



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

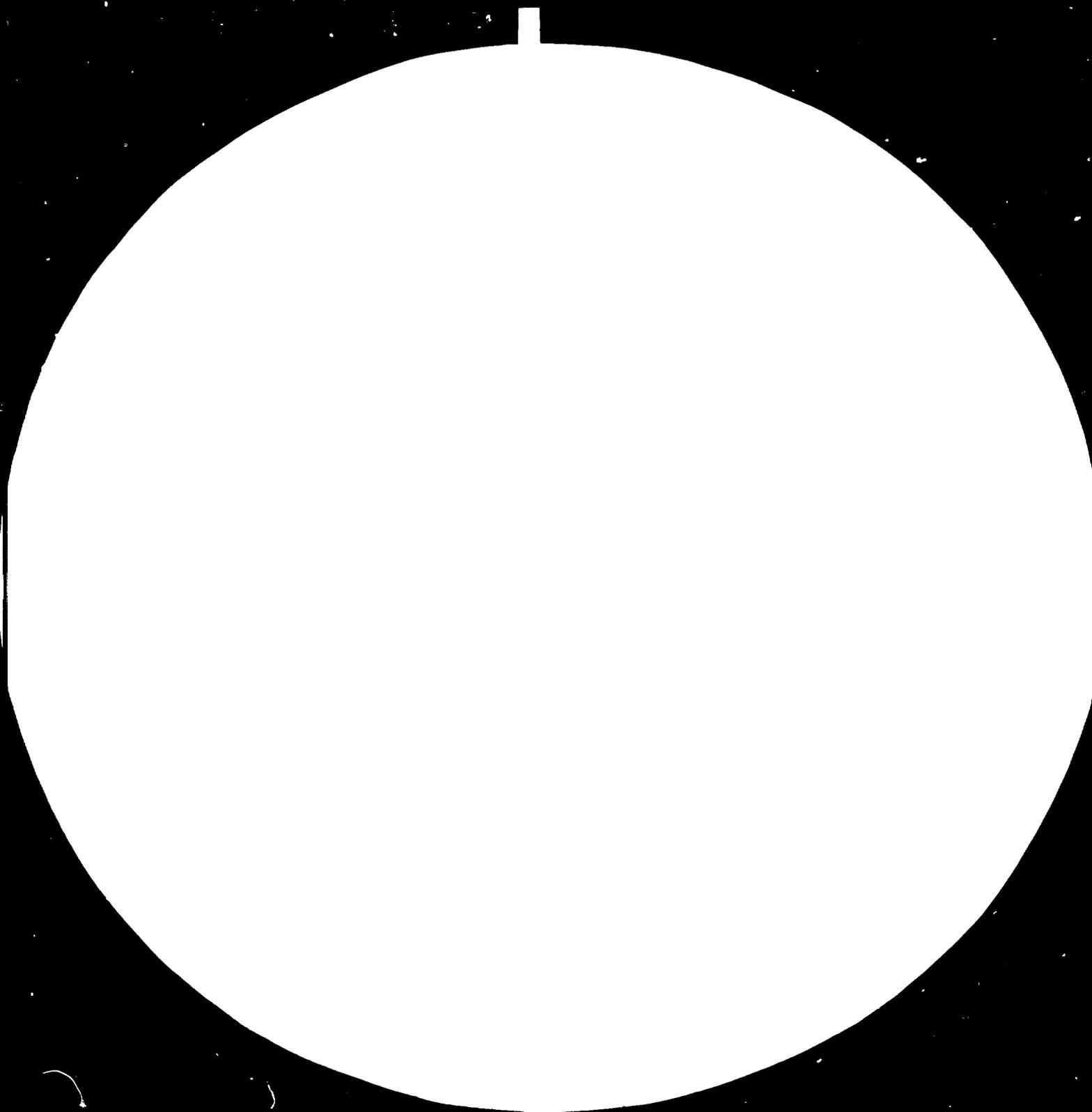
FAIR USE POLICY

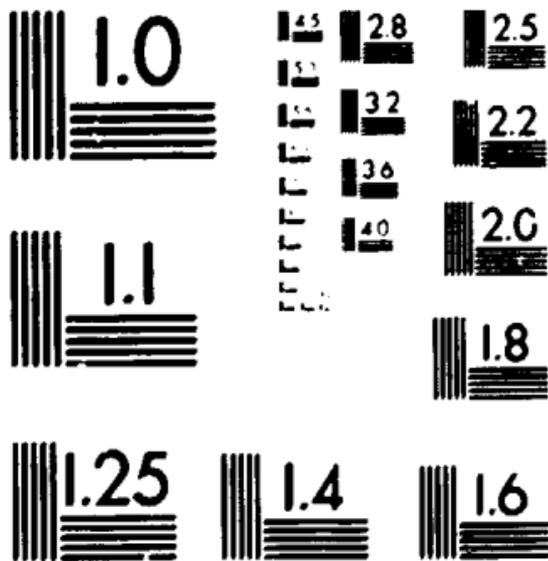
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

14421-S
1/105

**EL CAMINO DE ARROZ
UNA METODOLOGIA INNOVADORA**



**EL SALVADO DE ARROZ:
UNA MATERIA PRIMA SUBUTILIZADA**

EL SALVADO DE ARROZ: UNA MATERIA PRIMA SUBUTILIZADA



**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL**

Viena, 1987

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas o de productos comerciales y procesos industriales no entraña juicio alguno sobre ellos por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

ID/320

PUBLICACIÓN DE LA ONUDI

Núm. de venta: S.84.II.B.3

ISBN: 92-1-306153-6

02100P

Prefacio

El arroz es, indudablemente, uno de los alimentos humanos fundamentales. Es, con mucho, el cereal alimenticio más importante del Asia Suroriental y del Lejano Oriente, al tiempo que gana rápidamente popularidad en África y América Latina.

Ahora bien, el arroz se diferencia notablemente en su estructura de otros cereales de uso común, por lo que se necesitan métodos de elaboración especializados para hacerlo comestible. Así pues, el palay es la materia prima de una importante rama de la industria de elaboración de alimentos, a saber, la industria molinera del arroz. En un molino arrocero debidamente aprovechado, la producción de arroz blanco lleva aparejada la producción de su subproducto, el salvado de arroz. No obstante, hasta la fecha, el salvado de arroz, pese a ser muy rico en aceite, proteínas, minerales y vitaminas, no ha recibido la atención que merece como materia prima secundaria de gran valor para la producción de aceite vegetal y proteínas para consumo humano o piensos animales.

Muchas instituciones nacionales e internacionales de investigación han estado trabajando con miras a desarrollar la producción y elaboración de salvado de arroz y allanar así el camino para la aplicación de operaciones de elaboración industrial eficientes. Como resultado de sus esfuerzos, y ciertamente también debido a que la industria del aceite vegetal en los países en desarrollo sufre de una grave escasez de materias primas, el salvado de arroz parece estar en camino de convertirse en una materia prima importante para la producción de aceite vegetal y proteínas para alimentación de los animales. No obstante, queda todavía mucho por hacer en esta esfera antes de que las industrias alimentarias puedan aprovechar plenamente este subproducto, para que pueda hacer una contribución real a los suministros de alimentos humanos, particularmente en los países en desarrollo.

La presente publicación ha sido preparada por los doctores S. Barber y C. Benedito de Barber, del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valencia, España. Su objetivo es proporcionar a todas las personas interesadas en la producción de salvado de arroz y en las operaciones de su elaboración una información pormenorizada y amplia sobre el salvado de arroz como subproducto y como materia prima potencial. La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) espera que esta publicación dé respuesta a muchos de los problemas que plantea el aprovechamiento de este útil subproducto.

ABREVIATURAS

Además de las abreviaturas, símbolos y términos comunes, y de los aceptados por el Sistema Internacional de Unidades (SI), se han empleado los siguientes:

Abreviaturas y símbolos técnicos

AGL	ácidos grasos libres
CBB	índice de salvado coloreado
CEM	método de intercambio de bióxido de carbono
Hg-BPB	cloruro mercúrico-azul de bromofenol
HRE	humedad relativa de equilibrio
KIST	Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología
MELN	materias extractivas libres de nitrógeno
NPU	utilización neta de proteína
PAS	reactivo ácido periódico de Schiff
PER	relación de eficacia proteica
psi	libras por pulgada cuadrada (1 psi = 0,069 bar)
TBA	ácido tiobarbitúrico

Organizaciones

AOCS	American Oil Chemists Society
IATA	Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Prefacio	v
Abreviaturas	vi
<i>Capítulo</i>	
I. EL GRANO DE ARROZ, EL PROCESO DE ELABORACIÓN Y LA PRODUCCIÓN DE SALVADO	1
El grano de arroz: materia prima para la producción de salvado ...	1
Anatomía del grano de arroz	1
Histología del grano de arroz	4
Composición química del grano de arroz	13
El proceso de la molienda y la producción de salvado	15
El proceso de elaboración	16
Molinos y tipos de equipo utilizado	31
II. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	50
Significado y fines de la estabilización	50
Estabilización y post-estabilización	50
Coexistencia de componentes valiosos y componentes perjudiciales	50
Destrucción de microorganismos	51
Destrucción térmica	52
Destrucción de microorganismos por radiaciones ionizantes	57
Inactivación de enzimas	50
Principios fundamentales	60
Agentes desnaturizantes (o inactivadores)	61
Inactivación de enzimas por calor	62
Influencia de la actividad del agua sobre la actividad enzimática	70
Influencia del pH sobre la actividad y la estabilidad enzimáticas	72
Otros agentes de inactivación térmica	75
Control de otros componentes perjudiciales del salvado en la estabilización	76
Pérdidas de componentes valiosos del salvado durante la estabilización	76
Medios de estabilizar el salvado y estabilidad de los componentes	76
Efectos de los distintos medios de estabilización sobre los componentes valiosos del salvado	77

III. MORFOLOGÍA, ANATOMÍA, HISTOLOGÍA E HISTOQUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS DISCRETAS DEL SALVADO COMERCIAL	84
Introducción	84
Partículas discretas simples del salvado comercial	86
Fragmentos de lema y palea	86
Fragmentos de glumas estériles	89
Fragmentos de pedicelo	90
Fragmentos de pericarpio	90
Fragmentos de endospermo amiláceo	90
Germen	93
Fibras	117
Partículas discretas compuestas del salvado comercial	117
Fragmentos de pericarpio con cubierta de la semilla	117
Fragmentos de la cubierta de la semilla con capa de aleurona ...	119
Otros tipos de partículas compuestas	119
IV. EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE SALVADO DE ARROZ	125
El control de la elaboración	125
Métodos para medir el grado de elaboración del arroz	126
Control de la producción de salvado	130
Salvado de arroz, fracciones y subproductos afines: nomenclatura y definiciones	133
Factores que determinan las características del salvado	138
Factores asociados al arroz	140
Factores asociados al proceso de elaboración	150
V. TECNOLOGÍA DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	160
Introducción	160
Métodos de estabilización	160
Estabilización química	161
Estabilización física	164
La estabilización por calor: técnica muy aceptada	166
Criterios para la evaluación de los métodos de estabilización	206
Criterios para evaluar la estabilidad del salvado tratado	207
Criterios para la evaluación de las pérdidas de propiedades deseables del salvado durante la estabilización	211
VI. EL ALMACENAMIENTO DEL SALVADO DE ARROZ	221
El almacenamiento en la práctica	221

	<i>Página</i>
Factores que influyen en la alteración del salvado	222
La función del agua: isothermas de sorción	222
Temperatura	226
Otros factores	227
Causas de la alteración del salvado	228
Reacciones químicas	228
Reacciones de naturaleza enzimática	228
Alteraciones de naturaleza biológica	232
Cambios en la composición y propiedades del salvado durante al almacenamiento	236
Color, sabor y olor	237
Composición química media	238
Composición y características de los constituyentes químicos del salvado	241
ABSTRACT	259
SOMMAIRE	261

Cuadros

Capítulo I

1. Dimensiones del grano de arroz de variedades comerciales	3
2. Distribución anatómica de la masa del grano de arroz	3
3. Composición química del arroz y cambios que ocurren durante la elaboración	15
4. Separación y recuperación manual de germen en una máquina desgerminadora	41

Capítulo II

1. Resistencia de diversas unidades biológicas a la radiación ionizante	60
2. Métodos analíticos para determinar los cambios en aceites y grasas	80

Capítulo III

1. Tipos y composición anatómica de partículas discretas identificadas en el salvado comercial	86
2. Distribución anatómica de la cariósida del arroz	93
3. Distribución de órganos y estructuras en áreas histológicas del germen de arroz	102

Capítulo IV

1. Cantidad de salvado que se separa del arroz durante la elaboración, según países	126
2. Tipos de salvado y fracciones: componentes y su nomenclatura en español e inglés	136
3. Tamaño, forma y peso de las variedades comerciales de arroz de los Estados Unidos de América	140
4. Estadísticas de medidas del espesor de la capa de salvado de la cariósida del arroz	143
5. Estadísticas de medidas del espesor de la capa de salvado en diferentes puntos de la cariósida	143
6. Separación del germen durante el blanqueo	147

	<i>Página</i>
7. Efectos del sancochado sobre el peso del germen y el contenido de aceite del mismo	147
8. Efectos del sancochado sobre el contenido de aceite de salvado	148
9. Composición del salvado producido en un molino tipo "huller" y en un molino de conos	151
10. Composición media del salvado procedente de diferentes tipos de descascarilladora	152
11. Efectos de los diferentes tipos de descascarilladora sobre el contenido de aceite del salvado de blanqueadoras	153
12. Distribución de tamaños de partícula de diferentes tipos de salvado procedentes de blanqueadoras	154
13. Composición media de salvados procedentes de blanqueadoras de fricción y de abrasión	154
14. Influencia de la presencia de quebrados sobre el contenido de aceite del salvado comercial de un molino de conos abrasivos	154

Capítulo V

1. Compuestos químicos ensayados para estabilizar el salvado de arroz	162
2. Diferentes tipos de tratamiento térmico para la estabilización del salvado sin adición de agua	168
3. Condiciones para inactivar la lipasa del salvado por tratamiento térmico sin adición de agua	171
4. Efectos que ejerce en el color del aceite el tratamiento del salvado en el estabilizador manual	174
5. Extrusionadores: efectos de la temperatura y del tiempo de residencia sobre el contenido de humedad y la actividad peroxidásica del salvado de arroz ...	188
6. Capacidad de producción, temperatura de tratamiento y consumo de energía durante la extrusión de salvado de arroz	189
7. Condiciones de elaboración utilizadas para sancochar arroz, especificadas en estudios de estabilidad del salvado	194
8. Condiciones recomendadas para la estabilización del salvado de arroz por tratamiento con vapor directo en lecho fijo	195
9. Estabilización del salvado de arroz por tratamiento con vapor directo en lecho móvil	196
10. Estabilización del salvado utilizando un prototipo industrial del estabilizador IATA	205

Capítulo VI

1. Flora de mohos capaces de producir metabolitos tóxicos en el salvado	234
2. Algunas micotoxinas producidas por mohos y efectos patológicos que producen	235
3. Efectos del almacenamiento sobre las características sensoriales del salvado de arroz crudo	237
4. Efectos del almacenamiento sobre el rendimiento y el color del aceite extraído del salvado por presión	241
5. Azúcar y contenido de humedad del salvado de arroz antes y después del almacenamiento	242
6. Efectos de la humedad sobre la velocidad de formación de AGL durante el almacenamiento de salvado de arroz a 35°C	244
7. Cambios en el recuento de mohos y microbios y en el contenido de AGL durante el almacenamiento de salvado tratado durante dos horas en autoclave a 121°C y secado durante una hora a 60°C	247

8. Cambios en el recuento de mohos y en el contenido de AGL del salvado esterilizado, no inoculado y en el salvado inoculado con <i>Aspergillus Chevalieri</i> , durante el almacenamiento a diferentes niveles de humedad	248
9. Capacidad de producción de AGL de varias cepas de <i>Aspergillus</i> aisladas del salvado de arroz	249
10. Cambios en las proporciones relativas de AGL en el salvado durante el almacenamiento	252
11. Resultados de un muestreo realizado en molinos de arroz españoles para detectar la posible presencia de aflatoxinas en salvado y cascari!!a	255

Figuras

Capítulo I

1. Grano de arroz (arroz cáscara, arroz palay)	2
2. Sección transversal de la lema del grano de arroz	4
3. Sección histológica transversal de la cascari!!a de arroz	5
4. Tricoma de la cascari!!a de arroz	6
5. Sección de salvado de arroz	7
6. Histología del pericarpio del grano de arroz	8
7. Sección del grano de arroz, mostrando la capa de aleurona	10
8. Detalle de la cubierta exterior del grano de arroz	12
9. Sección longitudinal del germen de arroz	14
10. Diagrama de elaboración de un molino arrocero europeo	17
11. Despuntadora o "escalperator"	18
12. Zaranda limpiadora	19
13. Descascarilladora de discos	20
14. Descascarilladora de rodillos de goma	21
15. Separadora de cascari!!a combinada con "plnsifter"	22
16. Separadora de cascari!!a de acción doble	23
17. Separadora de palay, de compartimientos	24
18. Separadora de palay de bandejas con descascaradora incorporada	25
19. Representación esquemática del proceso de blanqueo	27
20. Blanqueadora	28
21. Blanqueadoras de abrasión y de fricción	29
22. Molino tipo "huller"	32
23. Molino de arroz tipo "huller", modernizado	35
24. Unidad monobloque para descascarillar y blanquear el arroz	36
25. Unidad monobloque con prelimpia, elevador de cangilones y unidad motriz	37
26. Molino modernizado, que incluye una unidad tipo "huller"	37
27. Diagrama de un sistema de elaboración de arroz	38
28. Diagrama de un sistema de elaboración de arroz, con inclusión de separadora de germen	39
29. Proceso de separación del germen del salvado de arroz	40
30. Diagrama de un separador de germen	40
31. Esquema del dispositivo de laboratorio para separar el germen del salvado de arroz	41
32. Algunos sistemas alternativos de elaboración del arroz y su influencia sobre el tipo de salvado producido	44

Capítulo II

1. Representación, a escala lineal, de la variación del número de microorganismos que sobreviven después del tratamiento térmico	52
--	----

	Página
2. Curva semilogarítmica que indica el número de microorganismos que sobreviven al tratamiento térmico en función del tiempo	53
3. Curva semilogarítmica de la supervivencia de microorganismos en una muestra con microflora natural heterogénea	54
4. Gráfica del tiempo de destrucción térmica frente a la temperatura	55
5. Efecto de la humedad relativa sobre la inactivación del <i>Bacillus subtilis</i> var. <i>niger</i> a 125°C	57
6. Curvas de destrucción de microorganismos por radiaciones ionizantes	59
7. Efectos del calor sobre la estabilidad de las lipasas del salvado de arroz	62
8. Curva semilogarítmica que muestra la relación entre la inactivación térmica de varios enzimas y la temperatura	63
9. Relación entre tiempo y temperatura para la inactivación de la lipasa y la peroxidasa de la leche	65
10. Inactivación térmica de una lipasa microbiana (<i>Pseudomonas fluorescens</i>) y de la fracción termoeslable de la peroxidasa de patata, en función de la temperatura	66
11. Inactivación térmica de la peroxidasa del salvado de arroz: influencia del contenido de humedad del salvado	67
12. Influencia de las condiciones de estabilización (contenido de humedad, tiempo y temperatura) sobre la actividad peroxidásica del salvado de arroz	68
13. Influencia de las condiciones de estabilización (contenido de humedad, tiempo y temperatura) sobre la actividad lipásica del salvado de arroz	69
14. Inactivación térmica de la peroxidasa del salvado de arroz: influencia del pH	70
15. Influencia de la actividad enzimática inicial sobre la eficacia del proceso de estabilización, a una humedad relativa del 12% y a una temperatura de 110°C	71
16. Regeneración de la peroxidasa del nabo en función de la velocidad de calentamiento en el tratamiento térmico	72
17. Tasa de hidrólisis enzimática de la lecitina en una mezcla de malta de cebada triturada y 2% de lecitina almacenada a diferentes niveles de actividad del agua, a 30°C	73
18. Efecto del pH sobre la actividad enzimática	73
19. Influencia del pH sobre la estabilidad de la lipasa de salvado de arroz	74
20. Velocidad de inactivación de la lipoxidasa de soja a pH 4 y pH 7	75
21. Efecto del tratamiento con vapor sobre la eficacia proteica y la actividad del inhibidor de tripsina de la harina de soja cruda	77
22. Efectos del calor sobre la actividad de los inhibidores de tripsina del salvado de arroz, en función del tiempo de tratamiento y humedad del salvado	78
23. Rutas de la pérdida de nutrientes por alteración oxidativa de los lípidos	79

Capítulo III

1. Las partículas que se observan en el salvado comercial demuestran la heterogénea composición de éste	85
2. Sección transversal de la lema	87
3. Sección transversal de la palea	88
4. Sección de una partícula de pericarpio	91
5. Sección transversal de una partícula de endospermo	92
6. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando la presencia de varios fragmentos de germen (Ge)	94
7. Sección transversal del germen de arroz	95
8. Sección transversal de la plúmula del germen de arroz	97
9. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando un fragmento de plúmula	98

	<i>Página</i>
10. Sección longitudinal del germen de arroz, mostrando plúmula y radícula . . .	99
11. Sección transversal de la radícula del germen de arroz	100
12. Sección longitudinal del epitelio en el germen de arroz	103
13. Detalle de una sección longitudinal del germen de arroz, mostrando la epidermis de la coleorriza y las cubiertas exteriores	104
14. Detalle de secciones longitudinales de germen de arroz, mostrando la zona de unión (suspensor) entre la aleurona y la coleorriza	106
15. Sección longitudinal del germen de arroz	109
16. Sección longitudinal del germen de arroz	110
17. Sección transversal de eje embrionario del germen de arroz	111
18. Cubiertas exteriores del germen de arroz	113
19. Sección longitudinal del germen de arroz, mostrando las cubiertas exteriores	114
20. Sección longitudinal del germen de arroz	115
21. Sección longitudinal del germen de arroz	116
22. Sección de una partícula compuesta de salvado comercial de arroz	118
23. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando varias partículas compuestas	120

Capítulo IV

1. Muestras de un mismo lote de arroz, elaboradas a diferentes grados y teñidas con el reactivo de May-Grünwald	129
2. Variación del contenido en grasa superficial del arroz elaborado en distintas blanqueadoras, expresada en función del grado de elaboración	130
3. Histogramas de la intensidad de pigmentación del salvado residual en granos de arroz separados, en diferentes grados de elaboración	133
4. Uniformidad de la elaboración del arroz al final de etapas sucesivas del proceso de blanqueo	134
5. Histograma que representa la variación del porcentaje de secciones con capas de salvado y de aleurona eliminadas, en diferentes grados de elaboración . . .	141
6. Proyecciones que produce la elaboración	142
7. Resistencia a la abrasión durante la elaboración de diferentes variedades y partidas de arroz descascarado	144
8. Cambios en la resistencia a la abrasión durante el periodo de almacenamiento de arroz descascarado elaborado en un molino diferencial	145
9. Partes de la carióspside del arroz que se separan como salvado durante el proceso de blanqueo	146
10. Contenido de aceite de fracciones sucesivas de salvado extraídas de arroz crudo y de arroz sancochado	149

Capítulo V

1. Cambios del contenido de AGL durante el almacenamiento de salvado tratado durante dos horas a 110°C	170
2. Estabilizador de funcionamiento manual	173
3. Estabilizador que utiliza calor indirecto de gases producidos por la combustión de cascarilla	175
4. Diagrama de flujo de un proceso de estabilización que utiliza calor indirecto de gases producidos por la combustión de cascarilla	176
5. Inactivador de salvado combinado con enfriador	176
6. Estabilizador del Instituto Central de Investigaciones Tecnológicas Alimentarias (Mysore)	177
7. Estabilizador de aire caliente combinado con quemador de cascarilla	180
8. Estabilizador de salvado	182
9. Secador de transporte neumático	182

10. Dispositivo de lecho fluidificado con agitación para estabilizar salvado de arroz	183
11. Estabilizador de lecho fluidificado de fases combinadas	185
12. Extrusionador de bajo costo: perfil de temperaturas	187
13. Extrusionador: pérdidas de humedad del salvado de arroz a diferente temperaturas	188
14. Extrusionador: inactivación de la peroxidasa a diferentes temperaturas	192
15. Estabilizador con vapor directo, dotado de secador y enfriador	199
16. Planta de estabilización de salvado en periodo de montaje	200
17. Otro tipo de estabilizador	201
18. Estabilizador desarrollado por el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), que utiliza vapor directo en lecho fluidificado, con secador y enfriador	202
19. Estabilizador IATA	203
20. Estabilización de salvado de arroz utilizando un prototipo industrial: retención de producto y tiempo nominal de residencia en función del flujo de salvado	204
21. Extrusionador que utiliza inyección directa de vapor y agua caliente	206
22. Extrusionador experimental con inyección de vapor directa	207

