales de este efecto con levaduras. Los primeros autores, trabajando con *Candida curvata* y *Trichgosporon cutaneum*, encontraron que la insaturación era levemente mayor a 15°C que a temperaturas cercanas a 30°C con excepción de la cepa *T. cutaneum* 40. El cociente palmitato: estearato que debería subir al bajar la temperatura se mantuvo constante o decreció con excepción de *T. cutaneum* 24, en el que sí subió. Los segundos autores encontraron que en *Saccharomyces cerevisiae* a 30°C este cociente es de 1.5 subiendo hasta 5.5 a 5°C. Chavant, Sancholle y Montant (54) resumen los datos experimentales para hongos filamentosos termófilos, mesófilos y psicrófilos, que confirman ambas tendencias. La insaturación se manifiesta generalmente con un aumento en la proporción de ácidos grasos 18:2 y 18:3. Por otro lado las membranas de bacterias

TABLA 9

COMPOSICION DE ACIDOS GRASOS EN % DE LA FRACCION DE TRIGLICERIDOS EN LA BIOMASA DE *C. guillermondii*[a]

	Acidos grasos									
Fuente de carbono[b]	14:0	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3
G	0.2	0.1	17.2	5.6	0.6	1.6	2.4	47.5	19.5	5.4
E	0.2	0.1	11.1	3.8	—[c]	0.2	2.7	57.7	19.8	4.5
M	0.6	0.2	14.4	10.9	—	0.9	0.8	33.4	35.5	3.3

a Tomado del Cuadro 2 de Jigami *et al.* (48).
b G = glucosa, E = etanol, M = metanol.
c No fue detectado.

TABLA 10

COMPOSICION DE AMINOACIDOS DE NUEVE CEPAS DE *Agaricus bisporus*[a]

Aminoácidos	Cepa									Promedio
	D26	324	310	340	318	348	322	321	341	
Alanina	9.7	8.6	10.7	9.1	10.7	9.5	10.9	8.8	9.1	9.6
Arginina	5.3	6.0	4.1	5.8	4.3	5.5	5.0	6.5	6.0	5.5
Aspartato	11.2	10.9	11.2	11.2	10.2	10.5	10.5	10.3	10.1	10.7
Fenilalanina	4.6	4.4	4.7	4.5	4.7	4.3	4.2	4.3	4.1	4.4
Glicina	4.9	4.9	5.7	5.3	5.0	5.0	4.6	5.0	5.0	5.1
Glutamato	14.3	18.5	16.3	18.1	14.5	17.1	18.3	17.0	19.1	17.2
Histidina	2.2	2.5	1.6	2.0	1.7	2.2	2.2	2.3	2.3	2.2
Isoleucina	4.7	4.3	4.6	4.3	4.3	4.1	4.0	3.9	4.0	4.3
Leucina	7.2	7.0	7.9	7.5	7.7	7.1	6.7	7.3	6.7	7.2
Lisina	12.1	10.8	8.1	8.4	7.7	9.8	10.9	11.2	10.9	10.0
Prolina	5.6	5.4	4.8	5.6	10.4	6.1	5.4	5.7	5.4	6.1
Serina	5.1	4.8	5.8	5.3	5.4	5.3	5.1	5.6	4.6	5.2
Treonina	5.0	4.7	5.6	5.2	5.1	4.7	4.8	4.7	4.3	4.9
Tirosina	2.6	2.5	2.9	2.3	2.5	2.3	2.1	2.2	2.1	2.2
Valina	5.5	4.8	5.9	5.1	5.8	5.3	5.3	5.1	5.2	5.3

a . Tomado de los Cuadros 1 y 4 de Weaver *et al.* (51). Datos expresados como g/100 g proteína.

termoacidofílicas, como el grupo *Caldariella*, están formadas por lípidos no comunes basados en tetraéteres macrocíclicos que contienen pares de cadenas isoprenóicas bifuncionales (55) que, al parecer, son característicos en las denominadas "arcaebacterias" (56). El caso de buscar microorganismos termofílicos es de interés para países tropicales, en donde los costos de enfriamiento pueden llegar a duplicarse en el caso de operar a temperaturas mesofílicas. Hamdan y Salman (21) ofrecen perfiles de algunos aminoácidos en función de la temperatura para una bacteria aislada localmente y crecida en metanol en cultivo continuo. Los resultados muestran una tendencia a maximizar el contenido de los mismos alrededor de 44°C.

La propagación de la biomasa en ciertos substratos puede inducir a la acumulación de compuestos que generalmente se encuentran en muy pequeñas cantidades. Tal el caso de la acumulación de ácidos grasos de carbono impar en la grasa de levaduras, que han empleado como fuente de carbono y energía parafinas o alcanos de cadena con un número de átomos de carbono impar. Estos datos pueden observarse en la Tabla 11, en la que se compara la distribución de ácidos grasos de varias cepas de levaduras y en donde puede observarse la alta proporción de C15:0 y C17:1 en *C. rugosa* crecida en alcano C15. En principio este hecho causó alarma por sus posibles efectos adversos nutricionales, pero los mismos se minimizaron al encontrarlos también en diversos alimentos.

La fracción insaponificable es generalmente elevada en hongos y puede llegar a ser mayoritaria, como se ilustra en la Tabla 12. El ergosterol es el esterol más frecuentemente encontrado y mayoritario. Los esteroles I, II y IV se encuentran también en las levaduras, y conforman el 89% de la fracción esteroidal de *Candida tropicalis* crecida en n-alcanos (57).

Es indudable que las setas u hongos perfectos comestibles tienen importancia en la dieta humana y un enorme potencial como fuente de nutrientes. Los compuestos nitrogenados no-proteínicos presentes en los mismos están formados principalmente por aminoácidos libres, quitina, ácidos nucléicos, amoníaco, algunas aminas, sales cuaternarias de amonio, volátiles y ciertas vitaminas (58). Estos compuestos nitrogenados no-proteínicos pueden oscilar desde 10-13 en *Boletus edulis*, hasta 50-53% del nitrógeno total en *Tricholoma nodum* (58). Li y Chang (59) encontraron que la cantidad de ácidos nucléicos en *Agaricus bisporus, Pleurotus cystidiosus, Pleurotus sajor-caju* y *Volvariella volvacea* variaba desde 2.6 hasta 4.1% en base seca, lo que los hace los microorganismos con menor porcentaje relativo. De las vitaminas que contienen nitrógeno, la niacina, el ácido pantoténico, la riboflavina y la tiamina son mayoritarias (58). Aun cuando las setas no son las mejores fuentes de estas vitaminas, pueden llegar a ser importantes, por ejemplo en dietas vegetarianas o pobres en alimentos de origen animal. Makinen, Kurkela y Parikka (60) han estudiado el contenido de tiamina en nueve variedades diferentes, encontrando que varía desde 0.39 hasta 1.1 mg/100 g de materia seca. Dicho contenido es una función de las operaciones post-cosecha y de procesamiento posteriores, tema que se discutirá en otra opor-

TABLA 11

DISTRIBUCION DE ACIDOS GRASOS EN ALGUNAS LEVADURAS EN DIFERENTES SUBSTRATOS[a]

	Candida rugosa[b] (fase exponencial)		*Lipomyces kononenkoae*[c] (fase estacionaria inicial)		*Candida boidini*[d] (fase estacionaria tardía)		*Hansenula polymorpha*[d] (fase estacionaria tardía)	
Acido graso	Glucosa	Alcano C_{16}	Alcano C_{15}	Almidón soluble	Metanol	Glucosa	Metanol	Glucosa
10:0	t	0.71	t	-	-	-	-	-
10:1	t	-	-	-	-	-	-	-
11:0	t	t	t	-	-	-	-	-
11:1	t	-	-	-	-	-	-	-
12:0	t	t	t	t	0.5	t	1.0	t
12:1	-	-	-	-	-	-	-	-
12:2	0.55	0.30	-	-	-	-	-	-
13:0	-	-	t	1.3-1.8	-	-	-	-
13:1	-	-	0.88	-	-	-	-	-
14:0	t	t	t	0.8-1.1	0.6	1.0	t	0.2
14:1	t	-	-	t	0.4	t	t	-
15:0	0.42	t	31.59	t	0.2	t	0.2	t
15:1	-	-	1.56	-	-	-	-	-
16:0	10.57	23.90	t	20.0-25.3	18.7-19.2	19.0	13.5-14.8	15.6
16:1	7.31	28.97	t	4.7- 8.8	17.5-28.8	19.9	2.5-4.5	6.3
16:2	0.51	3.93	-	2.0- 4.2	3.0- 3.1	2.9	1.7-2.1	t
17:0	t	-	2.24	t	-	-	t	-
17:1	0.70	1.27	32.53	-	-	-	-	-
18:0	1.52	0.87	25.81	1.6- 3.7	2.3-3.1	5.0	1.9-4.7	7.5
18:1	28.02	13.71	1.62	33.5-46.9	29.8-30.5	10.9	38.3-52.3	24.9
18:2	48.49	21.46	3.77	6.3-25.7	13.2-28.4	41.3	22.9-35.5	41.2
18:3	-	-	-	-	0.4	t	1.8-2.3	4.2

a Expresados como % de la materia grasa total.
b Tomado de los Cuadros 1-3 de Iida *et al.* (110).
c Tomado del Cuadro 3 de Hossack y Spencer-Martins (111).
d Tomado del Cuadro 2 de Rattray y Hambleton (112).