Capítulo VI

1. Puentes de hidrógeno entre el agua y diversos grupos funcionales	223
2. Isotermas de sorción y de desorción típicas del salvado de arroz (hipotéticas)	223
3. Curva de sorción que muestra la presencia de agua solvente	225
4. Isotermas de desorción del trigo a diferentes temperaturas	226
5. Hidrólisis de glicéridos catalizada por lipasa	229
6. Velocidades de reacción en alimentos, en función de la actividad del agua ..	230
7. Descomposición de los hidroperóxidos resultantes de la oxidación de los lípidos	231
8. Efectos de la temperatura y de la humedad relativa en ciertas especies de hongos	232
9. Límites generales de temperatura y humedad relativa para la multiplicación de agentes biológicos	233
10. Perfil de compuestos volátiles del salvado de arroz recién fabricado, almacenado durante 50 días a -20°C y almacenado a $+25^{\circ}\text{C}$	239
11. Efectos del almacenamiento sobre el contenido de aceite del salvado de arroz crudo y sancochado	240
12. Efectos de la humedad en la formación de AGL durante el almacenamiento del salvado de arroz a 30°C	243
13. Efectos del almacenamiento a 25°C y a diferentes niveles de humedad relativa sobre la formación de AGL en el salvado	244
14. Efectos del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la formación de AGL en el salvado de arroz	245
15. Formación de AGL en aceite neutro de salvado de arroz tras la adición de salvado	246
16. Variación del contenido de AGL durante el almacenamiento de salvado del primero y segundo conos	247
17. Cambios en el contenido de AGL y en la infestación por insectos del salvado durante el almacenamiento	250
18. Desarrollo de AGL en el salvado del primero y segundo conos de blanqueo durante el almacenamiento	251
19. Desarrollo de acidez en el salvado y en el germen de arroz, durante el almacenamiento a 30°C	252

I. El grano de arroz, el proceso de elaboración y la producción de salvado

El grano de arroz: materia prima para la producción de salvado

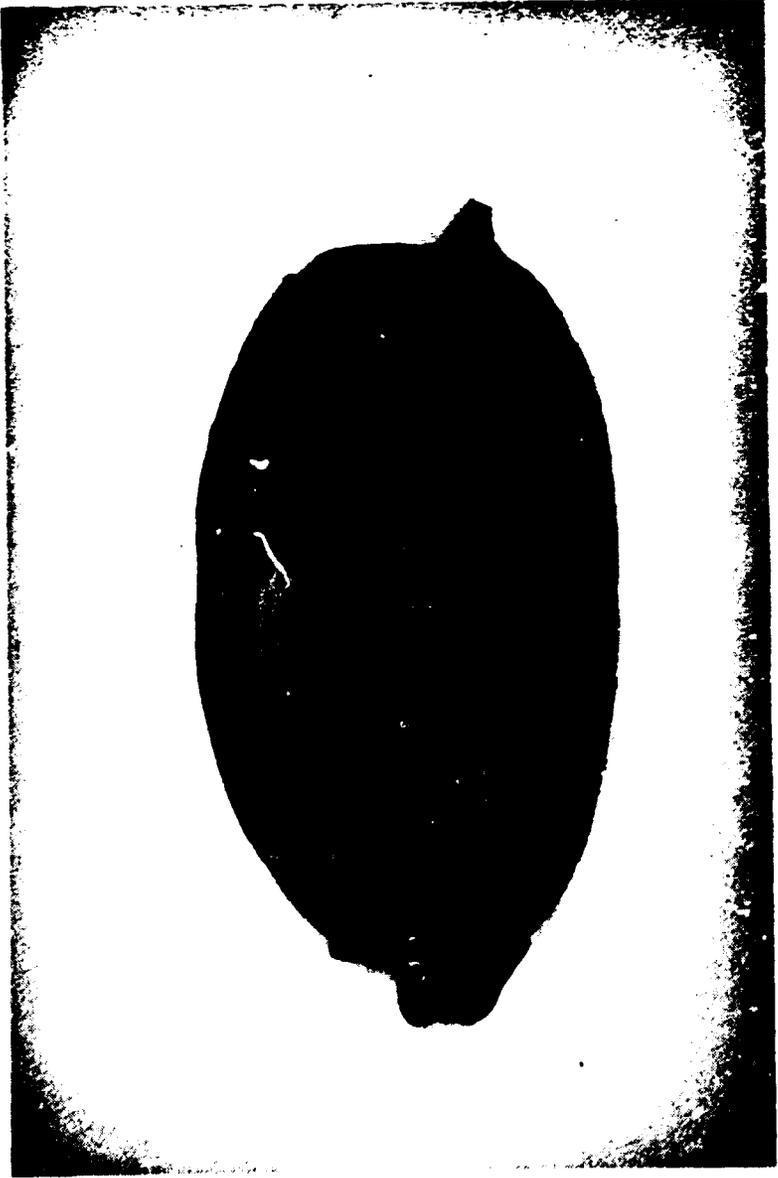
Anatomía del grano de arroz

El grano de arroz (arroz pa'ay) (véase figura 1) está constituido por la carióspside (arroz descascarillado o arroz cargo) y estructuras asociadas: lema, palea, raquilla, lemas estériles y arista [1] que componen la cáscara. La raquilla se encuentra en el extremo inferior, y está separada del pedicelo por una capa de abscisión; sobre la raquilla hay dos lemas estériles ("glumas estériles", "glumas externas") y sobre ellas dos glumas florescipientes, la lema y la palea que envuelven la carióspside. Las dos glumas estériles, que pueden diferir en longitud y forma, son más cortas que la lema y la palea. La lema, que está ubicada en el lado ventral de la carióspside, cubriendo el germen, tiene cinco haces vasculares y es más larga, más ancha y de espesor más uniforme que la palea (0,1 mm, aproximadamente), pero ligeramente menor. La palea, que se encuentra en el lado dorsal de la carióspside, tiene tres haces vasculares. En sus márgenes posee un lodículo mediante el cual el soplamiento con la lema es hermético [2]. Lema y palea terminan en sendos apículos, de los cuales el de la primera puede presentar una prolongación filiforme: la arista o barba. La superficie externa de la lema y la palea se halla recubierta por numerosos tricomas, pero se han obtenido variedades lampiñas, con muy escasos tricomas o sin ellos [2, 3]. Entre la cascarilla y el grano hay un espacio, cuyo tamaño depende de las variedades de arroz, lo cual puede explicar en parte que el descascarillado sea más difícil en unos casos que en otros [4].

Al someterlo a la trilla, el grano normalmente se separa del pedicelo por la capa de abscisión; ahora bien, en algunas variedades la separación puede ocurrir por fractura del propio pedicelo [1]. Cuando el grano se descascarilla, la carióspside queda al descubierto. Se trata de un fruto, de forma ovalada alargada o redondeada, que en su mayor parte está constituido por la semilla [5], presentando su superficie surcos que corresponden a las nervaduras de la lema y la palea [1]. La capa exterior de la carióspside se compone del pericarpio, que envuelve y protege a la semilla, a la que está íntimamente adherido. Inmediatamente debajo del pericarpio se encuentra la cubierta de la semilla, o tegmen¹, y a continuación se hallan la capa de aleurona y el endospermo amiláceo.

¹El tegmen es a menudo mal llamado testa, la cual deriva de los tegumentos internos del óvulo que se destruye antes de que la carióspside madure. El tegmen representa las capas celulares internas de los tegumentos internos del óvulo [1].

Figura 1. Grano de arroz (arroz cáscara, arroz palay)



El germen se halla alojado en una concavidad, en la región abdominal inferior del grano, adherido al endospermo. Está cubierto por la capa de aleurona, la cubierta de la semilla, el pericarpio y, por último, la lema.

La morfología del grano, junto con otras características (distribución geográfica, morfología de la planta, esterilidad de los híbridos y reacción serológica), ha servido de base para clasificar el arroz cultivado en tres subespecies: *indica*, *japónica* y *javánica*. El grano de la primera es delgado, algo aplastado; el de la segunda, corto y redondeado, y el de la última, ancho y grueso [1].

Existen notables diferencias en cuanto a longitud y forma (relación entre longitud y anchura) en los arroces cultivados, tanto si tienen cáscara como si no, o están elaborados (véase el cuadro 1). Estas diferencias han permitido establecer clasificaciones del arroz basadas en dichas características, las cuales se han incorporado a las legislaciones que regulan el mercado arrocero.

En los arroces cultivados también varían las proporciones de las distintas partes anatómicas del grano (véase el cuadro 2).

CUADRO 1. DIMENSIONES DEL GRANO DE ARROZ DE VARIETADES COMERCIALES^a

(Milímetros)

Tipo de arroz		Longitud	Anchura	Espesor
Arroz elaborado:	grano largo	6,7-7,0	1,9-2,0	1,5-1,7
	grano mediano	5,5-5,8	2,4-2,7	1,7-1,8
	grano corto	5,2-5,4	2,7-3,1	1,9-2,0
Arroz cargo:	grano largo	7,0-7,5	2,0-2,1	1,6-1,8
	grano mediano	5,9-6,1	2,5-2,8	1,8-2,0
	grano corto	5,4-5,5	2,8-3,0	2,0-2,1
Arroz palay:	grano largo	8,9-9,6	2,3-2,5	1,8-1,9
	grano mediano	7,9-8,2	3,0-3,2	1,9-2,1
	grano corto	7,4-7,5	3,1-3,6	2,1-2,3

Fuente: Webb [6].

^aBhattacharya (1974) [7] ha señalado valores más extremos: longitudes de 10,84 mm para el arroz palay y de 3,99 mm para el arroz elaborado; anchuras de 2,28 mm para el arroz palay y 1,71 mm para el arroz elaborado; espesores de 1,59 mm para el arroz palay y 1,43 mm para el arroz elaborado.

CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN ANATÓMICA DE LA MASA DEL GRANO DE ARROZ

Parte anatómica	Masa relativa (porcentaje)
Cascarilla	17-22 ^a
Pericarpio	1-2 ^b
Aleurona y cubierta de la semilla	4-6 ^b
Endospermo amiláceo	89-94 ^b
Germen	2-3 ^b

^aIntervalos de valor más usuales.

^bJuliano [8].

Histología del grano de arroz²

La cascarilla

La estructura histológica de las dos glumas florescentes es similar, pero hay algunas diferencias; por ejemplo, la región de la nervadura principal es algo más gruesa y las células epidérmicas son ligeramente más pequeñas en la palea que en la lema. El espesor medio es de unos $120\ \mu\text{m}$ [2].

En un corte transversal de cualquiera de las dos glumas florescentes pueden verse cuatro capas de tejidos: la epidérmica externa, la esclerenquimática, la parenquimática y la epidérmica interna (véase la figura 2) [2, 3]. La epidermis externa tiene superficie sinuosa y ondulada, formada por células

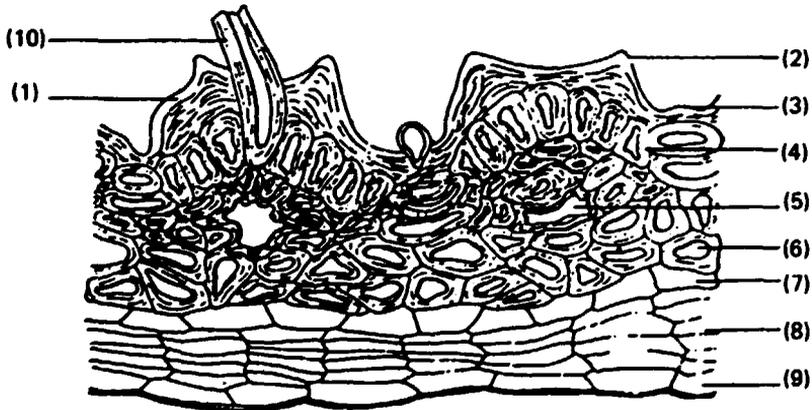
Figura 2. Sección transversal de la lema del grano de arroz
(Ampliación $\times 140$, teñida con safranina-fenol)



²Las dimensiones que se dan en esta sección pueden estar influenciadas por las técnicas de preparación de las muestras, hecho que deberá tenerse en cuenta debidamente.

epitelizles alargadas radialmente, de paredes gruesas, arrugadas, con profundas escotaduras y ordenadas axialmente en filas. En preparaciones histológicas de muestras maceradas en ácido nítrico y clorato potásico, las células epiteliales de la palea variaron entre 30 y 80 μm de longitud y 20 y 100 μm de anchura, y las de la lema entre 60 y 90 μm y 50 y 120 μm respectivamente [2]. Los tricomas están uniformemente distribuidos entre esas células. Aparecen erectos atravesando la capa de cutina-silíce y hacia el interior penetran hasta la capa esclerenquimática (véase la figura 3). Los tricomas (véase la figura 4) son cónicos, transparentes, incoloros, huecos y unicelulares, y su tamaño depende de la variedad de arroz y de la posición de los tricomas en el grano (los de la zona dorsal son más largos que los de las superficies laterales). Sus paredes son más gruesas en la base y conforme envejecen la pared se va engrosando y la cavidad reduciendo [2]. La capa esclerenquimática está formada por dos o tres capas de células (que median entre 150 μm y 600 μm en las preparaciones histológicas de muestras maceradas antes citadas) con paredes angulares muy gruesas (4 a 6 μm). La capa parenquimática varía de espesor y está compuesta de dos a cuatro capas de células esponjosas [9]. Éstas son de dos tipos: unas, alargadas tangencialmente, con paredes gruesas y sinuosas y otras, cortas, de paredes finas [2]. Su tamaño se sitúa entre 20 μm y 30 μm de longitud y 10 μm y 15 μm de anchura [9]. Entre las células parenquimáticas se hallan las células tubulares y las cruzadas [3, 10]. Los haces vasculares se sitúan entre las capas esclerenquimática y parenquimática. Los de la palea, sobre todo el haz vascular central, están más diferenciados que los de la lema. La epidermis interna, que tiene un espesor de 6 a 8 μm [9], puede estar formada por hasta tres capas de células isodiamétricas, de paredes muy finas y lumen vacío; esas capas están fuertemente comprimidas, por lo que es difícil diferenciarlas [2, 10].

Figura 3. Sección histológica transversal de la cascarilla de arroz
(Ampliación $\times 400$)



Clave:

- | | |
|---|------------------------------|
| 1) Cutícula | 6) Fibras esclerenquimáticas |
| 2) Apex de cubierta silíce | 7) Células tubulares |
| 3) Bandas silíceas longitudinales | 8) Células longitudinales |
| 4) Epidermis externa | 9) Epidermis interna |
| 5) Células esclerenquimáticas ramificadas | 10) Tricoma |

Fuente: Angladette [10].

Figura 4. Tricoma de la cascariña de arroz
(Ampliación $\times 800$; tefido con safranina-fenol)

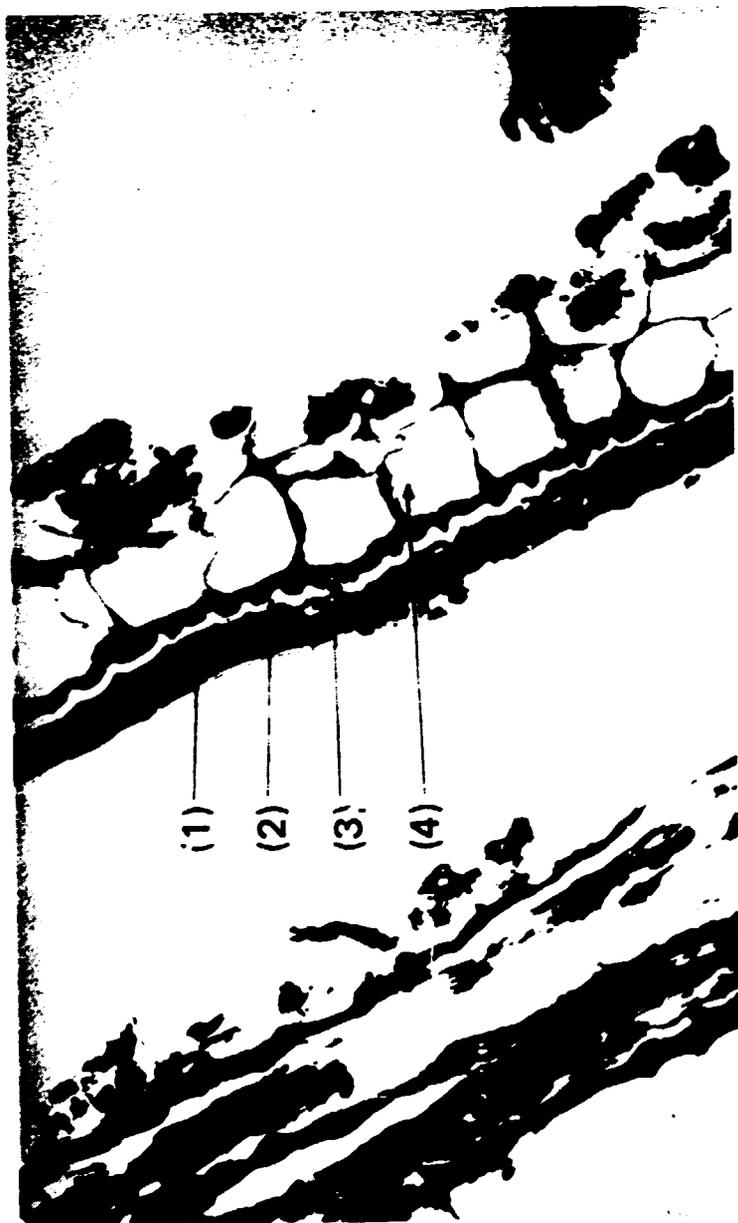


Las glumas estériles tienen una estructura histológica más sencilla que las glumas florecientes. Tienen forma de barquilla, con el extremo anterior puntiagudo mientras que el otro, en contacto con la raquilla, tiene forma de U. La longitud a lo largo de la nervadura puede medir de 3,35 a 1,75 mm [9]. En sección transversal, las glumas estériles consisten en una capa celular epidérmica externa y otra interna, formadas por células rectangulares, alargadas tangencialmente, de paredes gruesas. Entre ambas epidermis hay dos o más capas de células parenquimáticas, algunas de las cuales son alargadas, de paredes gruesas y onduladas, y otras son cortas, de paredes delgadas; en la región de la nervadura, la superficie muestra poca diferenciación [2].

Estructuras de la cubierta de la cariósida

La cubierta de la cariósida está constituida por tres capas: el pericarpio, la cubierta de la semilla, o tegmen, y la nucela (véase la figura 5). Los tejidos del pericarpio pueden estar muy comprimidos, resultando difícil distinguir sus capas constitutivas características. En algunas variedades [8, 11] puede verse que constan de varias capas celulares (véase la figura 6). Teniendo en cuenta sus diferentes características morfológicas, pueden subdividirse en células

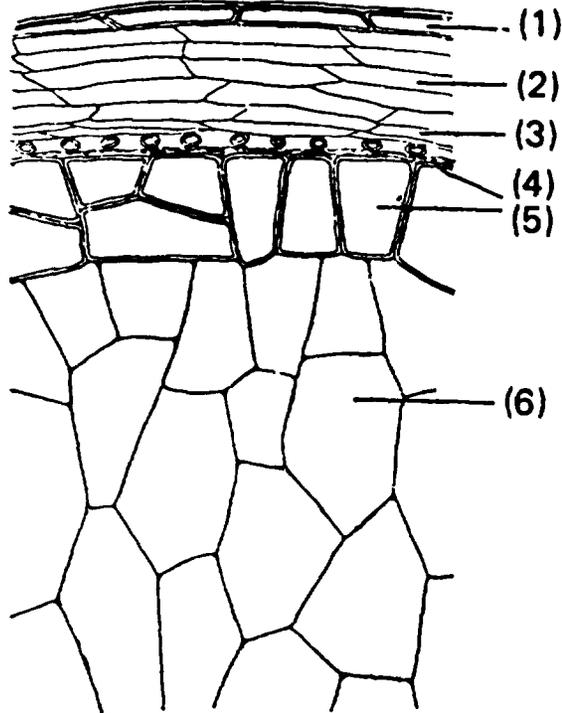
Figura 5. Sección de salvado de arroz
(Ampliación x925; teñida con reactivo ácido periódico de Schiff (PAS))



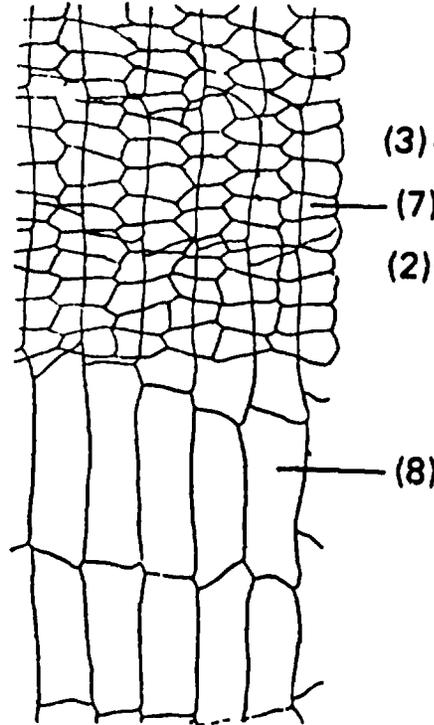
Clave:
1) Pericarpio 2) Cutícula lipóide 3) Restos de pigmento interno y de la nucela 4) Células aleurónicas

Figura 6. Histología del pericarpio del grano de arroz

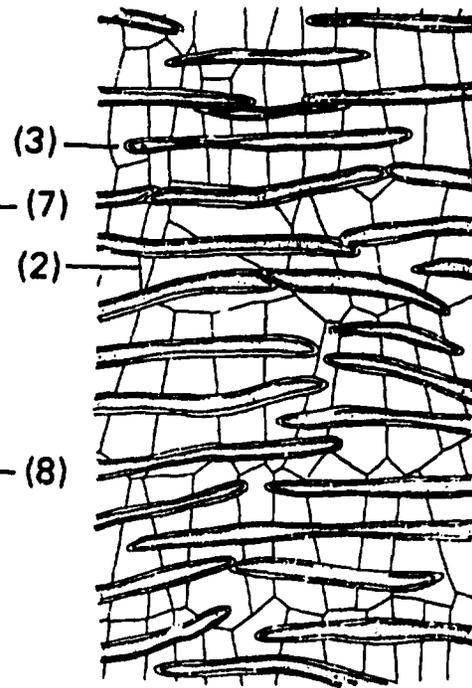
A. Estructura general del pericarpio
(Ampliación $\times 200$)



B. Sección longitudinal del mesocarpio
(Ampliación $\times 200$)



C. Sección transversal del mesocarpio
(Ampliación $\times 200$)



Clave:

1) Epicarpio
2) Mesocarpio

3) Endocarpio
4) Capa hialina

5) Capa aleurónica
6) Endospermo amiláceo

7) Células tubulares
8) Células longitudinales

Fuente: Angiadette [10].

epidérmicas, hipodérmicas, transversales y tubulares. La epidermis consta de una capa de células, alargadas transversalmente, de paredes onduladas, sobre la cual existe una cutícula. Se han registrado tamaños desde $5 \times 3 \mu\text{m}$ a $20 \times 10 \mu\text{m}$ [9]. La hipodermis está formada por varias capas de células parenquimáticas, parcialmente aplastadas, con paredes rectas y alargadas transversalmente, cuyas dimensiones varían entre $5 \times 12 \mu\text{m}$ y $12 \times 80 \mu\text{m}$ (véase la figura 6). Esas células son muy numerosas y las células parenquimáticas y transversales se combinan para producir un tejido que parece como un enrejado. La capa más interna está constituida por células tubulares. Son de forma alargada y aproximadamente cilíndrica, de 3 a 5 μm de diámetro. Recientemente se ha medido el pericarpio de dos variedades de arroz (*Oryza sativa* cv. Caloro y *Oryza sativa* cv. Labelle) [12] y ha resultado ser de unos 10 μm de espesor. Inmediatamente debajo del pericarpio se encuentra la cubierta de la semilla o tegmen, que consta de: a) la cutícula grasa; b) el espermodermo, en el lado más próximo al pericarpio, y c) el perispermo, en el lado de la capa de aleurona. La cutícula puede tener un espesor de 1 μm o más, y a veces es discontinua [9, 13]. El tegmen es más delgado en la proximidad del germen que en la del endospermo, y en variedades de grano corto (Balilla \times Sollana) se han encontrado espesores de 0,8 a 1,5 μm y 1,5 a 2,3 μm , respectivamente [14]. Igualmente, la cutícula en la zona del germen es más fina (aproximadamente 0,5 μm) [12]. En la parte posterior de la cubierta de la semilla, y entre ésta y la capa de la aleurona, está la nucela, constituida por una cutícula exterior gruesa (0,8 μm) y una capa de células nucelares aplastadas, en la proximidad del germen [12]. Estas células vacías, reducidas a una mera pared celular, están dispuestas en filas, formando una membrana fina pero fuerte [1, 15]. En algunos casos, no se ha detectado la nucela de la cariósida del arroz maduro, en tanto que en otros se ha hallado presente tan solo como una cutícula [12, 14].

La capa de aleurona

Botánicamente, la capa de aleurona es parte del endospermo del cual se origina (véase la figura 7). Está localizada debajo de la capa nuclear, envolviendo el endospermo amiláceo y el germen, a los que está adherida, excepto en las inmediaciones del escutelo y la coleorriza (véase *infra*, al hablar del "germen"). El espesor y el número de capas de células de la aleurona varían según las variedades del grano, la región en que se cultiva y las condiciones de cultivo [15, 16, 17].