TABLA 12

DISTRIBUCION DE ESTEROLES EN HONGOS[a]

Hongo	Lipidos totales[b]	Materia[c] insaponificable	Esteroles[d]					
			I	II	III	IV	V	VI
1. *Piptorus betulinus*	17.6	74.8	-	73.4	26.6	-	-	-
2. *Coriolus pargamenus*	0.7	25.0	59.3	-	-	40.7	-	-
3. *Coriolus versicolor*	0.5	50.0	49.0	31.0	-	20.0	-	-
4. *Coriolus heteromorphus*	2.1	17.2	-	70.1	29.9	-	-	-
5. *Formitopsis cytisina*	1.0	40.0	73.3	26.7	-	-	-	-
6. *Formitopsis pinicola*	2.1	16.4	70.8	-	-	29.2	-	-
7. *Microporus flabelliformis*	1.5	12.5	68.4	-	31.6	-	-	-
8. *Gloephyllum saepiarium*	0.3	51.4	45.4	34.2	-	20.4	-	-
9. *Cryptoderma citrinum*	1.5	10.0	57.5	22.1	-	20.4	-	-
10. *Grifola frondosa*	1.5	50.0	80.3	-	-	19.7	-	-
11. *Hygrocybe punicea*	3.6	11.2	78.8	-	21.2	-	-	-
12. *Lampteromyces japonicus*	15.6	24.7	45.6	-	54.4	-	-	-
13. *Leucopaxillus giganteus*	2.9	22.5	85.9	-	7.3	-	6.8	-
14. *Lentinus edodes*	5.3	26.9	83.6	-	16.4	-	-	-
15. *Flamulina velutipes*	5.0	15.5	45.3	14.1	10.5	-	-	30.1
16. *Amanita caesarea*	11.0	7.0	82.5	-	17.5	-	-	-
17. *Coprinus atramentarius*	2.5	18.1	24.5	-	75.5	-	-	-
18. *Russula foetens*	-	10.7	70.9	-	29.1	-	-	-
19. *Russula nigricans*	7.4	8.9	83.8	-	16.2	-	-	-
20. *Russula senecis*	5.8	26.5	84.5	-	-	15.5	-	-

a Tomado de los Cuadros 2 y 5 de Yokokawa (113) y de los Cuadros 1 y 2 de Yokokawa y Mitsuhoshi (114).
b Como % de la materia seca.
c Como % de los lípidos totales.
d Como % de la fracción esteroidal; I = ergosterol; II = ergosta -7.22-dien-3β-ol; III = ergosta-5.7-dien-3β-ol; IV = ergosta-7-en-3β-ol; V = colesta-7-en-3β-ol; VI = ergosta 5,8,22-trien-3β-ol.

tunidad. Los mismos aminoácidos que conforman la proteína son los que generalmente ocurren como aminoácidos libres, llegando a representar entre 0.5 y 2.0 de la materia seca (58). También están presentes aminoácidos no comunes y ciertos derivados de éstos, por ejemplo la agaritina o derivado que contienen el grupo funcional de las fenilhidrazinas y que a menudo se encuentra en el hongo comercial *A. bisporus* (61). Existen también aminas volátiles y otros compuestos azufrados derivados del nitrofenil (58); sin embargo, los compuestos volátiles que conforman el aroma característico de las setas son una mezcla muy compleja en la que la mayoría son los alcoholes y cetonas de ocho carbones conjuntamente con el alcohol y aldehido bencílico, el hexanol y el 3-metilbutanol (62). Estos compuestos se originan enzimáticamente de ácidos grasos insaturados C_{18} (63). La asimilación de metales presentes en los substratos y su traslado hacia las partes fructificantes ha sido tema de interés especialmente enfocado a metales tóxico-pesados como el mercurio y el cadmio. Brunnert y Zadrazil (64) recientemente estudiaron este fenómeno en varios hongos y demostraron que son capaces de acumular cadmio y mercurio a niveles bastante elevados. La asimilación depende de la variedad de setas, la concentración en el substrato, y el grado de biodegradación del mismo.

El contenido de vitaminas de algunos microorganismos fotosintéticos (algas y cianobacterias) cultivados en el laboratorio se exponen en la Tabla 13. La biomasa de estos microorganismos supera en su contenido de tiamina, riboflavina, ácido fólico y caroteno a muchas hortalizas. Tienen aproximadamente igual o un poco menor el contenido de ácido ascórbico. No obstante, las cifras absolutas de estos compuestos dependen de las condiciones de cultivo y, en muchos casos existe un equilibrio entre la excreción al medio de cultivo y la asimilación del medio hacia la célula, por ejemplo el caso de la acumulación de riboflavina por la levadura *Candida guilliermondii* (65). Cuando las levaduras *Candida lipolytica* y *Candida boidini* se desarrollaron en diferentes substratos con la adición de nitrógeno, fósforo, magnesio y extracto de levadura, mostraron contenidos similares de cenizas, y no se encontraron diferencias significativas en la concentración de los elementos (66), (Tabla 14).

La literatura técnica sobre los aspectos de la variación de la composición química de la biomasa microbiana como causa directa de las condiciones generales de cultivo es extensa, y los ejemplos que en este trabajo han sido mencionados brevemente sirven como una pequeña muestra.

TABLA 13

CONTENIDO VITAMINICO DE ALGUNOS MICROORGANISMOS FOTOSINTETICOS[a]

Microorganismo	Vitaminas					
	Acido ascórbico	Caroteno	Tiamina	Riboflavina	Acido fólico	Acido nicotínico
Algas						
Chlorella vulgaris	242	166	4.3	5.9	1.67	29.2
Platimonas viridis	54	153	2.0	3.0	-	-
Cianobacterias						
Synechococcus elongatus	195	186	2.0	4.1	5.5	16.9
Spirulina platensis	212	234	4.8	6.6	6.7	9.1
Cyanidium caldarium	66	112	2.2	4.8	0.2	31.4

a Tomado del Cuadro 1 de Bayanova y Trobachev (115). Expresados como mg% de materia seca.

TABLA 14

ELEMENTOS MINERALES EN LA BIOMASA DE *C. lipolytica* Y *C. boidini* COMPARADA CON LEVADURA DE PANIFICACION COMERCIAL[a]

Elemento	Levadura de panificación (*S. cerevisiae*)	*C. lipolytica*		*C. boidini*			
		Glucosa	$C_{15}+C_{16}$[b]	Glucosa	Xilosa	Etanol	Metanol
K	20,100	10,800	11,700	20,500	19,200	10,400	15,500
Na	592	116	78	74	91	64	64
Mg	1,246	572	1,088	2,760	1,739	1,395	2,636
Ca	392	294	135	253	245	373	434
P	23,800	29,300	30,500	39,500	34,200	35,200	39,600
Fe	56	66	112	149	120	109	253
Ca	5	8	4	12	15	32	21
Zn	294	59	59	193	167	135	204
Cd	0.3	0.5	0.8	1.3	2.5	1.2	2.6
S	2,100	1,200	1,800	2,100	2,000	1,600	1,700
Cenizas, %	5.9	4.4	4.9	7.4	7.5	5.3	5.9

a Tomado del Cuadro 1 de Mannino y Cavazzoni (65). Datos expresados en ppm base seca.
b Mezcla en partes iguales de pentadecano y esadecano.

SUMMARY

CHEMICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MICROBIAL BIOMASS PRODUCTS

The nutritional potential of microbial biomass products is determined by their chemical and biochemical characteristics. The same vary according to the microbial species, the source of nutrients employed for their growth, the operational mode of bioreactor and, finally, due to processing effects during growth or in the unit operations employed for its recovery. In this review, a detailed chemical description is given for those microbial biomass products from algae, bacteria, yeast and fungi, which have been either commercially produced or produced for demonstration purposes in pilot installations. Lastly, the effect of some operational parameters over the biomass chemical composition are illustrated in order to show general tendencies that have been experimentally observed, without a claim to be an exhaustive literature review of all aspects involved.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer el patrocinio parcial del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Organización de Estados Americanos (OEA), dentro del Proyecto Multinacional de Tecnología de Alimentos.

BIBLIOGRAFIA

1. Mateles, R.I. & S.R. Tannenbaum. **Single Cell Protein.** Cambridge, MA, The MIT Press, 1968.
2. Tannanbaum, S.R. & D.I.C. Wang. **Single Cell Protein II.** Cambridge, MA, The MIT Press, 1975.
3. Mateles, R.I. The physiology of single cell protein (SCP) production. In: **Microbial Technology Society for General Microbiology Symposium 29.** A.T. Bull, D.C. Ellwood and C. Ratledge (Eds.). Cambridge, England, Society for General Microbiology, 1979, p. 29.
4. Rose, A.A. History and scientific basis of large scale production of microbial biomass. In: **Microbial Biomass.** A.H. Rose (Ed.). London, England, Academic Press, 1979, p. 24.
5. Kihlberg, R. The microbe as a source of food. **Ann. Rev. Microbiol.**, 26: 427, 1972.
6. Tannenbaum, S.R., C.L. Cooney, A.M. Demain & L. Havergerg. Non-photosynthetic SCP. In: **Protein Resources and Technology: Status and Research Needs.** M. Milner, N.S. Scrimshaw & D.I.C. Wang (Eds.). Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1978, p. 502.
7. Forage, A.J. Utilization of agricultural and food processing wastes containing carbohydrates. **Chem. Soc. Rev.**, 8: 309, 1979.
8. Enebo, L. Growth of algae for protein: State of the art. **Chem. Eng. Prog. Symp. Series 65**: 80, 1969.
9. Tsukada, O. & T. Kawahara. Mass culture of Chlorella in Asian countries. In:

Biological Solar Energy Conversion. A Mitsui, Sh. Myachi, A. San Pietro and S. Tamura (Eds.). New York, N.Y., Academic Press, 1977, p. 363.