En la aleurona se han identificado dos tipos diferentes de células: uno alrededor del endospermo almidonoso y otro alrededor del germen [12, 14]. Las células de la capa aleurónica que rodea al endospermo son predominantemente de sección poligonal; las del lado ventral son rectángulos casi perfectos y las del dorsal, hexágonos irregulares [13, 16]. Se trata de células parenquimáticas, con paredes de espesor uniforme (unos 2 μm) [9, 13, 14]. En el citoplasma de las células se ha observado la presencia de granos de aleurona, "cuerpos grasos", plástidos, mitocondria, microcuerpos, vesículas y retículos endoplasmáticos [12].

¹Denominados también "cuerpos lípidos", que se funden en otro cuerpo único y de mayor tamaño como resultado de la acción mecánica [12].

Figura 7. Sección del grano de arroz, mostrando la capa de aleurona
(Ampliación X765; teñida con negro Sudán)



Los granos de aleurona son de forma esférica, de 1 a 3 μm de diámetro [18, 19] y tienen por lo menos dos partes constitutivas: una partícula de alto contenido fitínico, que es el núcleo del gránulo proteico y la cubierta que la rodea, la cual se compone de proteínas y carbohidratos [20]. Recientemente se ha aislado el núcleo del gránulo, que se ha sugerido denominar "partícula fitínica" o "cuerpo fitínico" [20]. El ácido fitínico se acumula en la partícula de aleurona [21] o, más precisamente, en la partícula fitínica [20]. Esto se ha demostrado mediante microautorradiografía para seguir la distribución de ^3H -*myo*-inositol, administrado a los granos de arroz en maduración. El ^3H aparece exclusivamente en los gránulos de aleurona. Las diferencias entre los gránulos de aleurona y los cuerpos proteicos del endospermo son particularmente notables en lo que respecta a lo siguiente: a) su localización, ya que los primeros se encuentran en la aleurona y los otros en el endospermo; b) su composición, ya que los granos de aleurona tienen una elevada proporción de fósforo (12%) y un bajo contenido de proteínas (11,7%), en tanto que los cuerpos proteicos contienen poco fósforo (0,5%) y una alta proporción de proteínas (60%), y c) en su estructura, ya que los cuerpos proteicos, observados con un microscopio electrónico, aparecen estratificados, en tanto que los gránulos de aleurona poseen cuerpos densos a los electrones [18].

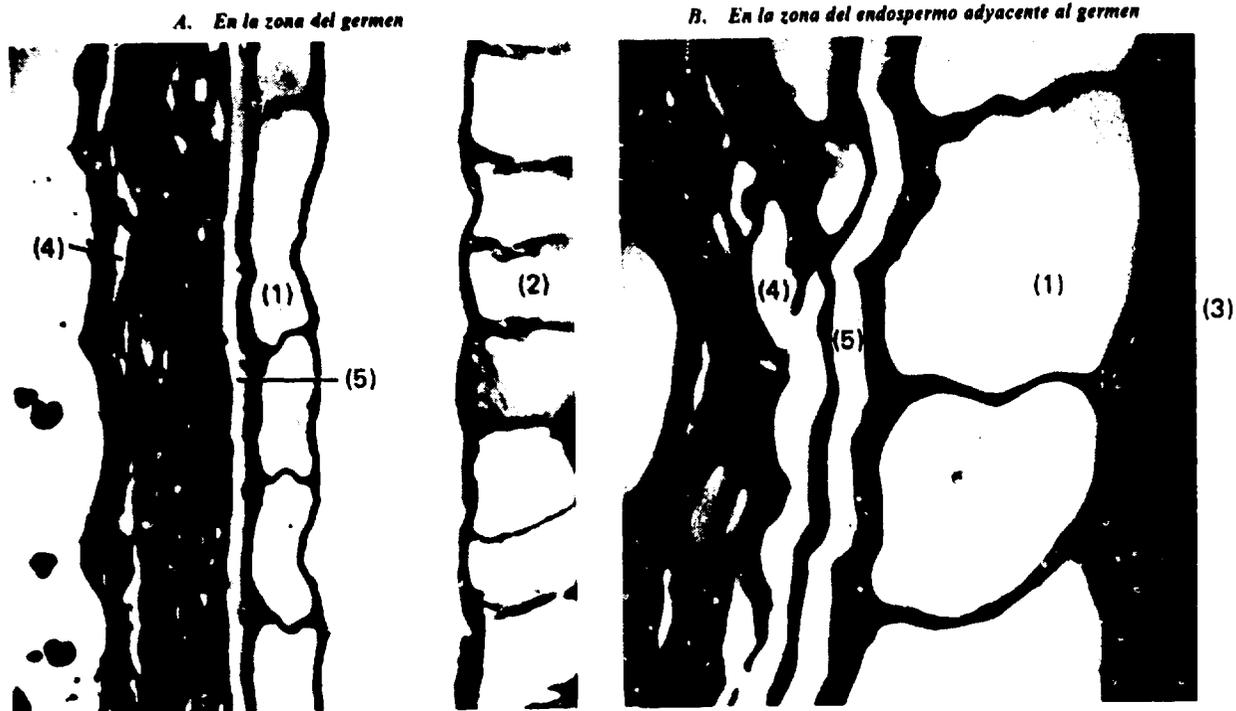
Las células de la capa de la aleurona que rodea al germen son mucho más aplastadas (3 a 5 μm) (véase la figura 8 A) que en la zona correspondiente al endospermo (15 a 20 μm) (véase la figura 8 B), principalmente en las proximidades de la plúmula [14]. El citoplasma en la capa aleurónica que rodea al germen está menos tersamente empaquetado que en la región del endospermo; los gránulos de aleurona están ausentes, hay menos cuerpos grasos y son más pequeños, las vesículas son numerosas, la mitocondria y los plástidos están dispersos en el citoplasma y pueden verse fibrillas, algunas de 0,01-5 μm de espesor y de hasta 2 μm de longitud. En lugar de los gránulos de aleurona, se han identificado otras estructuras proteicas (posiblemente cuerpos proteicos) [27].

El endospermo amiláceo

El endospermo amiláceo está rodeado por la capa aleurónica, excepto en la región ventral inferior, donde está en contacto directo con el germen. Está constituido por células parenquimatosas, de paredes delgadas (unos 0,25 μm de promedio). La disposición de las células sigue un patrón común en todas las variedades: en torno a un núcleo central de células pequeñas se disponen en forma enladrillada otras de tamaño mayor, orientadas radialmente. Su forma también varía según la posición en el grano. Las células de la zona central son redondeadas y poligonales (con dimensiones que van de 45 \times 50 μm a 80 \times 125 μm). Las células adyacentes son más grandes e isodiamétricas, algo alargadas o ligeramente aplastadas radialmente. Las células situadas en la zona dorsal o ventral próxima al núcleo varían en forma, especialmente en dirección radial [13]. Se ha señalado que el arroz cultivado puede tener de 12 a 22 células en el radio dorsal, de 10 a 18 en el ventral y de 10 a 17 en el lateral, y de 103 a 256 en el diámetro longitudinal [8, 22, 23].

En el endospermo amiláceo se distingue la región subaleurónica y la región del endospermo central. La región subaleurónica tiene un número relativamente limitado de gránulos de almidón compuestos, de forma oval. Los gránulos individuales son de forma poliédrica y muy pequeños (2 a 4 μm). También se

Figura 8. Detalle de la cubierta exterior del grano de arroz
(Ampliación $\times 2.220$)



Clave:

- 1) Capa de aleuroia 2) Coleóptilo 3) Endospermo 4) Pericarpio 5) Tegmen

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [14].

encuentran gránulos de almidón diminutos cerca del germen [13]. Los gránulos de almidón están rodeados de cuerpos proteicos [24, 25]. Estos cuerpos proteicos pueden ser esféricos, con un diámetro de 1 a 2 μm con centros densos y anillos concéntricos o haces radiales; esféricos, pero de menor tamaño (0,50 a 0,75 μm de diámetro), sin centros densos pero con anillos concéntricos o haces radiales, y por último otros cristalinos, de forma redondeada, compuestos por pequeñas unidades angulosas de 2 a 3,5 μm de diámetro [26]. La región del endospermo central se compone fundamentalmente de gránulos de almidón poliédricos más grandes (5 a 9 μm), que los de la capa subaleurónica [13]. El tamaño de los gránulos puede variar considerablemente (0,3 a 13 μm) [27]. El tamaño de los gránulos compuestos también varía (de $12 \times 10 \mu\text{m}$ a $20 \times 10 \mu\text{m}$ en la variedad de grano corto Bahía) [9]. Los gránulos de almidón individuales están rodeados por material proteico localizado en pequeñas bolsas. También existen cuerpos proteicos en la región central del endospermo; los únicos detectados hasta ahora son análogos a los cuerpos esféricos de 1 a 2 μm encontrados en la capa subaleurónica [26]. Hay un gran número de cuerpos proteicos en la región subaleurónica, pero pocos en la parte central de la carióspside [28].

El germen

El germen está alojado en una concavidad que la carióspside presenta en la zona ventral y en la base, junto al extremo por el que el grano se adhiere a la espiga. Está unido al endospermo por una capa de células aplastadas, carentes de protoplasma, de paredes celulares delgadas. Su espesor es variable y aparece como una masa amorfa, en la cual es difícil distinguir las células. Al separar manualmente el germen de la carióspside, dicha capa queda, en parte, adherida a aquél. Las células aplastadas son células del endospermo que se han degradado en la maduración de la semilla, perdiendo su contenido celular. El germen, cuyo tamaño varía, tiene forma lenticular, con una quilla exterior longitudinal. En la variedad japónica Balilla \times Sollana, las dimensiones del germen son $2,12 \times 0,91 \times 1,45$ mm y las del grano $6,03 \times 3,25 \times 2,28$ mm [14].

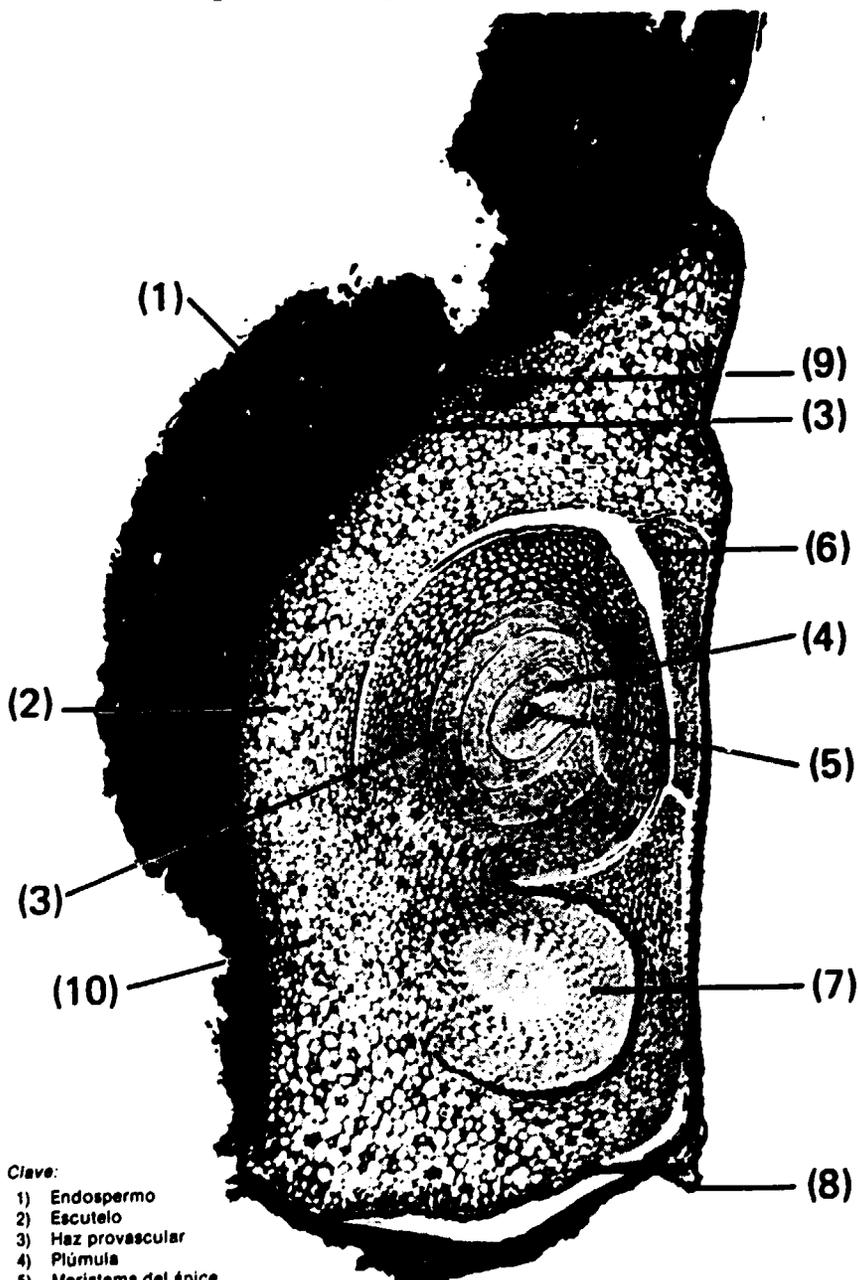
El germen presenta una considerable diferenciación histológica y una estructura anatómica compleja (véase la figura 9). Consta de un eje embrionario en forma de L, constituido por la radícula, la plúmula, el hipocotilo y el coleóptilo, y de él se desarrollan el escutelo, el epiblasto, la coleorriza y la caliptra.

Como el germen se encuentra entero e intacto en el salvado, del que es uno de los componentes físicos importantes, su estructura histológica se describe más ampliamente en el capítulo III *infra*, al tratar pormenorizadamente la histología del salvado.

Composición química del grano de arroz

Para poder utilizar el arroz como alimento, normalmente ha de inolarse el arroz palay para separar en primer lugar la cascarilla (operación de descascarillado) y luego el salvado (operación de blanqueo). Aunque la única parte realmente incomedible es la cascarilla, la separación del salvado aumenta la comestibilidad del arroz y mejora su color, características ambas que el

Figura 9. Sección longitudinal del germen de arroz



Clave:

- 1) Endospermo
- 2) Escutelo
- 3) Haz provascular
- 4) Plúmula
- 5) Meristema del ápice
- 6) Epiblasto
- 7) Radícula
- 8) Cresta
- 9) Glándula epitelial
- 10) Coleorriza

consumidor aprecia. Este cambio obedece a diferencias notables en la composición química y en las características físicas de la estructura y las capas anatómicas constituyentes del grano. Lo cierto es que el descascarillado y el blanqueo producen profundas modificaciones en la composición química del arroz (véase el cuadro 3). Durante el proceso de descascarillado, los cambios

CUADRO 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ARROZ Y CAMBIOS QUE OCURREN DURANTE LA ELABORACIÓN

(Porcentaje)

Componente	Contenido relativo en el			Cambios ocurridos durante el	
	Arroz palay	Arroz descascarillado	Arroz elaborado	Descascarillado	Blanqueado
Proteínas	9,24	10,12	8,38	+8,55	-17,19
Grasa	2,11	2,38	0,63	+6,16	-73,53
Fibra cruda	8,84	0,91	0,29	-89,71	-68,13
Cenizas	3,35	1,19	0,55	-64,47	-53,78
Materias extractivas libres de nitrógeno (MELN)	76,44	85,30	90,10	+11,59	+5,62

más espectaculares ocurren en la fibra cruda (~90% de pérdidas), mientras que durante el proceso de blanqueo los cambios principales se producen en la grasa (~75% de pérdidas) y en la fibra (~70% de pérdidas). Aunque la magnitud de estos cambios varía considerablemente según la variedad de arroz, su origen, historia previa de la partida y la molienda siempre son importantes.

Si los datos sobre la composición química del arroz se consideran junto con los datos sobre los materiales que quedan una vez que el arroz palay se convierte en arroz comestible, puede verse fácilmente la importancia de la molienda y de los subproductos de la misma.

Juliano [8, 29], Barber [30] y Kennedy [31] han dado descripciones detalladas de la composición química y constituyentes químicos del grano de arroz.

El proceso de la molienda y la producción de salvado

No hay una publicación que trate de forma completa y exhaustiva el tema de la molienda del arroz. El grano, las máquinas, las condiciones de trabajo y sus efectos tanto sobre el grano como sobre los subproductos, el mantenimiento, la dirección y la administración, son temas que deben tratarse uno tras otro, sobre bases científicas y técnicas, teniendo en cuenta muchas y diferentes esferas de estudio y adoptando un enfoque más amplio que el de la simple práctica industrial. No obstante, se han hecho recientemente aportaciones excelentes en ciertas parcelas limitadas; por ejemplo, las de Gariboldi [32], Araullo, de Padua y Graham [33] y Spadaro, Matthews y Wadsworth [34].

En todas partes, el palay se elabora para transformarlo en grano apto para el consumo. Nadie elabora el arroz solamente para producir salvado. En consecuencia, los procesos de elaboración se concentran totalmente en el grano, en velar por que no pierda ninguna de sus cualidades y mejore su aspecto; dicho con pocas palabras, el objetivo es obtener un producto final de máximo valor comercial. Si bien este objetivo no excluye la posibilidad de producir salvado de calidad, si pueden pasarse por alto los principios básicos y las peculiaridades de la elaboración, con efectos perjudiciales para el aprovechamiento posterior del salvado. Ello aparte de que el conocimiento profundo y detallado de la separación del salvado dará pie a mejorar el proceso de elaboración del arroz y del producto final.

En la presente sección, el análisis se centra deliberadamente en la producción de salvado como parte del proceso de la molienda del arroz. Tras una breve descripción del proceso, se indican los diversos tipos de equipo utilizados y su funcionamiento; seguidamente se analizan las características del arroz cuando se separa el salvado y, por último, los efectos de las diferentes máquinas y operaciones del proceso de elaboración sobre la cantidad y calidad del salvado producido.

El proceso de elaboración

Las etapas fundamentales del proceso de elaboración del arroz son: *a)* la limpieza, *b)* el descascarillado, *c)* el blanqueo, y *d)* l. clasificación. El diagrama de flujo que aparece en la figura 10 puede servir de ejemplo para seguir el proceso.

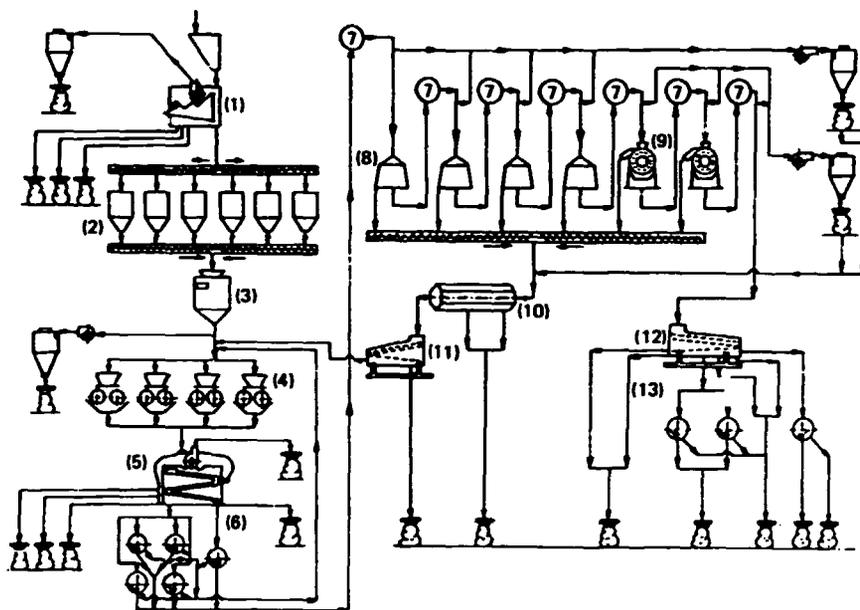
Limpia

En el molino, se limpia el arroz cáscara para separar todas las materias extrañas, que son paja, tierra, piedras, hilos, partículas metálicas y semillas extrañas, entre otras cosas. Aunque el arroz palay haya sufrido una operación previa de limpieza antes del secado y almacenamiento, todavía puede contener impurezas cuando llega al molino. La limpieza se basa en diferencias de tamaño, peso y forma de las materias extrañas con respecto al grano. Las impurezas más ligeras se separan por aspiración o tamizado; las de mayor densidad, pero tamaño distinto al grano, por tamizado; las de mayor densidad del mismo tamaño, por gravedad; pero los granos que son de tamaño, forma y peso similares son difíciles de separar y pasan con el arroz a la etapa siguiente.

Las máquinas utilizadas en esta etapa, que pueden combinar o no la separación por aspiración, tamizado y gravedad, son: la despuntadora, o "escalperator" (véase la figura 11), la zaranda separadora (véase la figura 12), la zaranda clasificadora vibratoria ("plansifter"), la separadora por gravedad, o mesa densitométrica⁴ y la separadora de discos [35, 36]. En una etapa subsiguiente las impurezas se separan con un separador magnético [33].

⁴También sirve para separar piedras. Se utiliza sólo para palay limpio o para arroz descascarado antes de entrar en la blanqueadora.

Figura 10. Diagrama de elaboración de un molino arrocero europeo



Clave:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1) Limpia | 8) Conos de blanqueo |
| 2) Silos para la regulación de la alimentación | 9) Pulidoras |
| 3) Báscula | 10) Separador de salvado |
| 4) Descascarilladoras de rodillos de goma | 11) Separador de germen |
| 5) Separador de cascarilla | 12) Separador de enteros |
| 6) Aspirador | 13) Clasificación de medianos |
| 7) Aspiración | |

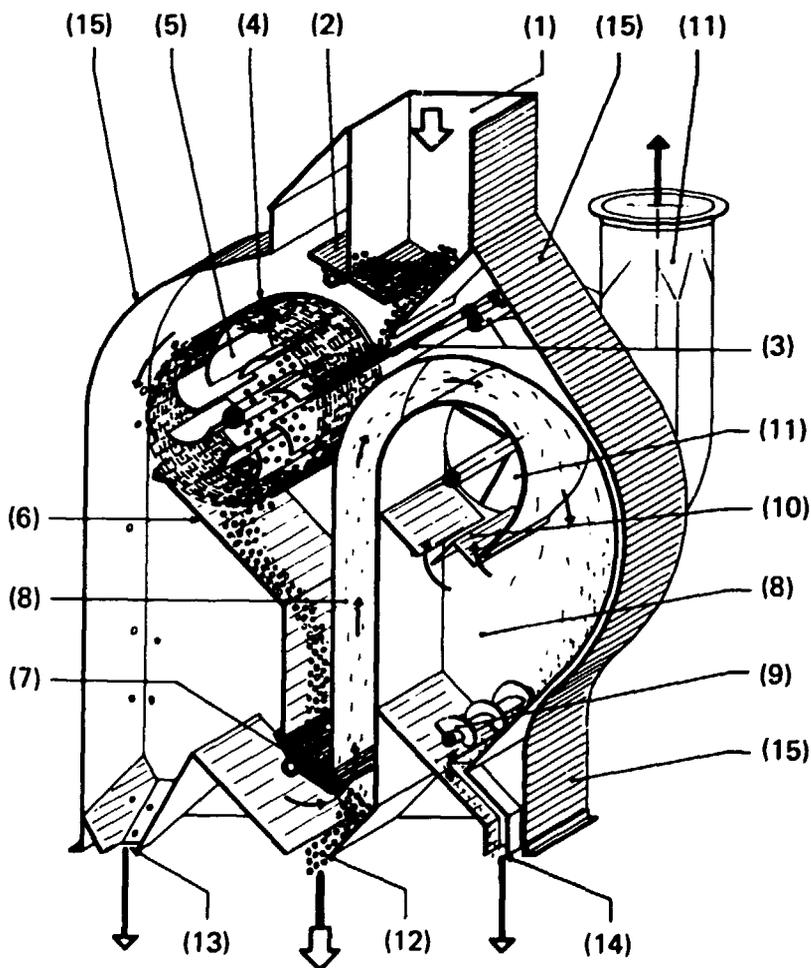
Descascarillado

Una vez que el palay está limpio, se procede a separar la cascarilla de la cariósida, operación para la que se utilizan más frecuentemente la descascaradora de discos (véase la figura 13) y la descascaradora de rodillos de goma (véase la figura 14)^{5, 6}. Con la descascaradora de discos, el grano se aprieta longitudinalmente y se frota ligeramente para separar la lema y la palea y liberar la cariósida. La máquina consta de dos discos de hierro paralelos y coaxiales, cuyas superficies adyacentes están recubiertas de material abrasivo. La distancia entre ambas superficies es ligeramente inferior a la longitud de los granos que han de descascararse. El disco superior es fijo, con un orificio en el centro para la entrada del arroz, en tanto que el inferior es giratorio. Los granos, forzados a girar con el disco inferior y hacia el exterior, llegan a ponerse, por un momento, en posición vertical y, entonces, sufren entre ambas superficies la presión y el frotamiento necesarios para el descascarado. La descascaradora de rodillos de goma (véase la figura 14) funciona basándose en

⁵Las descascarilladoras centrífugas son de aplicación muy limitada.

⁶De hecho, la "goma" de ese tipo de descascarilladoras es un elastómero sintético.