10. Kawaguchi, K. Microalgae production systems in Asia. In: **Algae Biomass.** G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 25.
11. Shelef, G., Y. Azov, R. Moraine & G. Oron. Algal mass production as an integral part of a wastewater treatment and reclamation system. In: **Algae Biomass.** G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 163.
12. Lipstein, B. & S. Hurwitz. The nutritional and economic value of algae for poultry. In: **Algae Biomass.** G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980,. p. 667.
13. Lipstein, B. & S. Hurwitz. The nutritional value of algae for poultry. Dried Chlorella in broiler diets. **British Poultry Sci., 21:** 23, 1980.
14. Balloni, W., C. Filpi & G. Florenzano. Recent trends in the research on wastewater reclamation by photosynthetic bacterial and algal systems. In: **Algae Biomass.** G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 217.
15. Battaglini, M., A. Grandi, C. Paoletti & B. Pushparaj. Sull'uso di biomasse di **Scenedesmus acutus** 8M come concentrato proteico sustitutivo in razioni alimentari per canigli in accrescimento. **Zoot. Nutr. Anim., 5:** 211, 1979.
16. Rose, A.H. **Fermented Foods.** London, Academic Press, 1982.
17. Steinkraus, K.H. Traditional food fermentations as industrial resources. **Acta Biotecnol., 3:** 3, 1983.
18. Carr, J.G., C.V. Cutting & G.C. Whiting. **Lactic Acid Bacteria in Beverages and Food.** London, Academic Press, 1975.
19. Erdman, M.D., W.G. Bergen & C.A. Reddy. Amino acid profiles and presumptive nutritional assessment of SCP from certain lactobacilli. **Appl. Environ. Microbiol., 33:** 901, 1977.
20. Faust, U. & P. Preva. Biomass from methane and methanol. In: **Biotechnology.** H.J. Rehm and G. Reed (Eds.). Verlag Chemie, Weinheim., 1983, p. 83.
21. Hamdan, I.Y. & A.J. Salman. Developing SCP for animal feeding in Kuwait. **Presented at the Federation of Arab Research Council Meeting held at Amman, Jordan, November 20-24, 1982.**
22. Meyrath, J. & K. Bayer. Biomass from whey. In: **Microbial Biomass, Economic Microbiology 4.** A.H. Rose (Ed.). London, Academic Press, 1979, p. 207.
23. Skogman, H. Production of Symba yeast from potato waste. In: **Food from Waste.** G.G. Birch, K.J. Parker and J.T. Worgan (Eds.). London, Applied Science Publishers, 1976, p. 167.
24. Knecht, R., P. Prave, R. Seipenbusch & D.A. Sukatsch. Microbiology and biotechnology of SCP produced from n-paraffin. **Proc. Biochem., 12:** 11, 1977.
25. Birchenstaedt, J.W., U. Faust & W. Sambeth. Production of SCP from n-paraffin-processes and products. **Proc. Biochem., 12:** 7, 1977.
26. Suzuki, Y. Dainippon ink and chemical projects for producing SCP from n-paraffin. **Presentado en el Simposio Internacional sobre SCP APRIA.** París, Enero 28-30, 1981.
27. Decerle, Ch., S. Franchowiak & C. Gatellier. How IFP makes food yeast. **Hydrocarb. Proc., 48:** 109, 1969.
28. Ohkouchi, H., H. Iesaka & I. Nagai. The MGC methanol-SCP process. **Proc. OAPEC Symp. Petroprotein,** Kuwait, p. 333, 1980.