Figura 11. Despontadora o "escalpator"

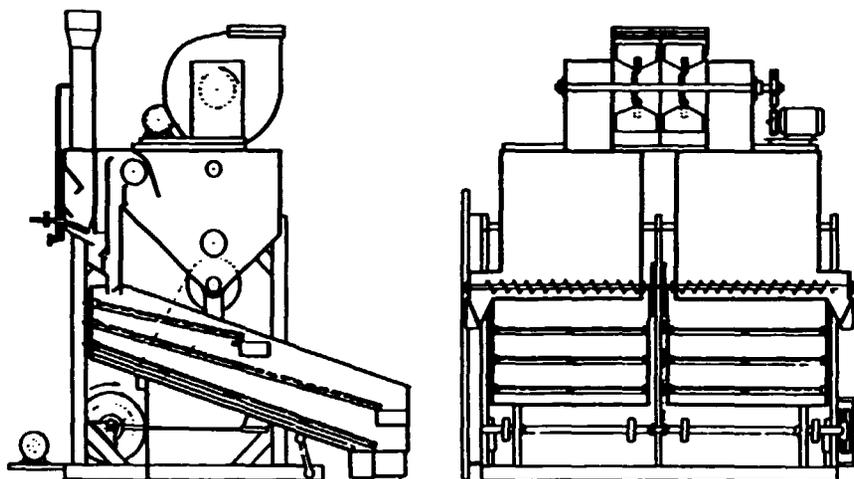


Clave:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1) Tolva de alimentación | 9) Rosca transportadora |
| 2) Compuerta regulable de alimentación | 10) Deflectores de salida de aire |
| 3) Bastidor regulable | 11) Aspiradora |
| 4) Zaranda cilíndrica | 12) Salida de grano limpio |
| 5) Aletas giratorias | 13) Salida de residuos grandes |
| 6) Colector de granos | 14) Salida de residuos de criba |
| 7) Escotillón | 15) Armazón y cubierta |
| 8) Conducto aspirador de residuos y cámara de deposición | |

Fuente: Borasio y Gariboldi [35].

Figura 12. Zaranda limpiadora

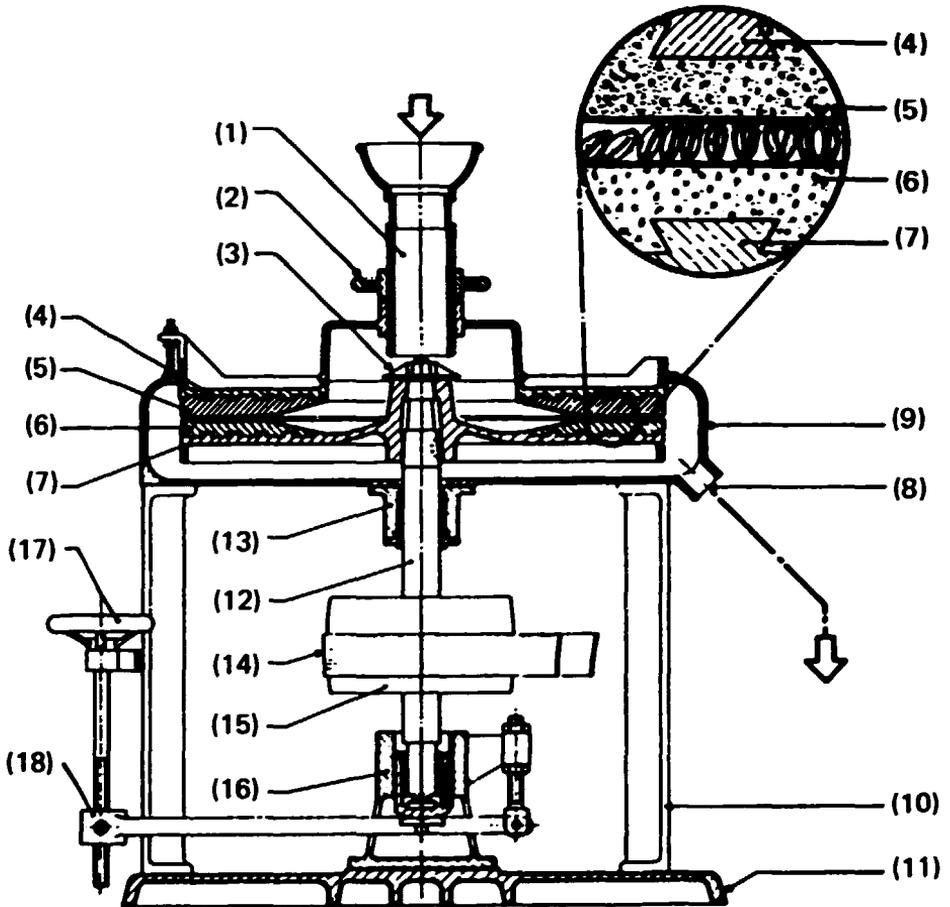


el principio de que si el grano de palay se aprieta por sus dos lados entre dos superficies elásticas que se muevan a diferentes velocidades en la misma dirección, las glumas se separan [37]. La máquina consta de dos rodillos fabricados de elastómero sintético, uno de los cuales está en posición fija en tanto que el otro es ajustable para lograr la holgura necesaria entre ambos, que siempre es algo más pequeña que el grosor de los granos de palay. Los rodillos giran en sentido contrario y a diferente velocidad. Los granos de palay quedan descascarillados cuando pasan entre los rodillos.

La descarga de la descascarilladora es una mezcla de arroz descascarado, cascarilla, salvado, medianos, polvo, granos verdes y yesosos y también granos vestidos; las descascarilladoras se ajustan para descargar alrededor del 95% de los granos en una sola pasada. El salvado y el polvo se separan en una zaranda separadora, de orificios apropiados, o por succión aplicada en la parte superior de una zaranda, y se recogen por separado (o también pueden incorporarse a la corriente de salvado de las blanqueadoras). Los medianos se suelen separar en otra zaranda, antes de retirar la cascarilla por aspiración, a fin de evitar que parte de ellos sean arrastrados con las cáscaras. Los granos verdes y yesosos también se separan antes si no presentan dificultades para ello.

Gariboldi [37] y van Ruiten [38] han descrito varios tipos de separadoras de cascarilla indicando la forma de apartar el salvado. En una máquina, la separadora (véase la figura 15) se combina con un "plansifter", el cual se fija a un sólido marco de acero colocado encima mismo de la aspiradora de cascarilla. El "plansifter" está equipado con dos tamices de desobturado automático. El primero de los tamices tiene orificios de pequeño diámetro, que permiten el paso del salvado y del polvo; el segundo tiene orificios mayores para permitir el paso de medianos. Los tamices rechazan la mezcla de cascarilla, arroz palay y arroz descascarado. En otra máquina (véase la figura 16), la mezcla de cascarilla, arroz descascarado, arroz palay, medianos, verdes y yesosos, salvado y polvo se descarga sobre un tamiz oscilante. El salvado, el

Figura 13. Descascarilladora de discos



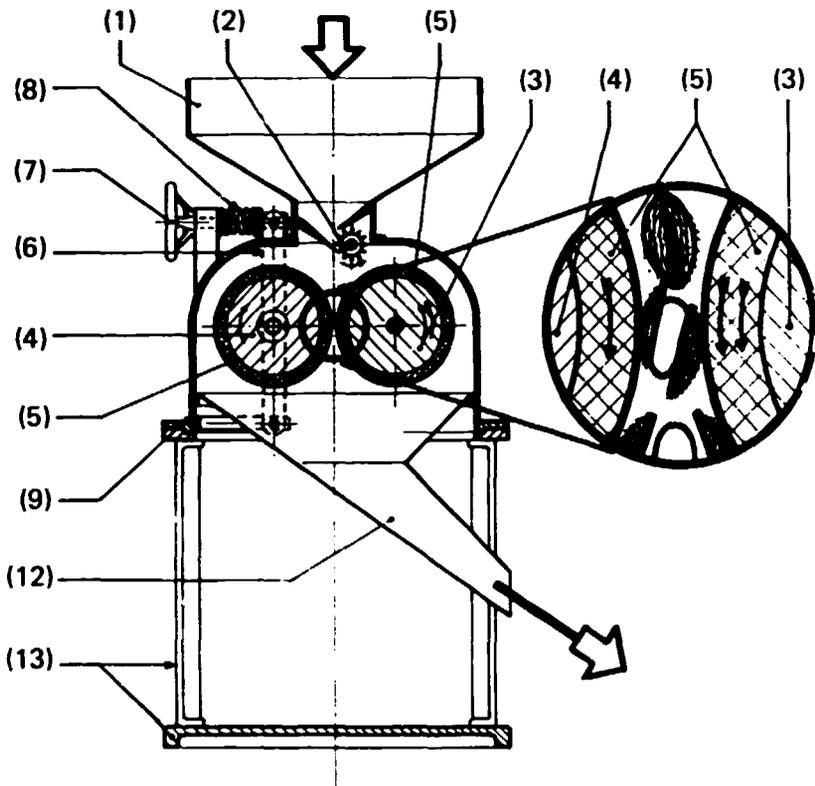
Clave:

- | | |
|--|---|
| 1) Tolva | 10) Armazón |
| 2) Manija reguladora de alimentación | 11) Base |
| 3) Tuerca del disco interior | 12) Eje |
| 4) Disco estacionario de hierro | 13) Cojinete |
| 5) Cara abrasiva del disco estacionario | 14) Correa de mando |
| 6) Cara abrasiva del disco rotatorio | 15) Polea de mando |
| 7) Disco rotatorio de hierro | 16) Cojinete |
| 8) Salida de arroz descascarado y de la cascanilla | 17) Manija para ajustar la holgura entre discos |
| 9) Cubierta de discos | 18) Brazo de sostén del eje |

Fuente: Borasio y Gariboldi [35].

polvo y también los medianos pasan a través del tamiz y se descargan en dos aberturas (izquierda y derecha) en la parte posterior del propio aspirador. Una corriente de aire, que se hace pasar a través de la cortina de subproducto, aparta el salvado y el polvo, en su caída, de los medianos que se descargan por un orificio situado en el fondo de la máquina.

Figura 14. Descascarilladora de rodillos de goma



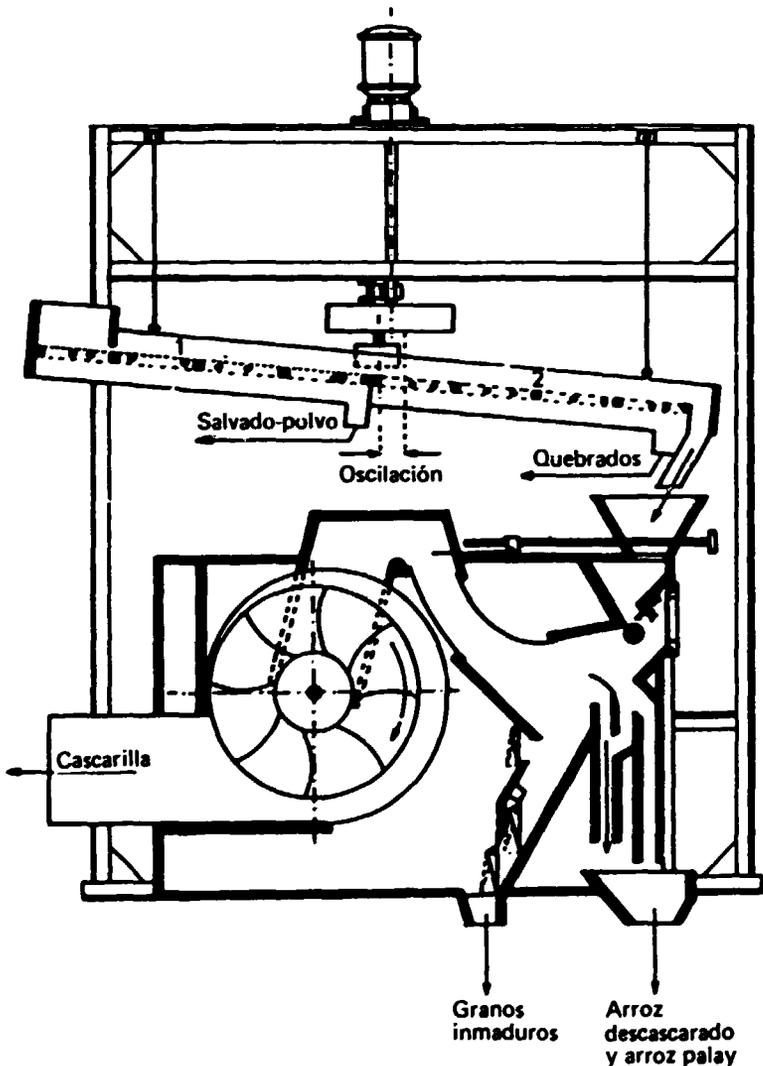
Clave:

- | | |
|--|--|
| 1) Toiva | 7) Manija para ajustar la holgura entre rodillos |
| 2) Rodillo de alimentación | 8) Resorte de tensión del rodillo |
| 3) Rodillo de movimiento rápido | 9) Cubierta |
| 4) Rodillo de movimiento lento | 10) Salida del arroz descascarado y de la cascarilla |
| 5) Cara de goma (elastómero sintético) | 11) Base y armazón |
| 6) Brazo regulador de los rodillos | |

Fuente: Borasio y Gariboldi [35].

Tanto la descascarilladora de discos como la de rodillos de goma producen lo que se llama "salvado de descascarilladora". Éste se compone fundamentalmente de fragmentos de cascarilla y puede incluir una pequeña proporción de pericarpio, germen, raquilla, pequeños fragmentos de endospermo, polvo y tierra. La descascarilladora de discos realiza un trabajo más tosco, e incluso las máquinas más ajustadas arañarán el pericarpio arrancando bastante germen. Por lo general, produce del 1% al 2,5% de

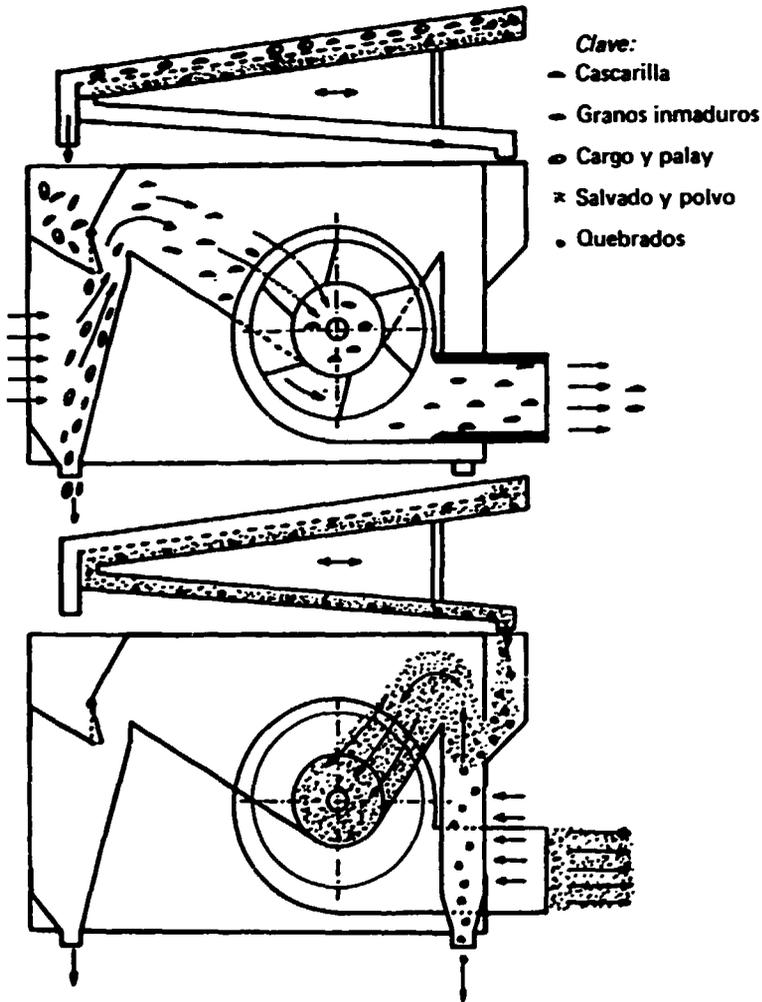
Figura 15. Separadora de cascarilla combinada con "plausifter"



Fuente: Van Ruiten [38].

salvado referido a arroz palay. La descascarilladora de rodillos de goma, cuando está bien ajustada, apenas daña el pericarpio y raramente separa el germen de la cariósida. En consecuencia, el salvado en este caso consiste prácticamente en fragmentos de cascarilla e impurezas. Su producción representa menos del 0,5% del arroz palay. Debido a su pequeña proporción se incorpora a la aspiración general de salvado o más comúnmente se abandona con la cascarilla.

Figura 16. Separadora de cascarilla de acción doble



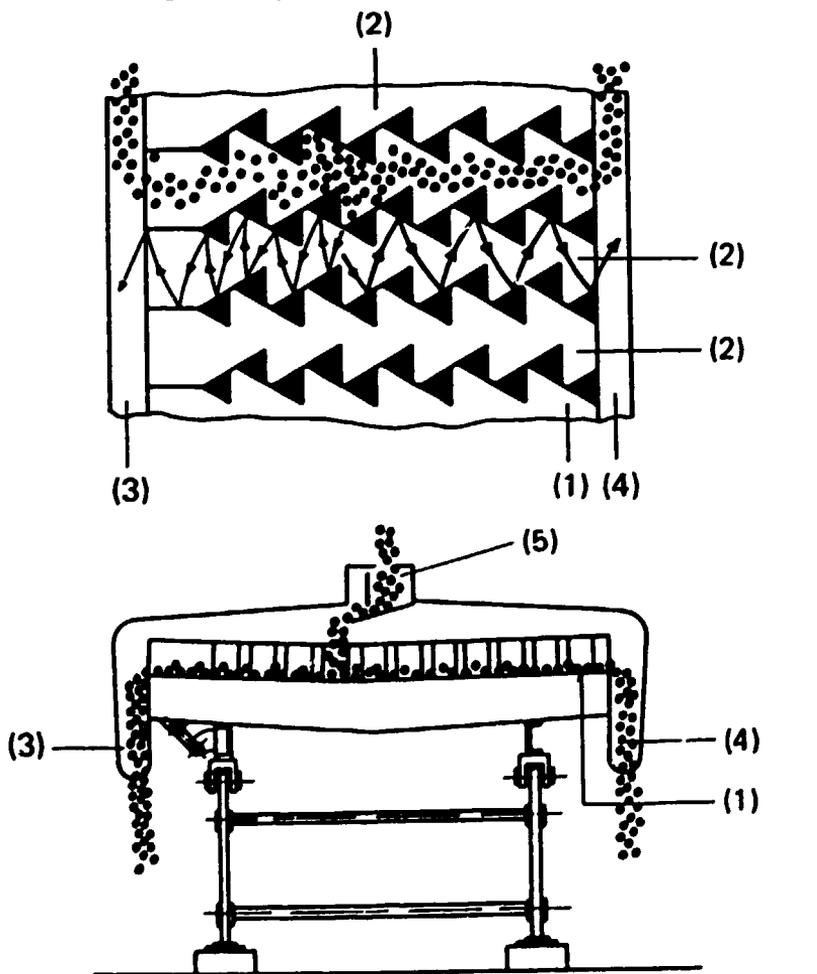
Fuente: Van Ruiten [38].

Separadoras de palay

Las descascarilladoras industriales no descascarillan la totalidad de los granos palay que procesan de una sola vez, sino solamente entre el 80% y el 95%. Por consiguiente, después de separar el salvado y el polvo, los medianos y la cascarilla, queda una mezcla de arroz descascarillado y arroz cáscara. Generalmente, los verdes y yesosos también están presentes, pues, como se ha indicado anteriormente, es de ordinario difícil separarlos en una etapa previa. Se utiliza la separadora de palay para completar la tarea.

Las separadoras de palay más utilizadas están montadas en compartimientos (véase la figura 17). Su funcionamiento se basa en el diferente comportamiento del arroz palay y del arroz descascarado cuando se mueven en un plano inclinado. Los granos de arroz descascarado, al ser más pequeños, más densos, redondeados y lisos, se deslizan más aprisa que los granos de palay, que son más voluminosos, ligeros y ásperos. Un tipo de separadora de palay más reciente es la separadora de bandejas (véase la figura 18), cuyo funcionamiento se basa también en las diferencias de densidad y lisura de los

Figura 17. Separadora de palay, de compartimientos



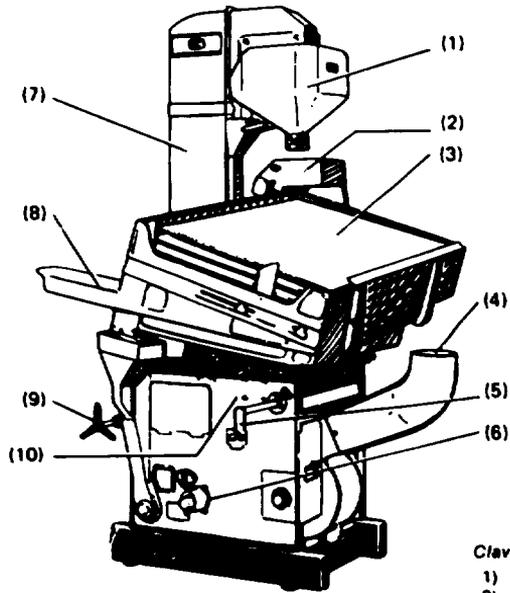
Clave:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Mesa | 4) Salida de palay |
| 2) Compartimientos | 5) Entrada de la mezcla de arroz descascarado y palay |
| 3) Salida de arroz descascarado | |

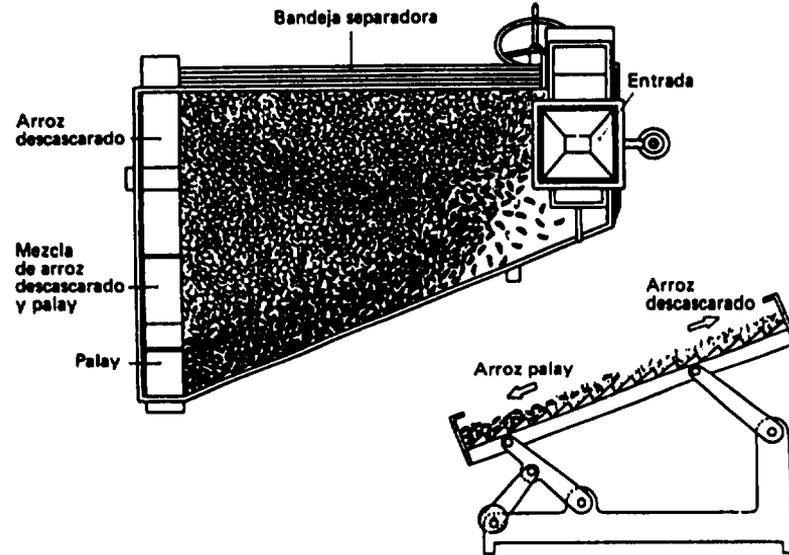
Fuente: Gariboldi [37].

Figura 18. Separadora de palay de bandejas con descascaradora incorporada

A. Separadora



B. Descascaradora



Clave:

- 1) Tanque de regulación automática de flujo
- 2) Distribuidor
- 3) Bandeja separadora
- 4) Salida de cascarilla
- 5) Manija de ajuste de la inclinación de la bandeja
- 6) Salida de granos inmaduros
- 7) Elevador de cangilones
- 8) Salida de arroz descascarado
- 9) Manija de ajuste del rodillo de goma de la descascaradora
- 10) Cámara de descascarado

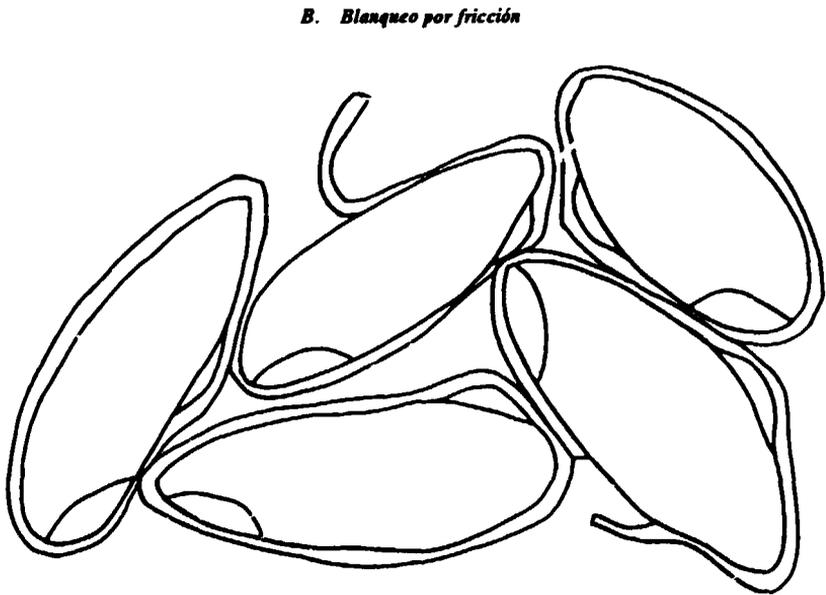
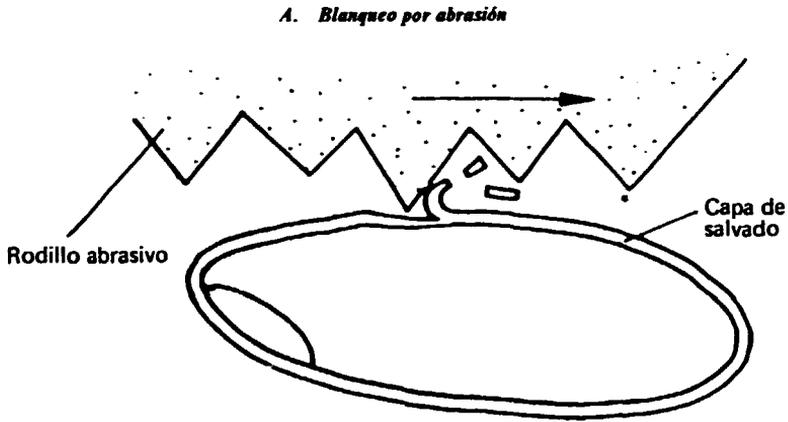
granos. Consiste en una serie de bandejas, dispuestas una encima de otra, de superficie dentada e inclinadas, dotadas de un movimiento hacia arriba y hacia adelante en el sentido de la parte más alta. El arroz rebota sobre la bandeja; los granos descascarados reciben un impulso hacia la parte más alta de la bandeja y los granos palay hacia la más baja. Las dos separadoras —la de compartimientos y la de bandejas— pueden, a condición de que estén debidamente ajustadas, dar arroz descascarado totalmente exento de arroz cáscara.

Blanqueo

El arroz descascarado pasa de la separadora de palay a las blanqueadoras para eliminar el salvado del grano y blanquear el arroz. Las máquinas que se utilizan actualmente operan por abrasión o por fricción. La máquina de abrasión puede tener o bien un eje vertical, como los conos blanqueadores europeos, o bien un eje horizontal, de diseño japonés; la máquina de fricción es como la "pulidora jet" japonesa, de eje horizontal. En las blanqueadoras de abrasión, el arroz descascarado se blanquea al pasar por el espacio vacío entre un cono abrasivo y una rejilla (molino europeo) o un cilindro perforado (molino japonés). El cono abrasivo —con los cantos afilados de las partículas vitrificadas— actúa como una cuchilla que corta y separa pequeños trocitos de la capa de salvado del germen descascarado, como cuando se pela una naranja cortando, con una cuchilla, poco a poco, pequeños trozos de la corteza sin cortar la pulpa [39]. Las máquinas industriales también producen algo de fricción, pero predomina la acción abrasiva (véase la figura 19). La máquina (véase la figura 20) consiste en un rotor de hierro fundido cónico, invertido (en España, derecho), recubierto de material abrasivo⁷, montado sobre un eje vertical, que gira dentro de una armadura o caja. La armadura lleva, subdivididas en segmentos, una rejilla o plancha perforada alrededor, que dista unos 10 mm de la superficie abrasiva. La caja de rejilla lleva los frenos de goma, o piezas de resistencia, que son paralelos al cono, a una distancia de 2 a 3 mm. La distancia entre cono y rejilla y entre cono y frenos puede regularse, variando así la proporción de salvado que puede separarse del grano. El arroz descascarado entra en la máquina por la parte superior; por la fuerza centrífuga, es lanzado hacia el exterior, cayendo entre el cono y la rejilla y siendo impulsado a girar en el sentido que lo hace el cono. Los granos tropiezan con los frenos de goma, sobre los que se acumulan, y allí, impulsados por el cono, son obligados a girar sobre sí mismos y a revolverse unos con otros. Los granos sufren así la acción abrasiva del cono y, en cierta medida, la fricción entre granos y con la rejilla (tejido de alambre o lámina perforada), hasta que son detenidos por el freno. Poco a poco, los granos van escapando de un freno para ser atrapados en el siguiente. Al mismo tiempo, van descendiendo hasta alcanzar la boca de descarga. Las capas externas del grano, separadas como salvado en la operación, escapan por los orificios de la rejilla, ayudadas por la corriente de aire que atraviesa la máquina para refrigerar el grano. El salvado se recoge en un colector circular, que se descarga a la conducción general, impulsado por unas paletas rotatorias. La corriente de aire arrastra algo de salvado, que se recupera en un ciclón.

⁷Véase en Gariboldi [37] una descripción detallada de las características de los materiales abrasivos e instrucciones para la preparación de la pasta abrasiva y recubrimiento de los conos.

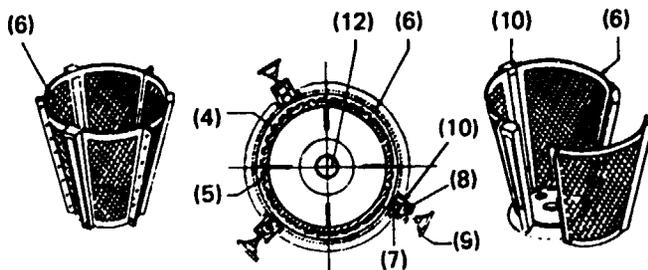
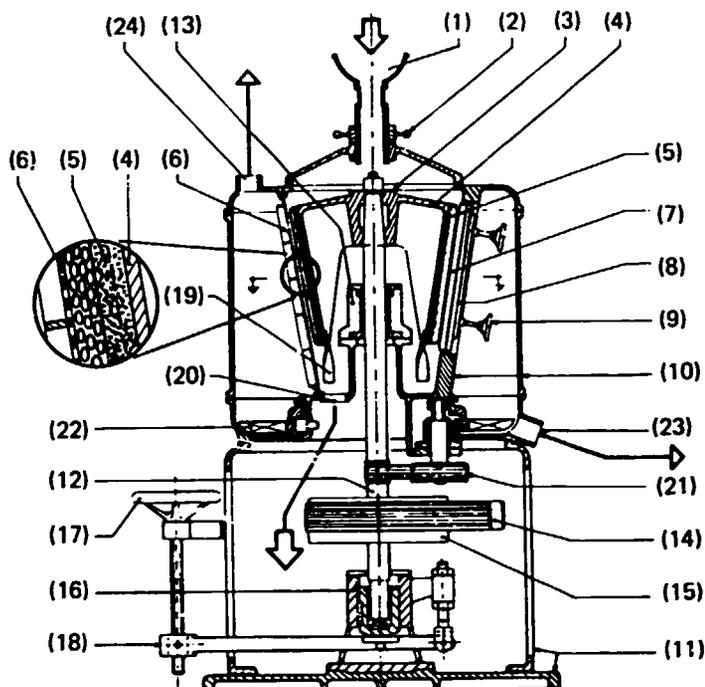
Figura 19. Representación esquemática del proceso de blanqueo



Fuente: Koga [39].

La blanqueadora de abrasión de eje horizontal (véase la figura 21A) elabora el arroz al pasar por el espacio entre el cilindro central abrasivo y el cilindro de acero perforado que lo rodea. El grano se mantiene con una cierta presión gracias a la válvula de descarga que regula el tiempo de retención del grano en la máquina y determina la proporción de salvado que ha de separarse. Unos frenos, adosados al cilindro perforado, cambian la trayectoria

Figura 20. Blanquadora



Clave:

- | | |
|---|--|
| 1) Tolva de alimentación | 13) Cojinete |
| 2) Manija reguladora de alimentación | 14) Correa de mando |
| 3) Nivel de ajuste del cono | 15) Polea de mando |
| 4) Cono | 16) Cojinete |
| 5) Cara abrasiva del cono | 17) Manija de ajuste de holgura entre rejilla y cono |
| 6) Caja de rejilla de segmentos desmontables con frenos de caucho | 18) Sostén eje |
| 7) Freno | 19) Transportadora de arroz |
| 8) Armadura del freno | 20) Salida del arroz |
| 9) Manija de ajuste del freno | 21) Polea de la transportadora de salvado |
| 10) Cubierta | 22) Paleta transportadora de salvado |
| 11) Armazón | 23) Salida del salvado |
| 12) Eje del cono | 24) Salida de aire |

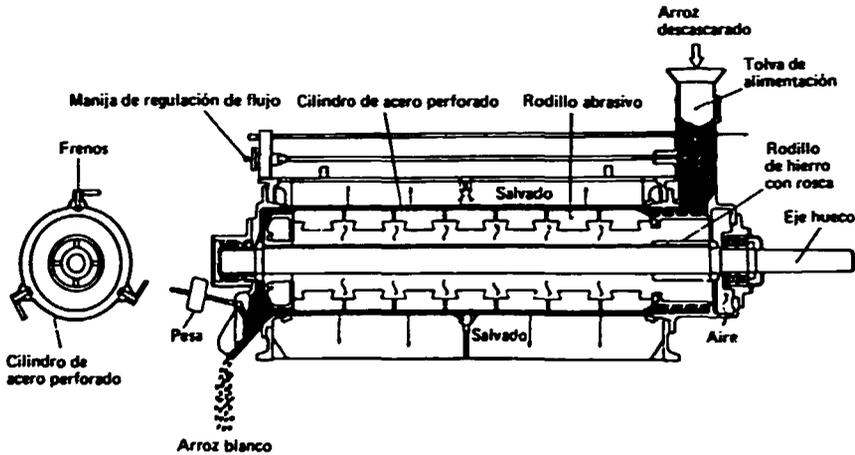
Fuente: Borasio y Gariboldi [35].

y la velocidad de los granos, en su desplazamiento desde la tolva de entrada a la boca de descarga. Se inyecta aire por la parte hueca del cilindro central que, al pasar a través de los granos de arroz, arrastra el salvado producido y sale por los orificios del cilindro perforado. Generalmente, se utilizan dos o más máquinas de este tipo al mismo tiempo.

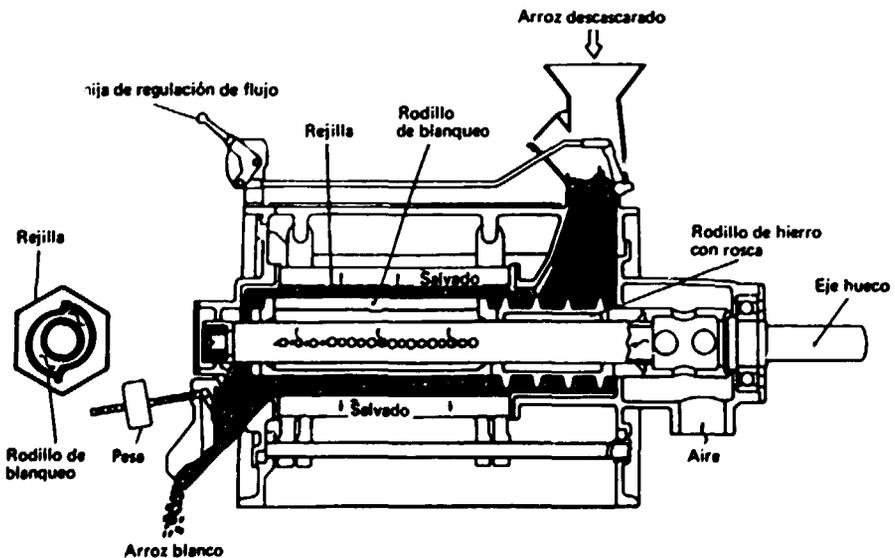
Las blanqueadoras de fricción (véase la figura 21B) funcionan de otra manera. El salvado se suelta y se separa del grano por efecto de la frotación,

Figura 21. Blanqueadoras de abrasión y de fricción

A. Blanqueadora de abrasión con eje horizontal



B. Blanqueadora de fricción con eje horizontal



bajo presión, de unos granos contra otros. La máquina de fricción consiste en un eje perforado, hueco en parte, sobre el cual va un cilindro de acero fundido, con lomas de fricción y boquillas para la inyección de aire. El cilindro se aloja en una cámara de fricción hexagonal, con ranuras perforadas, que deja un espacio vacío para que circule el arroz. Un tornillo, en la base de la tolva de carga, alimenta la carga, al tiempo que una válvula de descarga, ajustable, frena y regula la salida del grano, creando una cierta presión en la masa de arroz. La fricción de unos granos contra otros que se crea de esa forma suelta el salvado de la superficie y el aire que pasa a través de la masa de arroz se lo lleva a través de la rejilla. La presión interior y el tiempo de retención, que determinan la proporción de salvado que puede separarse del grano, se regulan ajustando la válvula de descarga. Estas máquinas se emplean en muchos molinos para el acabado del blanqueo realizado con una o más blanqueadoras de abrasión.

Pulido

Aunque en muchos molinos el blanqueo termina en ese punto, en otros continúa con el pulido. En algunos países las blanqueadoras se denominan a veces pulidoras, pero las pulidoras propiamente dichas son muy diferentes. Su cometido es eliminar, del grano ya blanqueado, las pequeñas partículas de harina que quedan adheridas a su superficie, con lo cual el arroz adquiere un aspecto lustroso, como satinado. Al mismo tiempo se recoge una nueva fracción de salvado. Las partes fundamentales de una pulidora son similares a las de una blanqueadora; la diferencia esencial es que no tienen capa de esmeril ni frenos de goma. Los dos tipos de pulidoras más utilizados —la de cono vertical y la de cilindro horizontal— se basan en un mismo principio. En el primer caso, el cono está recubierto de madera sobre la cual van clavadas tiras de cuero. El arroz entra en la máquina como en las blanqueadoras del mismo tipo y al pasar por el espacio vacío entre el cono y la rejilla es impulsado por las tiras de cuero que lo hacen rodar, frotándose unos granos con otros, con la rejilla y con el propio cuero. El polvo separado se aspira de la máquina y se recupera en un ciclón.

Operaciones finales

Por lo que respecta a la producción de salvado, en la mayoría de los países el pulido es la etapa final de la elaboración del arroz. Aunque, como ya se ha observado, cada corriente o fracción de salvado se produce por separado, todas ellas se combinan antes de comercializarlo. El arroz que sale de las blanqueadoras es una mezcla de granos enteros y quebrados —éstos de distintos tamaños— que deben separarse y clasificarse antes de su comercialización. Es ésta una parte muy importante de la elaboración del arroz, pero que no entra en los objetivos del presente estudio. El tema ha sido tratado pormenorizadamente en otros lugares [33].

Molinos y tipos de equipo utilizado

Categorías de molinos

La complejidad de los métodos utilizados para la elaboración del arroz varía según los países o las regiones y depende también de circunstancias particulares. Saunders y otros [40] han clasificado las instalaciones para la transformación del arroz en cuatro categorías de diferente complejidad técnica y social: *a)* de subsistencia; *b)* rústicas; *c)* cuasi comerciales; y *d)* de exportación. La primera categoría se denomina de subsistencia porque el arroz se produce exclusivamente para su consumo, generalmente a nivel individual o familiar, sin inversión alguna en maquinaria. La segunda categoría está representada por el propietario de un pequeño molino, consistente en una máquina con la que elabora el arroz que, en sacos, traen los clientes (pequeños agricultores u otros) a los que cobra una cuota, a menudo consistente en arroz o subproductos. Según los autores, es éste el primer nivel en que cabe introducir mejoras mecánicas de un cierto grado de complejidad, ya que el capital necesario puede ser aportado por un grupo, directamente (es decir, por mediación de una cooperativa) o indirectamente (es decir, en forma de acciones). La categoría cuasi comercial corresponde a la del molinero que tiene unas cuantas máquinas en su molino, pero que invierte capital, tiene enfoque comercial y comparte los objetivos y problemas del fabricante del nivel superior. No obstante, su campo de acción está muy limitado, lo mismo que sus recursos. La categoría de exportación, o comercial, difiere de la anterior principalmente en el campo de acción, que no está limitado (ya que puede entrañar exportaciones) o es ampliable (a escala nacional), en la calidad del arroz que exige y en su capacidad competitiva y tecnología, que en este caso entraña grandes inversiones de capital.

Tipos de equipo y su influencia sobre el salvado que producen

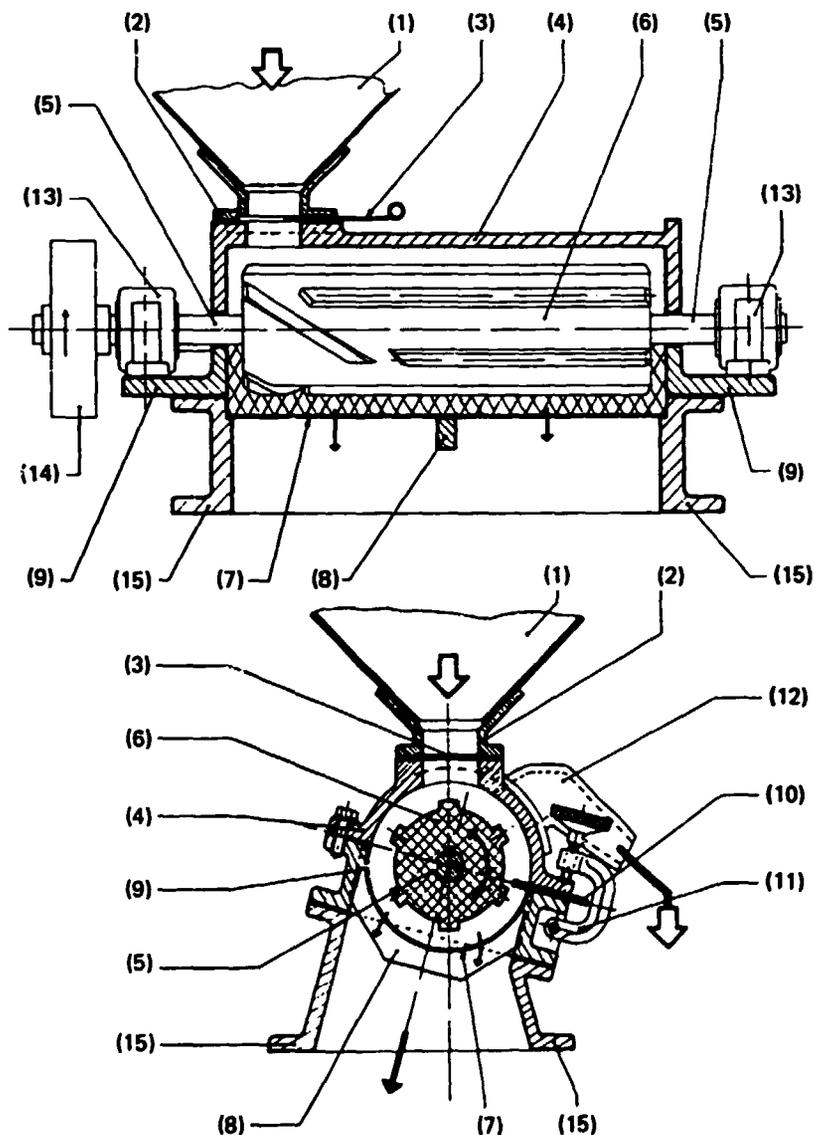
Dejando a un lado la elaboración manual del arroz que se encuentra al nivel de subsistencia⁸, la forma más sencilla de elaboración mecánica, típica de la categoría rústica⁹, es la que emplea una sola máquina y obtiene sólo dos transformados: el arroz elaborado (con una cantidad variable de medianos) y un subproducto consistente en una mezcla de cáscara molida, arroz triturado, salvado y toda suerte de impurezas tales como paja, tierra, piedras, etc. La máquina más comúnmente utilizada es la denominada "huller" (por ejemplo, kiskisan¹⁰) (véase la figura 22). Consiste en un cilindro de acero acanalado, que gira sobre un eje, dentro de un cárter provisto de una rejilla en la parte inferior. El arroz circula por el espacio entre el cilindro rotatorio y el cárter, en

⁸En las zonas rurales de algunos países —Bangladesh, la India e Indonesia, por ejemplo— una proporción bastante considerable del arroz se elabora con el mortero pilón, a mano o accionado por un pedal.

⁹Menos frecuentes a este nivel son las instalaciones con una máquina para descascarillar y otra para blanquear, con un tamiz como tercer elemento para clasificar o separar.

¹⁰Las descascaradoras kiskisan se utilizan para descascarar y blanquear en un solo paso o en doble etapa y también como blanqueadora en serie con descascaradoras de disco o de rodillos de goma.

Figura 22. Molino tipo "huller"



Clave:

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1) Tolva | 8) Soporte de la rejilla |
| 2) Asiento de tolva | 9) Armazón |
| 3) Compuerta regulable de alimentación | 10) Cuchilla |
| 4) Cubierta | 11) Enganche de cubierta |
| 5) Ejes de cilindro | 12) Salida del arroz blanco |
| 6) Cuerpo de cilindro | 13) Cojinete |
| 7) Rejilla | 14) Polea |
| | 15) Armazón |

Fuente: Borasio y Gariboldi [35].

dirección de la salida y en sentido rotatorio por acción de los canales del cilindro; los primeros canales están inclinados y ejercen presión sobre el arroz, moviéndolo hacia la salida. Una hoja ajustable controla la cantidad de arroz que pasa y determina la proporción de salvado que se separa del grano¹¹. La cascarilla triturada, el grano partido fino, el salvado y las impurezas atraviesan por la criba inferior y salen por la boca de descarga. El arroz y los fragmentos grandes de cascarilla se descargan juntos por otra salida. El principal defecto de estas máquinas es que se rompe gran parte del arroz y el rendimiento es bajo¹²; la pérdida de medianos menudos a través de la rejilla contribuye a ello. Por otra parte, como esos molinos no tienen un separador de palay que elimine los granos vestidos residuales del arroz blanco final, el arroz tiene que someterse a una elaboración más extensa para conseguir que se quede el mínimo posible de granos palay. Así ocurre en particular en el caso del arroz crudo, en el que la cascarilla no se separa fácilmente. En lo que se refiere al salvado, los inconvenientes de la máquina son obvios, ya que el salvado que se produce tiene un alto contenido de sílice y fibra y muy baja proporción de aceite; además, arrastra consigo la tierra y otras impurezas que pueda contener el arroz palay.

A pesar de todos estos inconvenientes, los molineros que poseen ese tipo de molinos son reacios a modernizarlos, particularmente en zonas donde se practica el sancochado. Es más, el número de estos molinos sigue aumentando¹³. Pillaiyar y otros [42] han determinado varias razones para que así sea: en primer lugar, la máquina es barata, de fácil instalación, operación y mantenimiento, incluso en un medio rural; segundo, algunas máquinas tienen poca capacidad, pueden operar intermitentemente y, en consecuencia, trabajar con pequeñas cantidades de arroz palay —ya sea crudo o sancochado— según requiera el cliente del área rural, y tercero, pueden dar un arroz elaborado de calidad aceptable.

En algunos casos, factores de índole económica han influido en la proliferación de molinos de este tipo. En la India, por ejemplo, el Gobierno impone un gravamen consistente en comprar un porcentaje del arroz elaborado por molinos comerciales a un precio inferior al del mercado. El porcentaje varía, pero, por lo general, es más del 50% de la producción total. Los molinos "huller" están considerados no comerciales y quedan exentos del gravamen, así como de los impuestos de venta y compra. El hecho de que en Bengala occidental el número de molinos "huller" haya pasado en pocos años de unos 6.000 a más de 22.000 puede atribuirse a esa diferencia de trato fiscal [43]. En Filipinas se han registrado casos de préstamos especiales concedidos por el Banco Mundial y el Banco Asiático de Desarrollo para instalar nuevos molinos con descascarilladoras de rodillos de goma y posteriormente, una vez pasada la inspección, las máquinas fueron sustituidas por unidades "huller" [40].

¹¹También influye en la alimentación y la descarga.

¹²El rendimiento de los molinos con descascarilladoras de rodillos de goma que elaboran palay puede cifrarse en 2,5% más de arroz elaborado total que los de descascarilladora de discos y 6,6% más que las máquinas "huller". En el caso del arroz sancochado, estas cifras pasan a ser de 0,8% y 1,6% respectivamente. Las diferencias en arroz entero son del orden del 6,1% y 15,1% para el arroz crudo y del 1,3% y 4,1% para el sancochado, respectivamente [41].

¹³En la India, según datos publicados en 1965, ascendían a más de 30.000 los molinos de tipo "huller", con unidades individuales o combinadas. Las estadísticas correspondientes al bienio 1972-1973 situaban la cifra en 72.000, y en 1977 el número se aproximaba a los 90.000.

El Ministerio de Agricultura y Riegos de la India ha introducido recientemente un procedimiento sencillo para mejorar el molino "huller" de una sola máquina, con el cual una instalación de este tipo pasa automáticamente a ser clasificada como "unidad moderna", en virtud de la ley y reglamentos sobre elaboración de arroz, con las ventajas administrativas correspondientes a las instalaciones de este tipo [44]. La información técnica facilitada por el Ministerio confirma que el rendimiento es mayor, que el arroz se rompe menos y que se recupera un salvado de calidad superior. La maquinaria consiste en una descascarilladora centrífuga¹⁴ y una limpiadora con separadora de palay, consistente en una zaranda de vaivén con aspiración que primero se usa para limpiar y luego para separar el palay, haciéndose la labor, naturalmente, por cargas; y por último, el molino "huller" existente que se utiliza para blanquear el arroz descascarillado.