29. Masuda, Y., M. Nahanishi & Y. Sakakura. Make SCP from ethanol. **Hydrocarb. Proc., 55**: 113, 1976.
30. Masuda, Y. Single cell proteins. **Technocrat.,11**: 11, 1978.
31. Rolz, C. & A.E. Humphrey. Microbial biomass from renewables: Review of alternatives. **Adv. Biochem. Eng., 21**: 1, 1982.
32. Davy, C.A.E., D. Wilson & J.C.M. Lyon. In: **Advances in Biotechnology**. M. Moo-Young and R.W. Robinson (Eds.). Toronto, Pergamon Press, 1981, p. 343.
33. Forage, A.J. Recovery of yeast from confectionary effluent. **Process Biochem.**, 13: 8,1978.
34. Crisan, E.V. & A. Sands. Nutritional value. In: **The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms**. T.S. Chang and V.A. Hayes (Eds.). New York, Academic Press, 1978, p. 137.
35. Hayes, W.A. & S.H. Wright. Edible mushroom. In: **Microbial Biomass Economic Microbiology 4**. A.H. Rose (Ed.). London, Academic Press, 1979, p. 142.
36. Romantschuk, H. The Pekilo process: Protein from spent sulphite liquor. In: **Single Cell Protein II**. S.R. Tannenbaum and D.I.C. Wang (Eds.). Cambridge, The MIT Press, 1975, p. 344.
37. Romantschuk, H. & M. Lehtomaki. Operational experiences of first full-scale Pekilo SCP mill application. **Proc. Biochem., 13**: 16, 1978.
38. Moo-Young, M., A.J. Daugulis, D.S. Chahal & D.G. Macdonald. The Waterloo process for SCP production from waste biomass. **Process Biochem.**, 14: 38, 1979.
39. Moo-Young, M., A. Ling & D.G. Macdonald. New process changes pulp mill waste to animal food. **Pulp Paper Canada, 81**: T125, 1980.
40. Martini, A., A.E. Martini & A.W. Miller. Variations of cellular nitrogen components of different yeasts during growth. **J. Sci. Food Agr., 30**: 1012, 1979.
41. Alroy, Y. & S.R. Tannenbaum. The influence of environmental conditions on the macromolecular composition of *Candida utilis*. **Biotechnol. Bioeng., 15**: 239, 1973.
42. Paredes O., E. Camargo & A. Ornelas. Influence of specific growth rate on biomass yield, productivity and composition of C. *utilis* in batch and continuous culture. **Appl. Environ. Microbiol., 31**: 487, 1976.
43. Alroy, Y. & S.R. Tannenbaum. Considerations in predicting phenotypic modifications in amino acid profiles of total cell protein of microorganisms. **Biotechnol. Bioeng., 19**: 1145, 1977.
44. Alroy, Y &. S.R. Tannenbaum. Phenotypic modifications in amino acid profiles of cell residues of C. *utilis* and *E. aerogenes*. **Biotechnol. Bioeng., 19**: 1155, 1977.
45. Magalhaes, M.M. dos A., M.L.R. Vairo & W. Borzani. Ethanol fermentation of blackstrap molasses: Influence of nitrogen source addition on the amino acids content of the residual yeast. **J. Ferment. Technol., 57**: 534, 1979.
46. Magalhaes, M.M. dos A., M.L.R. Vairo & W. Borzani. Effect of nitrogen source addition to the mash on the protein content of the residual yeast in ethanol fermentation of blackstrap molasses. **Rev. Bras. Tecnol., 11**: 13, 1980.
47. Santos Oliveira, J. Influence du pantothenate dans la croissance et composition chimique de la levure *Candida utilis*. **Ind. Aliment. Agr., 91**: 93, 1982.
48. Jigami, Y., O. Suzuki & S. Nakasato. Comparison of lipid compositionof *C. guillermondii* grown on glucose, ethanol and methanol as the sole carbon source. **Lipids, 14**: 937, 1979.
49. Bathia, I.S. & J.S. Arneja. Effect of different cultural conditions on the chemical composition of lipids of *F. oxysporum*. **J. Sci. Fd. Agric., 29**: 611, 1978.
50. Farag, R.S., F.A. Khalil, H. Salem & L.H.M. Ali. Various sugars and nitrogen sources effects on fungal lipid production. **Grasas y Aceites, 34**: 108, 1983.

51. Weaver, J.C., M. Kroger & L.R. Kneebone. Comparative protein studies of nine strains of *Agaricus bisporus*. **J. Fd. Science, 42**: 364, 1977.
52. Moon, N.J. & E.G. Hammond. Oil production by fermentation of lactose and the effect of temperature on the fatty acid composition. **J. Am. Of. Chem. Soc., 15**: 683, 1978.
53. Okuyama, H., M. Saito, V. Joshi, S. Gunsberg & S.J. Wakil. Regulation by temperature of the chain length of fatty acids in yeast. **J. Biol. Chem., 254**: 12281, 1979.
54. Chavant, L., M. Sancholle & C. Montant. Influence de la temperature sur la biosynthese des acides gras de deux champignons filamenteux. **Phytochem., 18**: 1471, 1979.
55. De Rosa, M., A. Gambacorta, B. Nicolaus & J. Bu'Lock. Complex lipids of *Caldariella acidophila*, a thermoacidophile archaebacterium. **Phytochem., 19**: 821, 1980; Effects of temperature on other lipid composition of *Caldariella acidophila*. **Phytochem., 19**: 827, 1980; Structural regularities in tetraether lipids of *Caldariella* and their biosynthetic and phyletic implication. **Phytochem., 19**: 833, 1980.
56. Kushwasa, S.C., M. Kates, G.D. Sprott & I.C.P. Smith. Novel complex polar lipids from the methanogenic archaebacterium *Methanospirillum hungatei*. **Science, 211**: 1163, 1981.
57. Sica, D., L. Boniforti & G. di Giacomo. Sterols of *C. tropicalis* grown on n-alkanes. **Phytochem., 21**: 234, 1982.
58. Kurkela, R., J. Koivurinta & R. Kuusinen. Non-protein nitrogen compounds in the higher fungi. **Food Chem., 5**: 109, 1980.
59. Li, G.S.F. & S.T. Chang. The nucleic acid content of some edible mushrooms. **Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 15**: 237, 1982.
60. Makinen, S., R. Kurkela & T. Parikka. On the thiamine content of some edible mushrooms. **Karstenia, 18**: 29, 1978.
61. Speroni, J.J., R.B. Beelman & L.C. Schisler. Factors affecting the agaritine content in cultivated mushroom *A. bisporus*. **J. Food Prot., 46**: 506, 1983.
62. Grove, J.F. Volatile compounds from the mycelium of the mushroom *A. bisporus*. **Pytochem., 20**: 2021, 1981.
63. Tressl, R., D. Bahri & K.H. Engel. Formation of eight carbon and ten carbon components in mushrooms (*A. campestris*). **J. Agric., Food Chem., 30**: 89, 1982.
64. Brunnert, H. & F. Zadrazil. The translocation of mercury and cadmium into fruiting bodies of six higher fungi. A comparative study on species specificity in five lignocellulolytic fungi and the cultivated mushroom *A. bisporus*. **Eur. J. Appl. Microbiol., Biotechnol., 17**: 358, 1983.
65. Straube, G. Riboflavin accumulation by cell of the yeast *Pichia* (Candida) *guilliermondii*. **Z. Allg. Mikrobiol., 20**: 215, 1980.
66. Mannino, S. & V. Cavazzoni. Mineral content of *Candida* yeasts grown on different substrates. **Lebensm. Wiss. Technol., 13**: 34, 1980.
67. MacLaren, D.D. SCP-an overview. **Chem. Technol., 5**: 594, 1975.
68. Rogers, P.L. SCP from food and agricultural wastes. **Food Technol. Australia, 30**: 109, 1978.
69. Drews, G. Mikroorganismen-eiweiss fur die ernahrung. Naturwiss. Rundsch., 32: 11, 1979.
70. MacLennan, D.G., J.S. Gow & D.A. Stringer. Methanol-bacterium process for SCP. **Process Biochem., 8**: 22, 1973.
71. Rehm, H.J. Biotechnologie der einzeller-protein Gewinnung. **Ernaehrumsch., 23**: 307, 1976.
72. Praeve, P. & U. Faust. Biotechnology. **Chem. Br., 14**: 552, 1978.

73. Roth, F.X. Mikroorganismes als proteinsquelle in der tierernahrung. **Kraftfutter, 62**: 122, 1979.
74. Endo, H. & M. Shirota. Studies on the heterotrophic growth of *Chlorella* in a mass culture. In: **Proc. IV IFS: Ferment. Technol. Today**, 1972, p. 533.
75. Waslien, C.I. Unusual sources of protein for man. **Crit. Rev. Food Science Nutr., 6**: 77, 1975.
76. Mitsuda, H., K. Yasumoto & H. Nakamura. A new method for obtaining protein isolates from *Chlorella* algae, *Torula* yeasts and other microbial cells. **Chem. Eng. Prog. Symp. Series, 65**: 93, 1969.
77. Yannai, S., S. Mokady, K. Sachs, B. Kantarowitz & Z. Berk. Certain contaminants in algae and in animals fed algae-containing diets and secondary toxicity of the algae. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and G. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 756.
78. Capella, P., C. Paoletti & R. Matterassi. Sulla composizione dei lipidi algali in confronto a quella dell'olio di oliva, con particolare riguardo all'insaponificable. **Riv. Ital Sost. Grasse, 54**: 271, 1977.
79. Matterassi, R., C. Paoletti, W. Balloni & G. Florenzano. Some considerations on the production of lipid substances by microalgae and cyanobacteria. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 619.
80. Soeder, C.J. Massive cultivation of microalgae - Results and prospects. **Hydrobiol., 72**: 197, 1980.
81. Becker, E.W. Algae mass cultivation-production and utilization. **Process Biochem., 16**: 10, 1981.
82. Walz, O.P. & H. Brune. Studies on some nutritive effects of the green algae *Scenedesmus acutus* with pigs and broilers. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and C.J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 733.
83. Becker, E.W. Comparative toxicological studies with algae in India, Thailand and Pure. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 767.
84. Payer, H.D., W. Pabst & K.H. Runkel. Review of the nutritional and toxicological properties of the green alga *Scenedesmus obliquus* as a single cell protein. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 787.
85. Klafs, H.J., S. Reungmaniphytoon & P. Paramadilok. The protein quality of algae produced in Thailand as determined by biological assays with rats. Fifth Report Kasetsart University IFRPD Algae Project, Bangkok, 1975/76.
86. Hernández, I.T. de & A.S. Shimada. Estudios sobre el valor nutritivo del alga *Spirulina maxima*. **Arch. Latinoamer. Nutr., 28**: 196, 1978.
87. Durand-Chastel, H. Production and use of Spirulina in Mexico. In: **Algae Biomass**. G. Shelef and C.J. Soeder (Eds.). Amsterdam, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980, p. 51.
88. Santillán, C. Mass production of Spirulina. **Experientia, 38**: 40, 1982.
89. Yoshida, M. & H. Hoshii. Nutritive value of Spirulina, green algae for poultry feed. **Jap. Poultry Science, 17**: 27, 1980.
90. Urakami, T., I. Terao & I. Nagai. Process for producing bacterial single cell protein from methanol. In: **Microbial Growth on C1 Compounds**. H. Dalton (Ed.). London, Hayden, 1981, p. 349.
91. Ericsson, M., L. Ebbinghaus & M. Lindblom. SCP from methanol: Economic aspects of the Norprotein process. **J. Chem. Tech. Biotechnol., 31**: 33, 1981.