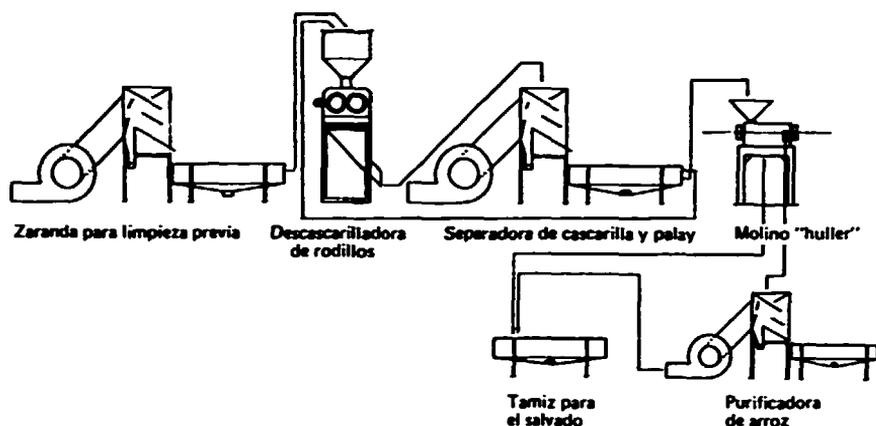
En el mismo sector industrial, el ejemplo que se da a continuación representa un paso más en el proceso de modernización [42]. En un molino que tenía dos máquinas "huller", capaces de elaborar una tonelada de arroz palay sancochado por hora, se utilizaba una de las máquinas para descascarar y la otra para blanquear; el arroz blanco, junto con los medianos y algo de cascarilla, se limpiaba y clasificaba en una zaranda-aventadora, y el salvado obtenido contenía alrededor del 6% de aceite y 15% de sílice. El molino se modernizó instalando: a) una zaranda-aventadora nueva para limpieza previa; b) una descascarilladora de rodillos de goma sin succión, nueva; c) la zaranda-aventadora antes existente, debidamente modificada para trabajar como separadora de palay así como aspiradora de cascarilla y limpiadora¹⁵; d) una de las máquinas "huller" existentes, dedicada exclusivamente al blanqueo; e) una zaranda-aventadora nueva para separar medianos y el salvado suelto adherido al arroz blanco, y f) una simple zaranda, también nueva, para separar el mediano menudo y algo de cascarilla del salvado (véase la figura 23). Aparte de lograr un mayor rendimiento en arroz y reducir el consumo energético en cerca de un 30%, la nueva maquinaria permitió un considerable mejoramiento de la calidad del salvado producido, ya que su contenido de aceite aumentó en casi un 20%. La inversión, que fue de bajo costo, resultó rentable.

Algunos fabricantes han combinado, en una unidad monobloque, la descascarilladora y la blanqueadora, con algunos otros dispositivos, a fin de realizar en una sola máquina y en un solo paso todas las operaciones del proceso; es decir, descascarillado, separación de la cascarilla del arroz descascarado, blanqueo y separación del salvado (véase la figura 24). La máquina incorpora un tamiz vibratorio para la separación de impurezas de

¹⁴La descascarilladora centrífuga está constituida por dos discos paralelos metálicos, entre los cuales queda una pequeña holgura, y que giran a gran velocidad (3.500 rpm). Según las informaciones facilitadas, su rendimiento es comparable al de una descascarilladora de rodillos de goma, pero se eliminan la ruptura del arroz y la mezcla de cascarilla con el salvado; se dice, además, que la máquina deja la cariósida intacta. El arroz palay entra por el centro y es guiado por dispositivos metálicos situados entre los discos. Los granos, proyectados por la fuerza centrífuga, chocan contra un disco de goma estacionario adosado al anillo exterior y se descascarillan. Por lo general, las máquinas tienen capacidad para unos 400 kg/h; pueden trabajar con pequeñas partidas y no requieren más de un hp de potencia [44]. Se obtienen mejores resultados con el arroz sancochado que con el crudo, y tal vez sea ésta la razón por la que Sauders y otros [40] dicen que este tipo de maquinaria no ha dado buenos resultados en Filipinas.

¹⁵La modificación no presentó graves problemas, ya que se consideró satisfactorio tener un 5% de palay en el arroz descascarado para ayudar al proceso de blanqueo.

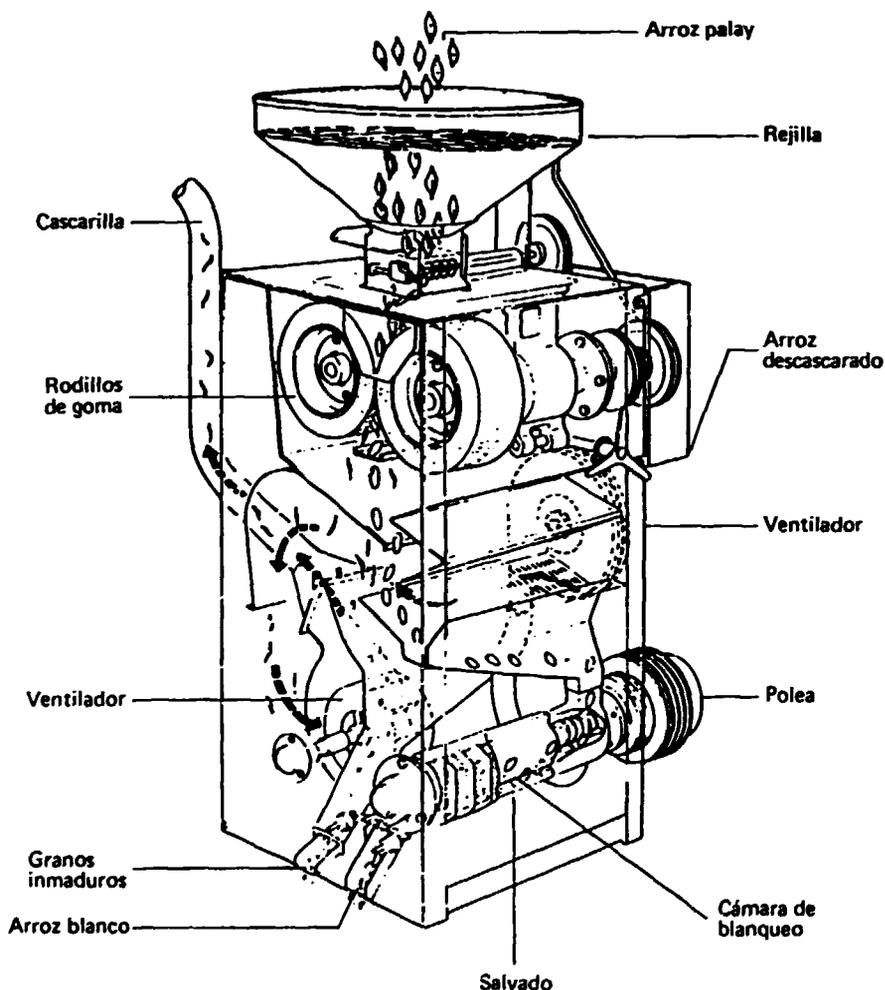
Figura 23. Molino de arroz tipo "huller", modernizado



tamaño grande (pajas, raquilla, etc.), así como un separador magnético, una descascarilladora de rodillos de goma, un separador de cascarilla, que aparta también los granos inmaduros, y una blanqueadora horizontal con inyección de aire de refrigeración, que, al propio tiempo, saca el salvado. Si hay muchas impurezas en el palay, la unidad monobloque puede combinarse con una prelimpia (véase la figura 25). La capacidad de la máquina varía según el modelo, de 0,5 a 1 t/h. Generalmente, como el arroz que elaboran es normalmente de calidad inferior y el blanqueo se realiza en un solo paso, estas máquinas pueden causar más rotura y el salvado que producen contiene una mayor proporción de endospermo amiláceo. Por otra parte, la operación de limpieza y la separación del arroz vestido y de la cascarilla están lejos de ser perfectas, lo que también influye en la calidad del salvado.

Con los elementos básicos descritos en la sección anterior y otros de carácter accesorio se componen diagramas de elaboración de muy diverso grado de complejidad (véanse las figuras 26 a 28). Cabe señalar en particular el clasificador de arroz palay y la descascarilladora de retorno, la deschinadora, que se usa antes que las blanqueadoras, el número de etapas de blanqueo y el separador de germen, todos los cuales tienen cometidos que se examinarán más adelante. El separador de germen (véanse las figuras 29 y 30) merece comentario aparte. Aunque en la mayoría de los países el salvado comercial incluye el germen, en otros, como es el caso de Italia y de España, la separación del germen es una práctica generalizada. En los molinos españoles, la mezcla de los salvados procedentes de las distintas blanqueadoras (se usan de 3 a 6) pasa por el tamiz rotatorio y el separador de germen. El primero, que es una pantalla en forma de prisma hexagonal con malla de unos 0,8 mm, separa el salvado, los fragmentos de germen y los gérmenes de menor tamaño, así como los merianos muy menudos. El separador de germen combina una zaranda vibratoria con aspiración para separar las partículas que difieren en tamaño y en densidad, respectivamente. Comprende un primer tamiz, con orificios

Figura 24. Unidad monobloque para descascarillar y blanquear el arroz



de 0,8 mm, para separar el salvado residual; un segundo tamiz con abertura de malla de 1,5 mm para separar el germen, y un tercero, con perforaciones de 2 mm, para separar los medianos menudos de los más grandes y otras partículas (incluidos granos enteros) que puedan estar presentes. A través de la descarga del germen se pasa una corriente de succión que separa las impurezas ligeras (fragmentos de cascarilla y salvado). La purificación definitiva del germen puede hacerse por medios neumáticos. Según las máquinas que se utilicen y las condiciones en que funcionan, se logra un producto comercial cuyo contenido en germen puro varía entre el 40% y el 85% [45].

Figura 25. Unidad monobloque con prelimpia, elevador de cangilones y unidad motriz

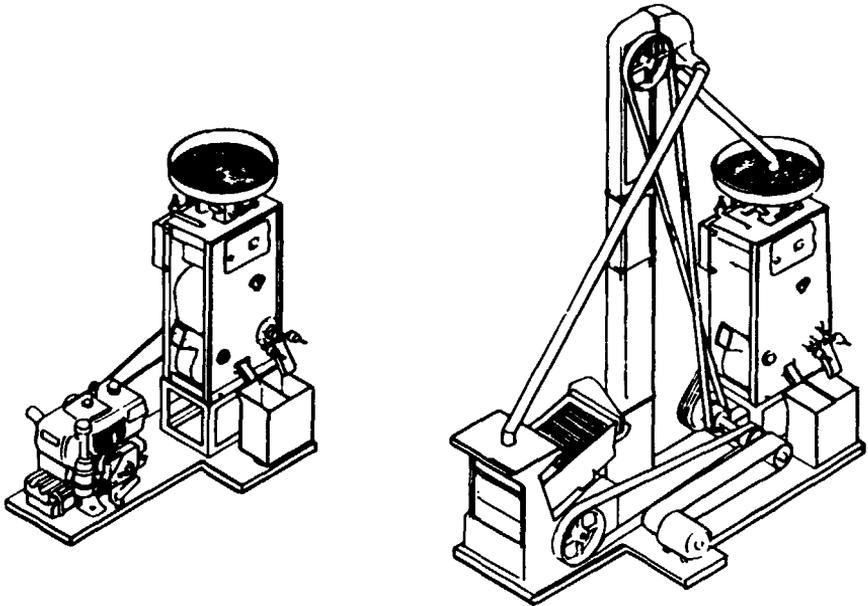
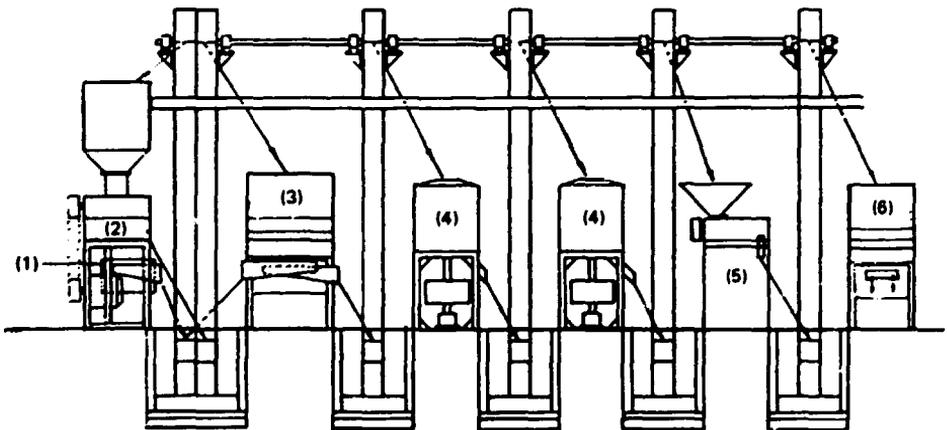


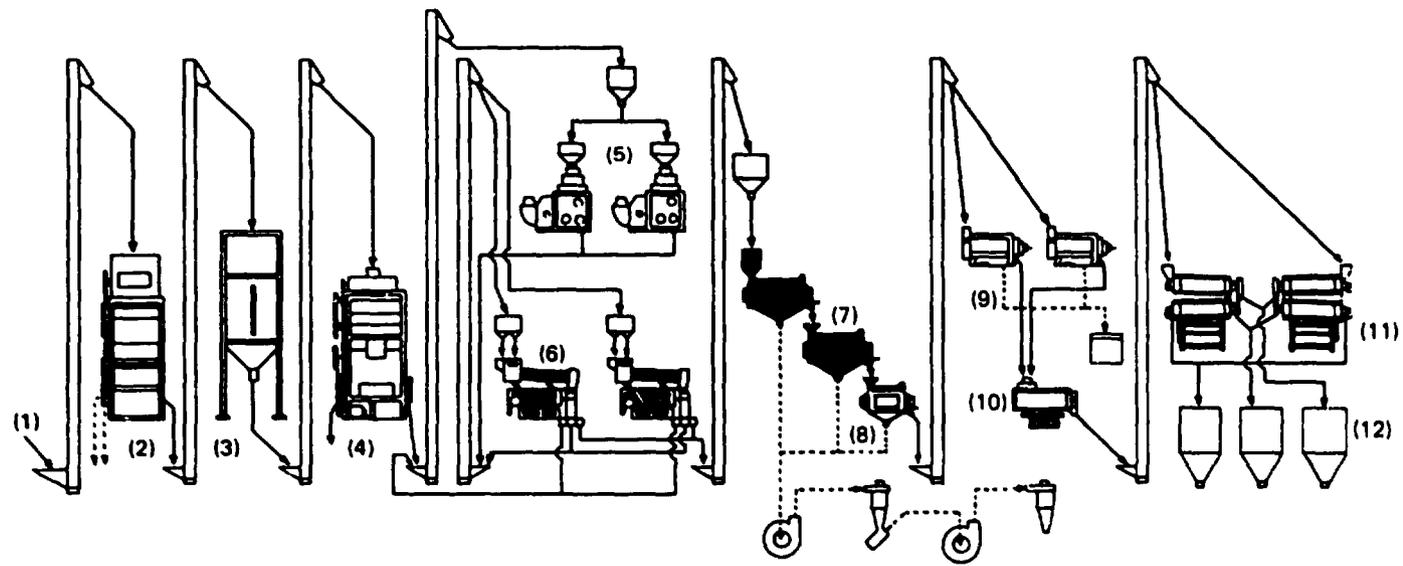
Figura 26. Molino modernizado, que incluye una unidad tipo "huller"



Clave:

- | | |
|------------------------|--------------------------------------|
| 1) Limpiadora | 4) Conos de blanqueo |
| 2) Descascarilladora | 5) Molino "huller" |
| 3) Separadora de palay | 6) Clasificadora de arroz — medianos |

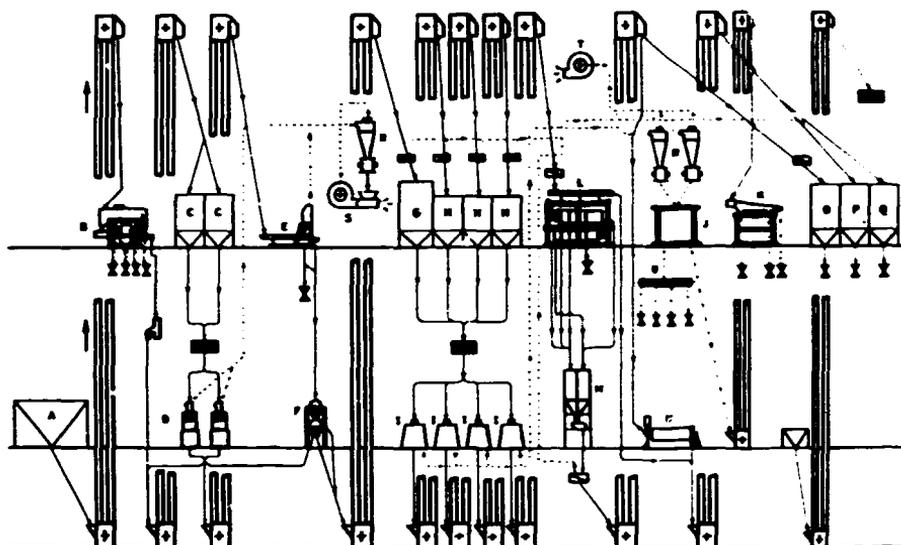
Figura 27. Diagrama de un sistema de elaboración de arroz



Clave:

- | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1) Entrada de palay | 5) Descascaradora | 9) Refinadora |
| 2) Limpia | 6) Separadora de palay | 10) Tamiz giratorio |
| 3) Silo | 7) Blanqueadora por abrasión | 11) Clasificadoras de arroz |
| 4) Aspiradora con deschinadora | 8) Blanqueadora por fricción | 12) Silos |

Figura 28. Diagrama de un sistema de elaboración de arroz, con inclusión de separadora de germen



Clave:

- | | |
|--|--|
| A Tolva de alimentación | L Separadora de quebrados |
| B Limpiadora | M Máquina para medir grano quebrado |
| C Silo de palay limpio | N Mezcladores de arroz |
| D Descascarilladoras | O Silo de arroz elaborado |
| E Separadora de cascarilla | P Silo de arroz mezclado |
| F Triarvejones | Q Silo de arroz entero |
| G Silo de arroz descascarado | R Ciclones de seguridad |
| H Silos intermedios de arroz con destino a blanqueadoras | S Máquina para aspiración y transporte neumático de cascarilla |
| I Blanqueadoras | T Aspirador general |
| J Separadora de salvado | U Transportador de salvado |
| K Separadora de germen | |

Se han ensayado varios tipos de maquinaria para separar el germen y el grano quebrado muy menudo por métodos neumáticos [46].

Otro método que se ha ensayado es el de remover el germen del grano antes de elaborarlo [47], como a veces se hace con el trigo. Una vez eliminada la cascarilla, el arroz se mantiene en un lecho fluidificado en el que la fricción entre granos y con paredes perforadas de la estructura que lo contiene produce la separación del germen de la cariósida. No ha sido posible evitar la separación de salvado y la rotura de granos simultáneamente. El germen, las partículas de salvado y los fragmentos pequeños de endospermo, a medida que se producen, son arrastrados por una corriente de aire a través de las perforaciones de la cámara. Las tres fracciones producidas se separan luego por tamización y aventado. El cuadro 4 ofrece datos sobre este dispositivo tal como se utiliza con las variedades de arroz cultivado en la India, e incluye también datos para el arroz sancochado.

Figura 29. Proceso de separación del germen del salvado de arroz

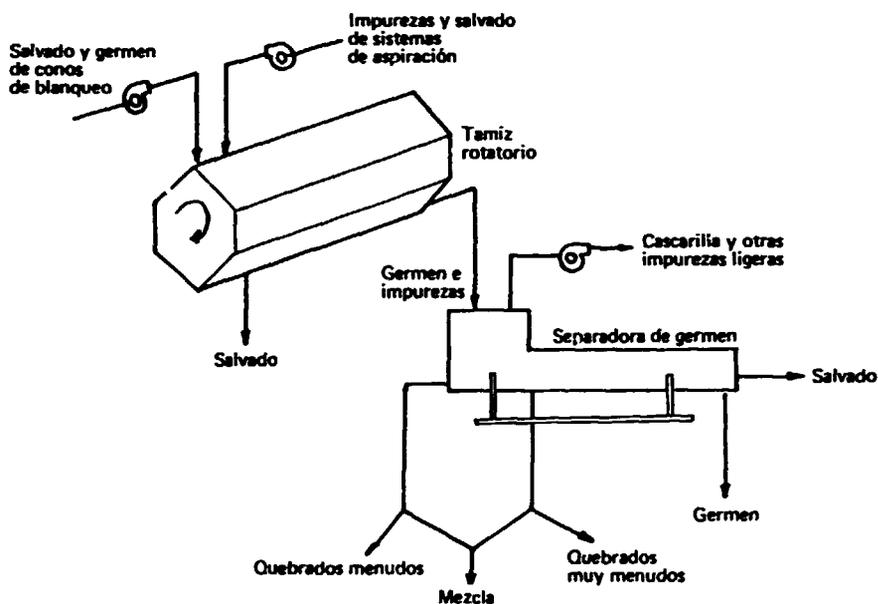
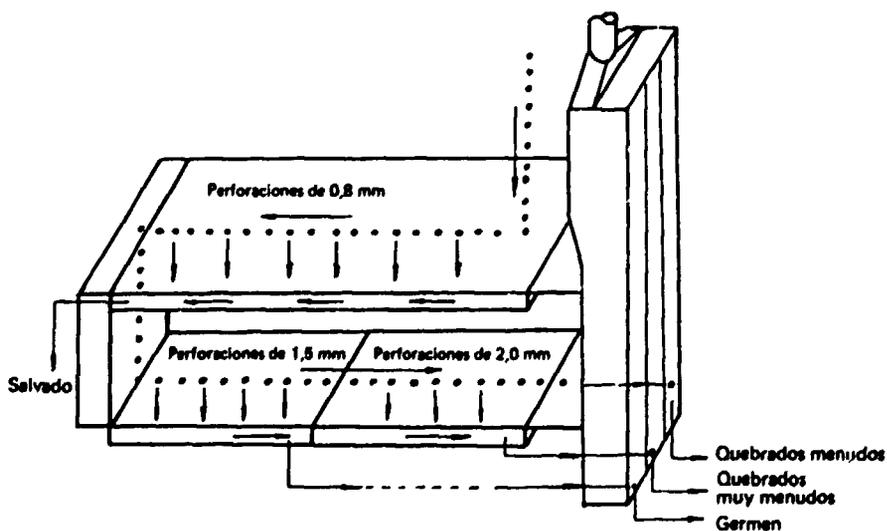


Figura 30. Diagrama de un separador de germen



CUADRO 4. SEPARACIÓN Y RECUPERACIÓN MANUAL DE GERMEN EN UNA MÁQUINA DESGERMINADORA^a
 (Gramos por 100 gramos de arroz descascarado)

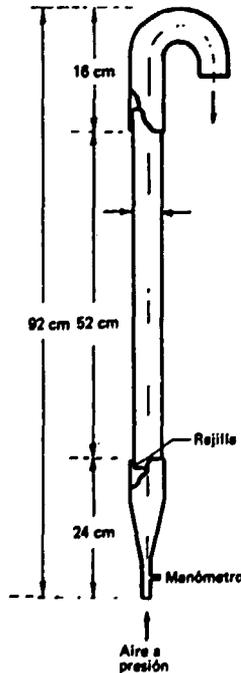
Variedad y tipo de arroz descascarado	Rendimiento		
	Germen	Salvado	Medianos
ADT-8			
Crudo	2,6	3,6	28
Sancochado	1,0	3,0	3
IR-20			
Crudo	1,6	3,1	22
Sancochado	0,5	2,5	3,8

Fuente: Vasan y otros [47].

^aEn funcionamiento en el Centro de Investigaciones sobre Elaboración de Palay de Thiruvapur, India.

El germen procedente del molino contiene como impurezas más importantes fragmentos de cascarilla y, en particular, trocitos de grano muy menudos. Cuando se requiere mayor grado de pureza —por ejemplo, en trabajos de laboratorio— se obtienen resultados satisfactorios con el dispositivo que se esquematiza en la figura 31, y que trabaja con cargas de hasta

Figura 31. Esquema del dispositivo de laboratorio para separar el germen del salvado de arroz



50 gramos. El germen impuro se tamiza en un par de tamices, con perforaciones de 1,5 y 0,8 mm (u otras más apropiadas al tamaño del germen de la variedad de que se trate). La parte comprendida entre ambos tamices se carga sobre la rejilla del purificador, en la parte baja del tubo de vidrio o plástico que constituye el cuerpo principal del dispositivo, y se insufla aire a presión por la boca de entrada inferior. Con una diferencia de presión de unos 20 mm de columna de agua, se separa prácticamente toda la cascarilla. Aumentando la presión por encima de los 100 mm de columna de agua, se logra separar el germen sin arrastrar los fragmentos de endospermo, que quedarán sobre la rejilla.

Breve descripción de las instalaciones molineras de diversos países o regiones

Saunders y otros han elaborado un informe sobre las pérdidas de arroz después de la cosecha en el que se incluye información sobre instalaciones molineras de diversos países [40]. Seguidamente se resumen las descripciones que hacen de las instalaciones de diversos países y el tipo y calidad del salvado que se produce en cada caso. Se han añadido notas complementarias de otras fuentes, entre las que cabe señalar un interesante informe sobre la tecnología que se aplica después de la cosecha en cuatro países de Asia [48].