92. Mogren, H. SCP from methanol- The Norprotein process. **Process Biochem., 14**: 2, 1979.
93. Shaclady, C.A. Hydrocarbon-grown yeasts in nutrition. In: **Protein as Human Food**. R.A. Lawrie (Ed.). Westport, Conn., The Avi Publishing, Co., 1970, p. 317.
94. Shaclady, C.A. SCP from hydrocarbons as animal feed ingredients. **Process Biochem., 9**: 9, 1974.
95. Shaclady, C.A. Response of livestock and poultry to SCP. In: **Single-Cell Protein**. P. Davis (Ed.). London, Academic Press, 1974, p. 115.
96. Shaclady, C.A. Value of SCP for animals. In: **Single-Cell Protein II**. S.R. Tannenbaum and D.I.C. Wang (Eds.). Cambridge, The MIT Press, 1975, p. 489.
97. Levi, J.D., J.L. Shennan & G.P. Ebbon. Biomass from liquid n-alkanes. In: **Microbial Biomass Economic Microbiology**. A.H. Rose (Ed.). London, Academic Press, 1979, p. 361.
98. Takata, T. From n-paraffins to proteins. **Hydrocarb. Proc., 48**: 99, 1969.
99. Cardini, G., L. Di Fiore & A. Zotti. Caratterische di un lievito coltivato su metanolo. **Chim. Ind., 57**: 381, 1975.
100. Cardini, G., L. Cavalli & B. Calcagno. Caratteristiche di un lievito coltivato su metanolo. Composizione degbli acidi grassi. **Chim. Ind., 58**: 173, 1976.
101. Heisel, M. Gewinnung von Single-Cell-Protein durch Hefe-Fermentation unter Verwendung von Sauerstoff. **Chem. Ing. Tech., 52**: 60, 1980.
102. Anon. Protein from biotechnology. **Food Eng. Intl., 8**: 31, 1983.
103. Anderson, C., J. Longton, C. Maddix, G.W. Scammell & G.L. Solomons. The growth of microfungi on carbohydrates. In: **Single Cell Protein II**. S.R. Tannenbaum and D.I.C. Wang (Eds.). Cambridge, Mass., The MIT Press, 1975, p. 314.
104. Duthie, I. Animal feeding trials with a microfungal protein. In: **Single Cell Protein II**. S.R. Tannenbaum and D.I.C. Wang (Eds.). Cambridge, Mass., The MIT Press, 1975, p. 505.
105. Heger, J., Z. Frydrych & J. Vavak. The effect of methionine supplementation on the nutritive value of yeast and Pekilo protein. **Biol. Chem. Veterinaria, 16**: 233, 1980.
106. Kiishinen, T., J. Makela & J. Kangas. The Finnish SCP Pekilo and Silva in the feeding of fur-bearing animals. **Scientifur, 4**: 32, 1980.
107. Jaervinen, R., R. Savonen, A. Ahlstroem & T. Alaviuhkola. Physiological effects of Pekilo SCP on pigs. **J. Sci. Agric. Soc. Finl., 52**: 14, 1980.
108. Salo, M.L. Chemical composition and feed value of the Pekilo. In: **Research Reports of Pekilo-Symposium**. T. Kiishinen (Ed.). Tikkurila, 1979, p. 9.
109. Lehtomaki, M. The variation of the chemical composition of Pekilo product. In: **Research Reports of Pekilo-Symposium**. T. Kiishinen, (Ed.)., Tikkurila, 1979, p. 21.
110. Iida, M., H. Kobayashi & H. Iizuka. Cellular fatty acids derived from normal alkanes. **Z. Allg. Mikrobiol., 20**: 449, 1980.
111. Hossack, J.A. & I. Spencer-Martins. Lipid composition of the yeast *L. kononenkoae*. **J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 5**: 273, 1978.
112. Rattray, J.B.M. & J.E. Hambleton. The lipid components of *Candida boidini* and *Hansenula polymorpha* grown on ethanol. **Can. J. Microbiol., 26**: 190, 1980.
113. Yokokawa, H. Fatty acid and sterol compositions in mushrooms of ten species of Polyporaceae. **Phytochem., 19**: 2615, 1980.
114. Yokokawa, H. & T. Mitsuhashi. The sterol composition of mushrooms. **Phytochem., 20**: 1349, 1981.
115. Bayanova, Y.I. & I.N. Trobachev. Comparative evaluation of the vitamin composition of some unicellular algae and higher plants grown under artificial conditions. **Appl. Biochem. Microbiol., 17**: 292, 1981.