África

Se estima que hay en Liberia unas 150 unidades de tipo kiskisan y aproximadamente 90 instalaciones con descascarilladoras de rodillos de goma combinadas con blanqueadora por fricción¹⁶. En algunos casos, se emplea la descascarilladora de rodillos en la primera etapa y luego la unidad kiskisan para blanqueo. En Liberia hay solamente tres molinos de categoría comercial. Están equipados con prelimpia, descascarilladoras de rodillos de goma, aspiradoras de cascarilla, separadores de palay y conos de blanqueo. Se calcula que la elaboración manual representa el 77% de la producción, la de los pequeños molinos un 20% y la de los grandes molinos el 3%. En Sierra Leona hay molinos de carácter rural y comercial. Los molinos rurales son de varios tipos. Uno de ellos consiste en una descascarilladora de rodillos de goma combinada con una limpiadora de fricción, de un solo paso, con capacidad para 200 kg/h, de los cuales hay unos 20 funcionando¹⁷. Otro molino del mismo tipo, pero con capacidad de 500 kg/h usa a veces una prelimpiadora. Un tercer tipo consiste en una descascarilladora y blanqueadora combinadas, con capacidad para 200 kg/h, calculándose que hay en el país unas 350 unidades de este tipo. A nivel comercial son pocos los molinos, ya que representan tan solo el 4% del sector total, frente a un 13% de categoría rural. La elaboración manual representa todavía un 83% del total. En muchos países, una elevada proporción de la elaboración total consiste en el pilado a mano: un 92% en Gambia y Nigeria, por ejemplo, y un 62% en Ghana, 46% en Côte d'Ivoire y 30% en Benin. Los molinos de categoría rural, que son

¹⁶Otras fuentes indican 400 unidades kiskisan y entre 150 y 200 con descascarilladoras de rodillos y blanqueadora de fricción

¹⁷Otras fuentes hablan de 50.

fundamentalmente de tipo kiskisan, y los de categoría comercial, que se basan en la descascarilladora de rodillos combinada con una blanqueadora de fricción o tipo kiskisan, aparecen en las siguientes proporciones: en Gambia y Nigeria, un 6% y 2%, respectivamente, en Ghana un 24% y 14% respectivamente, en Côte d'Ivoire un 31% y 23% y en Benin un 30% y un 40%, respectivamente.

América Latina

En Colombia hay funcionando unos 450 molinos. Incluso los más pequeños, con capacidad para 0,5 t/h, trabajan en varias etapas. Generalmente se componen de prelimpia, descascarilladora de rodillos de goma y de disco (cuando hay de los dos tipos el último se dedica al palay de retorno), separadora neumática de cáscara (que aparta independientemente el salvado de descascarilladora y la cascarilla), separadora de palay, blanqueadoras de cono, clasificadoras y, en muchos casos, pulidoras de cuero. En Bolivia los molinos son del viejo modelo europeo y por lo general tienen descascarilladoras de rodillos de goma. En el Brasil y el Perú también están basados en el modelo europeo. La capacidad media se calcula entre 1 y 3 t/h. En el Ecuador, hay aproximadamente 2.000 molinos con capacidad inferior a 5 t/h. En algunos casos, pueden ser muy pequeños, y el mayor del país, de reciente construcción, tiene capacidad para 20 t/h.

Bangladesh

Los molinos grandes de Bangladesh transforman sólo entre el 2% y el 6% del arroz que se produce, y están situados en zonas urbanas o en su proximidad. En las zonas rurales hay dos tipos de tecnología: la manual y la basada en máquinas "huller". Con estas últimas se elabora aproximadamente un 20% de la producción de arroz. Hay unos 7.600 molinos "huller", cuya capacidad varía entre 500 kg/h y 1.300 kg/h. Los molinos comerciales de mayor tamaño tienen instaladas baterías hasta de cinco máquinas [49].

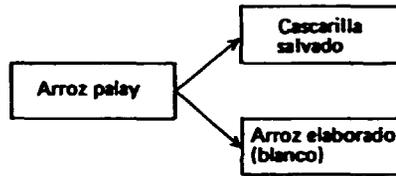
Filipinas

Una pequeña proporción (entre el 3% y el 5%) de la cosecha de Filipinas se elabora a mano. La mayor parte (entre un 40% y un 55%) se transforma en molinos "huller"¹⁸ con capacidad para 500 kg/h aproximadamente. A nivel comercial, es muy popular el molino de cono. Consiste generalmente en una descascarilladora de disco y dos conos de blanqueo. El arroz no descascarado debe separarse y retornarse a la descascarilladora. Su capacidad varía entre 0,5 y 4 t/h. En algunas instalaciones modernas, el molino tienen descascarilladoras de rodillos de goma, con blanqueadoras para la alimentación de retorno, de abrasión y fricción, con discos o rodillos horizontales. Con el equipo disponible son variados los sistemas alternativos de molienda (véase la figura 32).

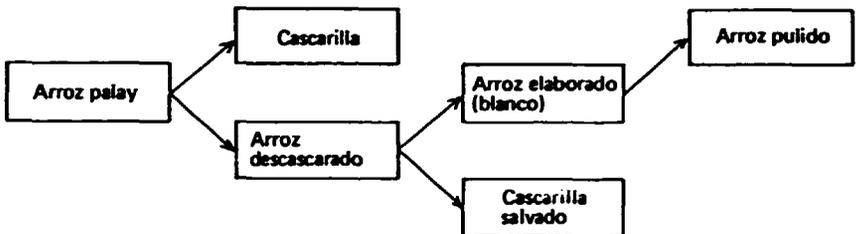
¹⁸Según Duff y Estioko [53], que utilizan datos correspondientes a 1968, el tipo kiskisan, con 6.991 molinos, representa el 80,2% del número total de instalaciones y el 53,4% de la capacidad industrial, en tanto que las cifras correspondientes para el tipo cono, representado por 1.728 molinos, son el 19,8% y el 46,6%, respectivamente.

Figura 32. Algunos sistemas alternativos de elaboración del arroz y su influencia sobre el tipo de salvado producido

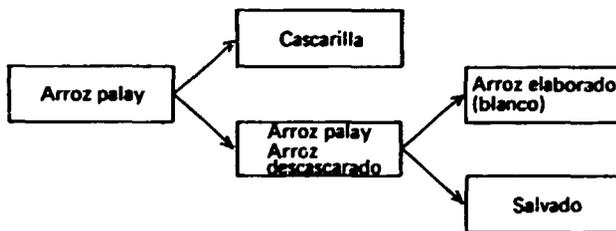
A. *Kiskisan sin pulidora*



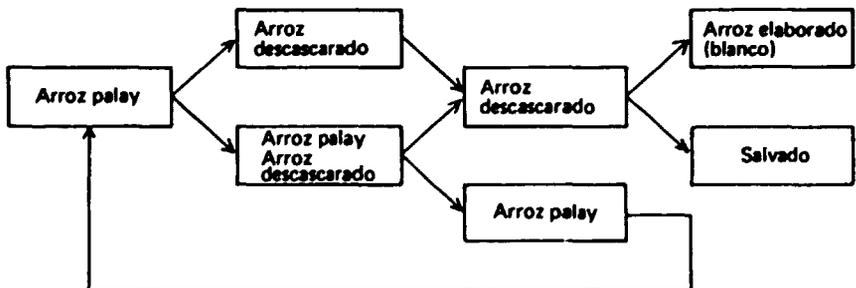
B. *Descascarilladora de rodillos y kiskisan con pulidora*



C. *Molino de cono con descascarilladora de discos de pequeña capacidad*



D. *Molino de cono con descascarilladora de discos de gran capacidad*



Fuente: Duff y Estioko [53].

Indonesia

La molinería de Indonesia ha cambiado mucho en los últimos años. Se calcula que, en un decenio, el pilado a mano que representaba un 80% de la producción ha descendido a un 20%¹⁹. Los 700 molinos grandes y los 7.000 pequeños que en 1968 producían hasta 7,5 t y 2,5 t al día respectivamente, habían aumentado en número en 1974 hasta situarse en 1.144 y 28.000 respectivamente²⁰. Todavía se utilizan en Indonesia molinos construidos entre 1900 y 1925²¹. Se están introduciendo pequeños molinos japoneses, para cooperativas rurales, de dos niveles diferentes de complejidad: a) descascarilladoras de rodillos y blanqueadoras horizontales de una etapa, y b) descascarilladoras de rodillos, separadoras de palay y blanqueadoras para dos etapas.

Japón

El procedimiento que se sigue en el Japón es inusual porque el arroz se elabora en dos etapas por separado. El arroz palay se descascarilla y se almacena descascarado para ser blanqueado solamente poco antes del consumo. El descascarado se realiza en molinos de rodillos, o molinos de cooperativas, y el salvado se blanquea en pequeñas blanqueadoras de tipo familiar y en molinos de los cuales hay unos 500 con capacidad entre 3 y 30 t/h y unos 20.000 con capacidad de 0,5 t/h. La maquinaria es muy compleja.

Malasia

Hay en Malasia cuatro tipos de molino: "hullers" de una etapa y molinos japoneses de rodillos (con separadoras de cascarilla, separadoras de palay y blanqueadoras) [48, 51], ambos con capacidad de 0,5 t/h, y molinos tradicionales, un tipo de los cuales tiene capacidad de 2 t/h aproximadamente y otro (normalmente equipado con limpiadora, descascarilladora, separadoras, blanqueadoras y clasificadoras), con capacidad de 4 a 8 t/h. Según datos correspondientes a 1969, se distribuían como sigue: 45%, 37%, 6% y 12%, respectivamente, del total de unidades. Así pues, una parte muy considerable de la cosecha se elabora con "hullers" primitivos. Muchos de los molinos japoneses pequeños han sido reemplazados por blanqueadoras de conos con frenos de caucho, en tanto que los molinos comerciales han sustituido las descascarilladoras de piedra por otras de rodillos de goma.

Pakistán

Se calcula que en el Pakistán hay entre 1.200 y 1.400 molinos, que son de dos tipos: "hullers" con dos, tres o cuatro unidades y capacidad de 0,25, 0,35 y

¹⁹Theo Zin y otros [50] estiman la proporción de arroz descascarillado a mano en un 10%, en 1974.

²⁰Datos procedentes de otras fuentes [48] estiman que había en 1974 unas 20.000 unidades tipo kiskisan, entre 6.000 y 7.000 descascarilladoras japonesas combinadas con kiskisan como blanqueadoras y unos 1.000 molinos tradicionales de gran capacidad. Otra fuente [50] indica que en aquel mismo año había en Java 624 molinos grandes y 6.640 "hullers", que representaban tan solo el 60,8% de la producción total de arroz, quedando el resto para un número indeterminado de pequeños molinos.

²¹Los molinos viejos utilizan la cascarilla para generar vapor.

0,5 t/h respectivamente, y molinos con descascaradora, equipados con dos o tres blanqueadoras, cuya capacidad es de 0,75 y 1 t/h, respectivamente. Recientemente se han instalado unas diez plantas automáticas con capacidad de 5 a 15 t/h [52].

República de Corea

Hay más de 20.000 molinos en la República de Corea, pero en su mayoría están equipados tan solo para suministrar arroz a una aldea. En 1971 estaban registrados 784 molinos relativamente grandes, un 55% de los cuales tenía capacidad superior a 7.000 toneladas al año [54]. Generalmente, el descascarillado se realiza en descascarilladoras de rodillos de goma y el blanqueo con conos o con blanqueadoras de fricción a chorro. Por término medio, la capacidad de los molinos es de 120 kg/h.

Sri Lanka

Los molinos propiedad del Gobierno, que en Sri Lanka elaboran una tercera parte o menos de la cosecha, tienen todo tipo de instalaciones, que van desde máquinas japonesas y europeas modernas a máquinas "huller". Los molinos cuota, que convierten la mayor parte de la cosecha, suelen ser de doble etapa, con descascarilladora de rodillos de goma y blanqueadora de cono vertical o de tipo "huller". Las prelimpias y las deschinadoras son poco frecuentes. Más del 50% del arroz transformado en molinos privados se elabora en una sola etapa con máquinas "huller".

Tailandia

Aparte de la elaboración manual, que todavía se practica, hay en Tailandia molinos "huller", molinos de discos abrasivos²² y "minimolinos" que se utilizan a nivel rural, en tanto que en el plano comercial se utilizan molinos modernos o modernizados. Estos últimos suelen tener descascaradoras de disco y conos de blanqueo en dos etapas, accionados por energía eléctrica obtenida con vapor por combustión de la cascarilla. Incluyen prelimpia y tamices para clasificar. En algunos casos, cuentan con descascarilladoras de rodillos de goma como descascarillas de retorno y en otros la descascarilladora de rodillos ha reemplazado a la clásica de discos. La pulidora de cuero también es frecuente. Se calcula que en 1976 había unos 800 molinos con capacidad que iba de 2 a 8,3 t/h de palay, unos 4.000 con capacidad de 0,4 a 1,25 t/h y unos 20.000 de capacidad menor.

Referencias

1. T. Chang y E. A. Bardenas, *The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant*, Technical Bulletin No. 4 (Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, 1965).

²²Éstos trabajan según principio similar al del "huller". El rotor tiene un recubrimiento abrasivo y dos frenos de goma que sobresalen del cárter.

2. J. K. Santos, "Morphology of the flower and mature grain of Philippine rice", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, No. 4 (1933), pp. 475-503.
3. D. F. Houston, "Rice hulls", *Rice: Chemistry and Technology*. D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).
4. T. Srinivas y H. S. R. Desikachar, "Factors affecting the puffing quality of paddy", *Journal of Science and Agriculture*, No. 24, 1975, pp. 883-891.
5. K. Esau, *Anatomy of Seed Plants* (Nueva York, John Wiley, 1960).
6. B. D. Webb, "Rice quality and grades", *Rice: Production and Utilization*. B. S. Luh, ed. (Nueva York, Avi Publishing, 1980).
7. R. K. Bhattacharya, Rice Technology Course, Kharagpur, West Bengal, Rice Processing Engineering Centre, 1974.
8. B. O. Juliano, "The rice caryopsis and its composition", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).
9. "The World of millers and middlemen", *The Investor*, febrero 1976, pp. 15-20.
10. A. Angladette, *Le riz* (Paris, G. P. Maisonneuve de Larose, 1966).
11. K. Esau, *Plant Anatomy* (Nueva York, John Wiley, 1965).
12. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis: the caryopsis coat and the aleurone cells", *American Journal of Botany*, vol. 64, No. 8 (1977), pp. 966-973.
13. R. R. Little y E. H. Dawson, "Histology and Histochemistry of raw and cooked rice kernels", *Food Research*, vol. 25, No. 5 (1960), pp. 611-622.
14. S. Barber, L. Navarro y A. Tortosa, "Estudio histológico del germen de arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, No. 2 (1972), pp. 232-255.
15. J. Cho, "Double fertilization in *Oryza sativa* L. and development of the endosperm with special reference to the aleurone layer", *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences*, Serie D, No. G, 1956.
16. A. R. del Rosario y otros, "Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 45, No. 3 (1968), pp. 225-235.
17. H. B. S. Desikachar y otros, "Effect of differential maturity of paddy grains in a panicle on their milling quality", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, No. 24, 1973, pp. 893-896.
18. K. Tanaka y otros, "Subcellular particles isolated from aleurone of rice seeds", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, No. 155, 1973, pp. 136-143.
19. K. Tanaka, M. Ogawa y Z. Kasai, "The rice scutellum: studies by scanning electron microscope X-ray analysis", *Cereal Chemistry*, vol. 53, No. 5 (1976), pp. 643-649.
20. M. Ogawa, K. Tanaka y Z. Kasai, "Isolation of high phytin containing particles from rice grains using an aqueous polymer two-phase system", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), vol. 39, No. 3 (1975), pp. 695-700.
21. K. Yocochi, "Rice-bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and uses of the oil and deoiled bran", *Proceedings of International Conference of Rice by-Products Utilization, Valencia, Spain, 1974* (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. III, pp. i-38.
22. K. Hoshikawa, "Studies on the development of endosperm in rice: size and shape and number of endosperm cells in foreign rice varieties", *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, No. 37, 1968, p. 87.

23. K. Nagato y Y. Kono, "On the grain texture of rice: relations among hardness distribution, grain shape and structure of endosperm tissue of rice kernel", *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, No. 32, 1963, p. 181.
24. H. Mitsuda y otros, "Studies on the proteinaceous subcellular particles in rice endosperm: electron-microscopy and isolation", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), No. 31, 1967, p. 293.
25. H. Mitsuda y otros, "Fine structure of protein bodies isolated from rice endosperm", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, No. 130, 1969, pp. 678-680.
26. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis: the starchy endosperm", *American Journal of Botany*, vol. 65, No. 6 (1978), pp. 684-691.
27. W. T. Yamazaki y J. P. Wilson, "Separation of starches into fractions of uniform granule size", in *Methods of Carbohydrate Chemistry*, vol. IV, Starch, R. L. Whistler, ed. (London, Academic Press, 1964), pp. 20-24.
28. B. O. Juliano, A. A. Antonio y B. V. Esmara, "Effects of protein content on the distribution and properties of rice protein", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, No. 24, 1973, pp. 295-306.
29. B. O. Juliano, "Rice lipids", *Il riso*, vol. 26, No. 1 (1977), pp. 3-21.
30. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), cap. 9, pp. 215-263.
31. B. M. Kennedy, "Nutritional quality of rice endosperm", *Rice Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (Nueva York, Avi Publishing, 1980), cap. 11, pp. 439-469.
32. F. Gariboldi, *El Sancochado del arroz*, Cuadernos de Fomento Agropecuario No. 97 (Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1974).
33. E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds., *Rice: Postharvest Technology* (Ottawa, International Development Research Centre, 1976).
34. J. J. Spadaro, J. Matthews y J. I. Wadsworth, "Milling", *Rice Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (Nueva York, Avi Publishing, 1980), cap. 9, pp. 350-402.
35. L. Borasio y F. Gariboldi, *Glosario ilustrado de máquinas para la elaboración del arroz* (Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1957).
36. H. van Ruiten, "Milling: husk separation", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Center, 1976), pp. 230-240.
37. F. Gariboldi, *Rice Milling Equipment: Operation and Maintenance*, Bulletin No. 22 (Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1974).
38. H. van Ruiten, "Milling: precleaning", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Center, 1976), pp. 207-216.
39. Y. Koga, "Drying, husking and milling of rice in Japan: rice milling", *Farming Japan*, agosto 1969.
40. R. M. Saunders y otros, "1978 survey of rice postharvest losses during threshing, drying, parboiling, milling, and the potential for reducing such losses in developing countries", *Rice Postharvest Losses in Developing Countries* (Berkeley, California, United States Department of Agriculture, 1980).

41. J. Wimberly, "Milling: comparative performance", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Centre, 1976), pp. 273-277.
42. P. Pillaiyar y otros, "Low cost modernization of huller rice mills for the production of high quality bran and its stabilisation", Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 25 noviembre 1977.
43. V. S. Aggarwal, "Modernization of rice milling industry and edible rice bran oil process and prospects", Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 25 noviembre 1977.
44. India, Ministry of Agriculture and Irrigation, Department of Food, *Low-cost Modernization for Single Huller Rice Mills* (Nueva Delhi, 1976).
45. S. Barber y C. Benedito de Barber, "Basic and applied research needs for optimizing utilization of rice bran as food and feed", *Proceedings of International Conference of Rice By-Products Utilization, Valencia, Spain, 1974* (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. IV, pp. 1-99.
46. T. C. Mishra, P. K. Chattopadhyay y P. K. Chand, "Design, development and testing of pneumatic rice germ separators", *RPEC Reporter*, vol. 2, No. 1 (1976), pp. 54-55.
47. B. S. Vasan y otros, "Separation, processing and utilization of rice germ", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 16, No. 3 (mayo-junio 1979), pp. 116-118.
48. D. B. de Padua, *Postharvest Rice Technology in Indonesia, Malaysia, the Philippines, Thailand* (Ottawa, International Development Research Center, 1974).
49. Bangladesh, Ministry of Agriculture, *Report of the Task Force on Rice Processing and By-product Utilization in Bangladesh* (Dacca, 1978).
50. U. Thet Zin y otros, *Task Force for Rice Grading, Storage and Processing in Indonesia* (Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1974).
51. J. B. Shamsudin, *Quality of Rice Bran: Main Consideration in the Establishment of Bran Oil Extraction Plant* (Kuala Lumpur, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 1968).
52. S. A. Khan, "PCSIR's programme for utilization of by-products of the rice milling industry", *Pakistan Journal of Science*, vol. 31, Nos. 3-6 (1979), pp. 143-149.
53. B. Duff e I. Estioko, "Implementation: design criteria", *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua and M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Center, 1976), pp. 289-307.
54. T. Kwon y J. Jo, "An assessment of rice processing and storage in the Republic of Korea", *Rice Report 1975*, S. Barber, H. Mitsuda y H. S. R. Desikachar, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1975), pp. 80-87.

II. Principios fundamentales de la estabilización del salvado de arroz

Significado y fines de la estabilización

Estabilización y post-estabilización

“Estabilización”, en su más amplio significado, abarca todo el proceso desde el momento en que el salvado se produce en el molino, hasta que se consume como pienso o se utiliza como materia prima en un proceso posterior. Sin embargo, el uso generalizado de la palabra tiene un significado mucho más restringido, que es el que se utilizará aquí, para describir un método de tratamiento encaminado a limitar o evitar la alteración del salvado de arroz. Por lo general, el tratamiento se reduce a una etapa corta y definida posterior a la producción y no comprende el almacenamiento y el transporte. Debe señalarse que el concepto en sentido amplio, si bien es menos utilizado, es de hecho el más adecuado para el sector industrial, ya que un proceso de estabilización a largo plazo es necesario para garantizar la viabilidad del producto. Así pues para completar el ciclo debe introducirse el concepto adicional de post-estabilización. Desgraciadamente, es muy escasa la investigación que se ha hecho en tecnología de post-estabilización, lo cual ha impedido en gran medida el progreso. Puede afirmarse que el futuro aprovechamiento del potencial industrial del salvado de arroz depende hoy más de lo que se avance en la tecnología de la post-estabilización que de los progresos en tecnología de la estabilización.

La estabilización y la post-estabilización deben contemplarse no sólo como etapas previas a la extracción del aceite comestible. El salvado es una fuente de aceite, pero también fuente potencial de otros nutrientes y componentes con posibles aplicaciones industriales, que sólo pueden obtenerse si se realiza una estabilización correcta y total.

Coexistencia de componentes valiosos y componentes perjudiciales

Puede existir en el salvado la presencia simultánea de componentes perjudiciales, que han de ser controlados o destruidos, y de componentes valiosos que importa proteger y conservar. Los componentes perjudiciales son

enzimas, microorganismos, insectos, toxinas y retardadores del crecimiento, así como adulterantes e impurezas. Son componentes valiosos el aceite, las proteínas, las vitaminas y otros nutrientes.

Los enzimas (en particular, las lipasas), los microorganismos y los insectos son las causas principales de la alteración del salvado. El objeto de la estabilización es frenar la actividad de estos elementos, o preferiblemente destruirlos, para impedir la alteración del salvado. De nada sirve inactivar enzimas perjudiciales si se dejan activos microorganismos capaces de producirlos. El fin de la post-estabilización es mantener niveles mínimos de actividad e impedir la contaminación del exterior. Hay medios muy diversos de alcanzar estos objetivos; por ejemplo, el calor, la radiación y los compuestos químicos. Su viabilidad industrial, tanto desde el punto de vista técnico como económico, no es el único condicionante del éxito. La conservación de los componentes valiosos es también importante. Efectivamente, hay procesos que, cuando menos en principio, cumplen el cometido que se espera de ellos al atacar a los componentes perjudiciales, que pueden afectar también a los componentes valiosos, mermando así el valor del salvado como materia prima. De ahí que la estabilización deba considerarse como una fórmula de transacción, que reduce a un nivel seguro los componentes perjudiciales, con un aceptable grado de riesgo, al tiempo que conserva, en la medida de lo posible, la calidad y cantidad de los componentes valiosos del salvado.

Para comprender debidamente el proceso de estabilización y el alcance y significado de las soluciones propuestas hasta ahora, parece conveniente empezar por pasar revista a los principios fundamentales que determinan la estabilidad tanto de los componentes perjudiciales como de los valiosos. En primer lugar, se estudiará la destrucción de los microorganismos; seguidamente, la inactivación de los enzimas y los restantes componentes perjudiciales y, por último, los componentes valiosos.

Destrucción de microorganismos

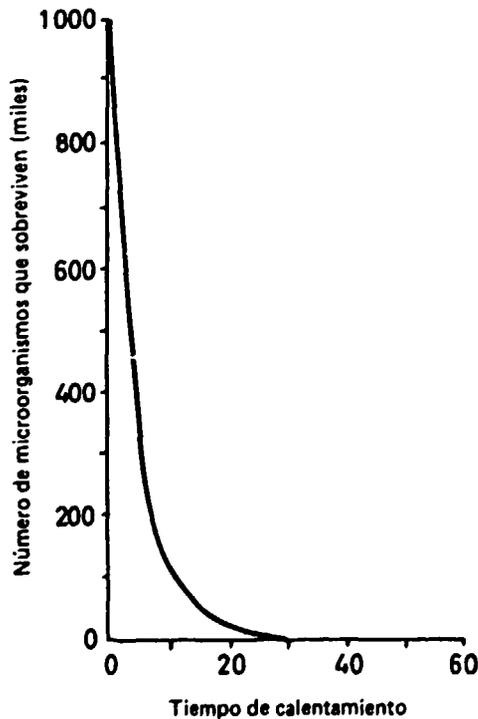
La palabra esterilización entraña la destrucción de todas las formas de vida. Otros términos menos absolutos son "pasteurización" y "desinfección". Se entiende por destrucción, o muerte, térmica de un microorganismo la desaparición de su capacidad para reproducirse en condiciones apropiadas, debido a los cambios de temperatura. Se hace particular referencia en la presente sección a las esporas de bacterias, por ser los sistemas microbianos más termorresistentes. Los agentes esterilizantes pueden clasificarse en físicos y químicos, sin que haya una clara distinción en la naturaleza de su acción, puesto que los físicos pueden inducir la formación de productos químicos, en tanto que los químicos pueden causar cambios físicos, con resultados letales en ambos casos. El agente más típico es el calor, que puede ser seco o húmedo. El vapor a presión esteriliza rápidamente los materiales penetrables y las superficies. El calor seco es más lento y exige temperaturas más elevadas. La destrucción térmica de células bacterianas y de esporas es exponencial.

Destrucción térmica

Curva de la relación entre destrucción térmica y tiempo

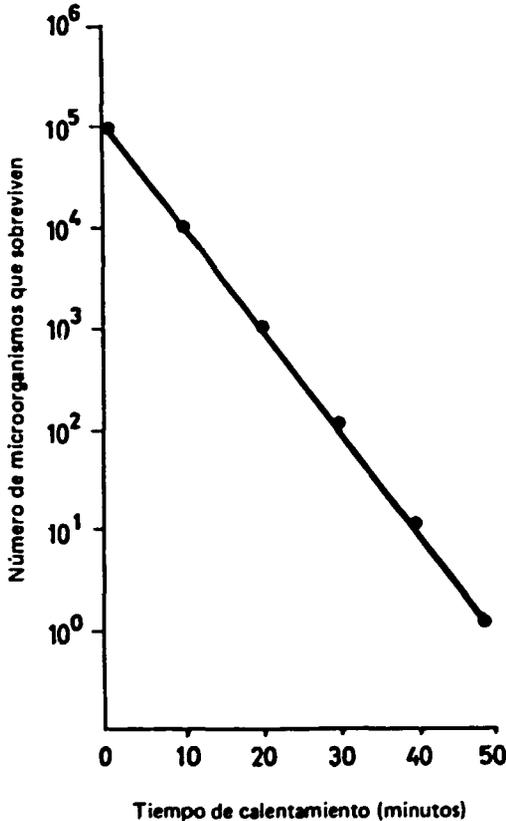
Para averiguar los efectos de un tratamiento térmico sobre la población microbiana, se tratan partes alicuotas de la muestra a una determinada temperatura durante periodos de tiempo diferentes y se determina el número de microorganismos residuales con capacidad para reproducirse, es decir, para formar colonias. La relación entre el número de microorganismos sobrevivientes y la duración del tratamiento a una determinada temperatura se ilustra por la curva de la figura 1. En la práctica, la población microbiológica inicial puede ser del orden de 10^6 a 10^7 microorganismos por gramo y la población final del orden de 10^1 a 10^3 microorganismos por gramo. Cambios de esta magnitud no se pueden representar bien en una escala aritmética, especialmente cuando el número de microorganismos residuales vivos se aproxima a 0. Este inconveniente puede superarse representando el número de microorganismos que sobreviven en escala logarítmica y la duración del tratamiento en una escala lineal, es decir, una curva semilogarítmica (véase la figura 2).

Figura 1. Representación, a escala lineal, de la variación del número de microorganismos que sobreviven después de tratamiento térmico



Fuente: Pflug y Holcomb [1].

Figura 2. Curva semilogarítmica que indica el número de microorganismos que sobreviven al tratamiento térmico en función del tiempo



Fuente: Pflug y Holcomb [1].

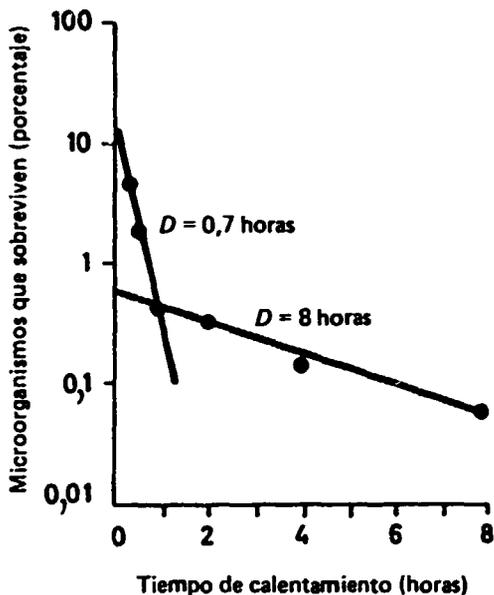
De esta manera, se obtienen una o dos líneas rectas por lo general (véanse las figuras 2 y 3)¹. La forma de la curva para una determinada cepa de microorganismos puede variar con la temperatura y con el sistema de ensayo que se utilice. Las muestras con microflora natural heterogénea dan generalmente una curva del tipo que aparece en la figura 3; suele haber una población numerosa de microorganismos poco termorresistentes y una población pequeña de gérmenes muy termorresistentes.

Modelo de destrucción térmica de Rahn

Suponiendo que la muerte térmica de los microorganismos se deba a la inactivación de una molécula crítica de la célula y que se trata por tanto de una

¹Las curvas pueden ser también parabólicas o sigmoidales.

Figura 3. Curva semilogarítmica de la supervivencia de microorganismos en una muestra con microflora natural heterogénea



Clave:

D : Tiempo necesario para que la población N quede reducida a $N/10$, o tiempo necesario para destruir el 90% de la población N .

Fuente: Pflug y Holcomb [1].

reacción de primer orden, el número de microorganismos N_t después de un tiempo t es de $N_t/dt = -kN_t$, en donde k es la velocidad (que se supone constante). Integrando se obtiene la siguiente expresión: $N_t = N_0 e^{-kt}$, en donde N es el número inicial de microorganismos. Si se representa por U el tiempo equivalente a la temperatura de tratamiento y se introduce una nueva constante D mediante la substitución $K = 1/D \log e$, tenemos $\log N_t = -(U/D) + \log N_0$. La curva semilogarítmica de N_t frente a U será una recta de pendiente $-1/D$. La constante D es el tiempo necesario para que la población N se reduzca a $N/10$, o para que la curva se desplace un ciclo logarítmico, es decir, el tiempo necesario para destruir el 90% de la población bacteriana existente en el momento en que se inicia el tratamiento. Aproximadamente una tercera parte de las curvas determinadas experimentalmente para cultivos homogéneos cumplen el modelo de Rahn.

Coeficiente de temperatura

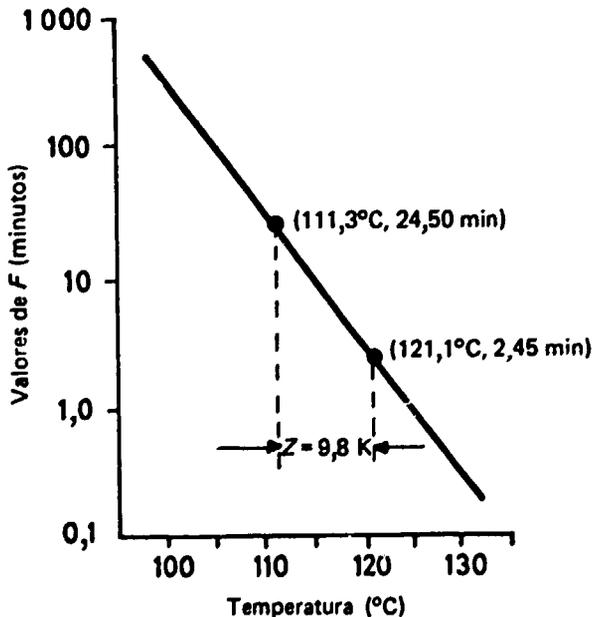
Normalmente se define el coeficiente de temperatura como el cambio en la velocidad de destrucción térmica que tiene lugar con un cambio de temperatura de 10 kelvins: $Q_{10} = k_{T+10}/k_T$, en donde T es la temperatura absoluta. La gama

de valores Q_{10} en procesos de destrucción térmica de bacterias varía del modo siguiente según Pflug y Holcomb [1]:

Calor seco	2,2 a 4,6
Calor húmedo	6,8 a 100

Si el logaritmo del tiempo necesario para destruir un determinado número de microorganismos se representa frente a la temperatura, se obtiene una línea recta, que representa el tiempo de destrucción térmica (TDT) función F_T (véase la figura 4), cuya ecuación es $\log F_T^Z = (1/Z)(T_B - T) + \log F_{T_B}^Z$ en donde T_B es la temperatura base y Z es el cambio de temperatura que produce un aumento o disminución de diez veces en F^2 . Su relación con el coeficiente de temperatura Q_{10} es la ecuación $Z = 10/\log Q_{10}$. Los valores F y Z definen el comportamiento de los microorganismos durante un tratamiento térmico dado. El TDT a una temperatura determinada se puede obtener gráficamente de la curva TDT o mediante cálculo a partir de la ecuación indicada (véase Costell y Durán [3]).

Figura 4. Gráfica del tiempo de destrucción térmica frente a la temperatura



Fuente: Townsend, Esty y Baselt [2].

²También es el número de grados necesario para cambiar el valor de D por un factor de 10. Si el $\log D$ se representa frente a la temperatura T , la recta que se obtiene se denomina "gráfica de resistencia térmica" [1].

Los valores de Z en procesos de destrucción térmica de esporas son los siguientes [1]:

Calor seco	15 a 30 K
Calor húmedo	5 a 12 K

Comparado con el aire caliente, sobre una base equimolecular, el vapor de agua saturado a 121°C proporciona, al menos, siete veces el calor disponible que proporciona el aire a esa misma temperatura. No obstante, el tiempo necesario para destruir el *Bacillus subtilis* var. *niger* a esa temperatura es cerca de 2.000 veces mayor en el caso de aire caliente que en el de vapor.

Factores que afectan a la destrucción térmica de microorganismos

En el mismo medio y en idénticas condiciones de tratamiento, diferentes formas (razas y cepas) de la misma especie pueden producir células o esporas de diferente termorresistencia. Las condiciones ambientales durante la formación de células y esporas también inducen diferencias. Las condiciones del medio durante el tratamiento son de la máxima importancia. Un pH de 6,0 a 8,0 indica normalmente una menor termorresistencia de los microorganismos. Las variaciones dentro de este intervalo no suelen ser muy grandes, pero en la zona de un pH 5,5 se produce un descenso brusco.

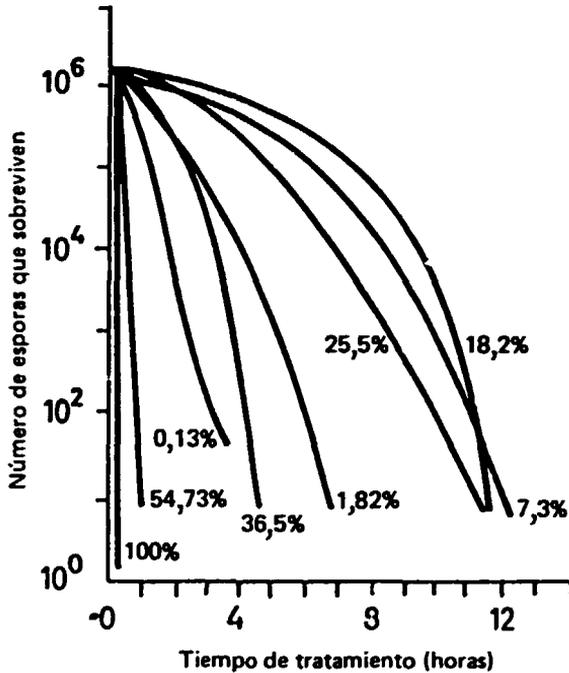
En materiales como el arroz y el salvado existen microorganismos que son fácilmente destruidos por el calor seco y otros, particularmente los provenientes del suelo, que son difíciles de destruir. La microflora normal del suelo es variable y heterogénea, y la curva de microorganismos que sobreviven al tratamiento térmico se aproxima al tipo de las dos rectas (véase la figura 3). Por tanto, el valor D no puede usarse porque es un parámetro de la gráfica de tipo lineal.

En investigaciones realizadas en sistemas modelo, empleando esporas de laboratorio, se ha observado que en el modo de acción del calor seco hay tres variables primarias —temperatura, contenido de agua y tiempo— y tres secundarias, a saber, sistemas abiertos o cerrados, propiedades físicas y químicas del microorganismo y atmósfera gaseosa. En el caso del calor seco, la temperatura es la variable más importante.

En el intervalo de temperatura de 90° a 125°C, las esporas de humedad intermedia (en equilibrio con una humedad relativa entre el 20% y el 50%) son más resistentes al calor (valor D más alto) que las de mayor o menor humedad (véase la figura 5); en tales condiciones, Z es aproximadamente 21 K, en tanto que es de 8 a 10 K cuando la humedad relativa es del 100% (calor húmedo) [1].

La destrucción de microorganismos con calor húmedo se caracteriza por una humedad relativa del 100%; en consecuencia, parte del agua está presente en estado líquido. En cambio, en el caso del calor seco no hay agua en estado líquido y el valor de la humedad relativa puede ser cualquiera menos del 100%. Como la tasa de destrucción de células microbianas secas es una función de su contenido de agua, el cual viene determinado a su vez por la humedad relativa ambiental, la tasa de destrucción variará con la humedad relativa, que en consecuencia deberá especificarse, junto con la temperatura del tratamiento, cuando se citen tasas de calor seco. En condiciones de equilibrio, la humedad

Figura 5. Efecto de la humedad relativa sobre la inactivación del *Bacillus subtilis* var. *niger* a 125°C



Fuente: Campbell [4].

relativa en el ambiente que rodea a la célula es teóricamente igual a la actividad del agua a_w dentro de la célula. Si se conoce la humedad relativa del tratamiento, es éste el valor que debe usarse y no el contenido de agua.

Así pues, es evidente la importancia de controlar el contenido de humedad durante el tratamiento térmico. En sistemas "cerrados" —es decir, cuando el material está en un envase hermético— los parámetros importantes son el contenido de humedad inicial y el volumen del envase o recipiente. En el caso de sistemas "abiertos", el material que ha de tratarse puede perder humedad sin límites, o captarla si está más seco que el ambiente.

Al estudiar la destrucción de microorganismos con calor seco, deberán conocerse y controlarse tanto la temperatura como el contenido de agua de las esporas durante el tiempo de tratamiento, ya que en otro caso los resultados no tendrán significación.

Destrucción de microorganismos por radiaciones ionizantes

Efectos de las radiaciones ionizantes

Actualmente, la radiación ionizante es un medio demasiado costoso de destruir microorganismos en alimentos. A ello hay que añadir otros obstáculos,

como son la sensibilidad de los productos a las radiaciones y la falta de pruebas toxicológicas adecuadas. No obstante, el método merece cuando menos una breve mención.

La radiación puede ser electromagnética o de partículas. Al primer grupo pertenecen las radiaciones ultravioleta, las radiaciones gamma (rayos γ) y los rayos X, en tanto que pertenecen al segundo los rayos α , los rayos β , los neutrones, los mesones, los positrones y los neutrinos, de los cuales los rayos β (electrones) son los de aplicación más general. Las radiaciones X y γ tienen un considerable poder de penetración, al igual que los electrones si se aceleran artificialmente.

Estas formas de radiación producen iones, radicales libres y moléculas excitadas en el producto que las absorbe. Ahora bien, debido a su naturaleza discreta y a su capacidad de penetrar materiales, los efectos de las radiaciones son puntuales y localizados. Los efectos secundarios, debidos a la acción de electrones con energía suficiente, amplían el ámbito de las zonas afectadas, pero siguen siendo localizadas. Estas reacciones son muy rápidas: la ionización primaria en el agua ocurre en 10^{-18} a 10^{-16} segundos, y la ionización secundaria, en 10^{-12} a 10^{-11} segundos; los productos moleculares aparecen en unos 10^{-7} segundos.

Los compuestos naturales sufren varios cambios químicos cuando se someten a radiación ionizante. Por ejemplo, el agua irradiada puede contener cantidades apreciables de los radicales libres H y OH, los cuales reaccionan para formar H_2 , H_2O y H_2O_2 y reaccionan con sustancias disueltas. En presencia de oxígeno se producen cantidades apreciables de radical hidróperóxido HO_2 . Este radical y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) pueden actuar como agentes oxidantes o reductores.

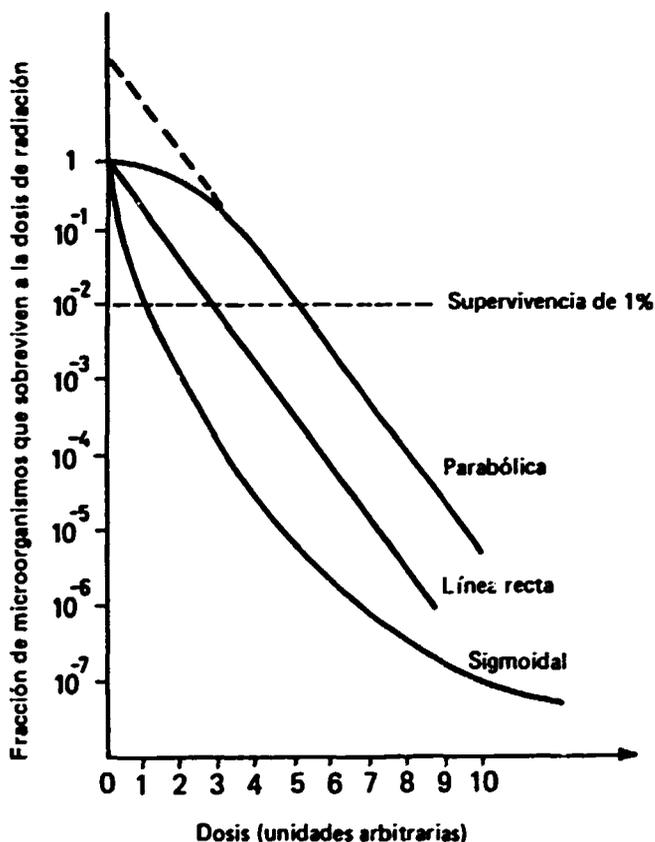
Curva de la relación entre la destrucción de microorganismos y la dosis de radiación

Las curvas que representan la variación del logaritmo de los microorganismos que sobreviven en función de las dosis de radiación pueden ser parabólicas, rectas o sigmoidales (véase la figura 6). La ecuación de una curva recta es $N/N_0 = e^{-d/d_0}$, en donde N/N_0 es la fracción de microorganismos que sobreviven a la dosis d , y d_0 es la dosis letal, es decir, la dosis que produce la muerte del 63% de los microorganismos. El término d_{10} , que es equivalente a la dosis necesaria para reducir la población microbiológica en un ciclo logarítmico, se utiliza para expresar la tasa de supervivencia. Se obtiene fácilmente cuando la curva de destrucción es recta, pero resulta más difícil su interpretación en otros tipos de gráfica. Para estos casos se han propuesto diversas ecuaciones [5].

Resistencia de los microorganismos a la radiación ionizante

La resistencia de los microorganismos a la radiación ionizante varía considerablemente. Las esporas de bacterias, con muy pocas excepciones, son las más resistentes, los *rods* gram-negativos son los más sensibles y las

Figura 6. Curvas de destrucción de microorganismos por radiaciones ionizantes



Fuente: Silverman y Sinsky (5).

levaduras y los mohos son de resistencia intermedia (véase el cuadro 1). En este sentido es importante señalar que una serie de circunstancias (tales como el estado fisiológico del microorganismo y la composición del medio) pueden introducir ciertas variaciones en la capacidad de resistencia. Aquellos productos en los que la microflora no está homogéneamente distribuida pueden necesitar una dosis adicional.

Se requieren dosis de radiación mucho más altas para inactivar enzimas y destruir la capacidad de reproducción de los microorganismos (véase el cuadro 1) y por consiguiente algunos productos exigen, para ser totalmente estables, un tratamiento térmico adicional.

El tratamiento con 4 a 5 megarads causa alteraciones de calidad en los alimentos.

CUADRO 1. RESISTENCIA DE DIVERSAS UNIDADES BIOLÓGICAS A LA RADIACIÓN IONIZANTE

Especies	d_{10} (megarads)	Medio
Cultivos de esporas anaeróbicas		
<i>Clostridium botulinum</i>		
Tipo A NCTC 7272	0,12	Agua
Tipo B 53	0,33	Tampón
<i>Clostridium welchii</i> (<i>perfringens</i>)		
Tipo A	0,12	Agua
Tipo F	0,20	Agua
<i>Bacillus subtilis</i>	0,06	Salino más gelatina (5%)
Bacterias vegetativas		
<i>Salmonella typhimurium</i>	0,02	Tampón de fosfato
<i>Pseudomonas</i> sp.	0,003-0,006	Tampón de fosfato
Levaduras		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,05	Salino más gelatina (0,5%)
Mohos		
<i>Aspergillus niger</i>	0,047	Salino más gelatina (0,5%)
<i>Penicillium notatum</i>	0,02	Salino más gelatina (0,5%)
<i>Requisitos del proceso para destrucción completa</i> (megarads)		
Inactivación de enzimas	2,0-10,0	
Desinfestación de insectos	0,1-0,5	
<i>Clostridium botulinum</i>	0,37	Pollo enlatado

Fuente: Silverman y Sinsky [5].

Nota: Los coleópteros son más sensibles a la irradiación gamma que los lepidópteros: 25.000 rads exterminan todas las fases de los coleópteros *Sitophilus oryzae* y *Tribolium confusum*, pero se necesitan más de 100.000 rads para esterilizar los lepidópteros *Sitotroga cerealella* [6].

Inactivación de enzimas

Principios fundamentales

Desnaturalización de la proteína enzimática y pérdida de actividad

Los enzimas son proteínas. Cuando una molécula proteica sufre una modificación de su estructura secundaria, terciaria o cuaternaria, excluyendo la rotura de enlaces covalentes, se dice que se ha desnaturalizado. La desnaturalización consiste en la rotura de enlaces de puente de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y puentes salinos, y en el desplegamiento de la proteína [7]. Una de las consecuencias principales de la desnaturalización es la pérdida, parcial o total, de la actividad enzimática.

La sensibilidad de una proteína a la desnaturalización viene determinada por la facilidad con la que los agentes desnaturalizantes afectan la integridad de la estructura tridimensional de la molécula. Como los enzimas difieren en su estructura, su sensibilidad a diferentes agentes y las modificaciones que experimentan deben ser distintas también. Es decir, un mismo tratamiento no afectará por igual a la lipasa y a la lipoxigenasa. Análogamente, la desnaturalización provocada en condiciones diferentes conduce también a modificaciones distintas.

Inactivación reversible e inactivación irreversible

La desnaturalización de la proteína enzimática puede ser irreversible, si las condiciones de tratamiento son suficientemente severas, o reversible, si son suficientemente suaves. En este último caso, se puede definir una constante de equilibrio K para la reacción E (enzima) \rightleftharpoons E_d (enzima desnaturalizado), que vendría dada por la ecuación $K = [E]/[E_d]$. El cambio de energía libre ΔF vendría dado por la expresión $\Delta F^\circ = -2,3RT \log K$, en donde ΔF° es la diferencia en energía libre entre un sistema con todos los reactivos en concentración equimolecular, R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta una vez que se ha alcanzado el equilibrio. Si $K > 1$, ΔF° es negativo y la desnaturalización se aproxima al equilibrio. Si $K < 1$, ΔF° es positivo y la desnaturalización se aleja del estado de equilibrio [8].

Energía de activación

Para que una reacción química o biológica tenga lugar, hace falta aportarle energía de activación en cantidad definida, E_a , para activar las moléculas como se expresa en la ecuación de Arrhenius $k = A \exp(-E_a/RT)$, en donde k es la velocidad de la reacción y A (llamado "factor de frecuencia") así como E_a (llamado "energía de activación") son constantes empíricas. Convirtiendo a forma logarítmica e integrando entre los límites T_1 y T_2 , se obtiene la siguiente expresión:

$$\log(k_2/k_1) = \frac{E_a}{2,3 R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1}$$

La energía de activación se determina representando el $\log k$ frente a $1/T$, siendo la pendiente de la curva igual a $-0,052 E_a$ (joules). La energía de activación para la desnaturalización de proteínas es mucho más alta que para otras reacciones químicas.

Agentes desnaturalizantes (o inactivadores)

Las proteínas enzimáticas pueden desnaturalizarse por la acción de agentes físicos y químicos. El principal agente físico desnaturalizador es el calor y otros son la radiación ionizante, la radiación ultravioleta, la presión y la tensión interfacial.

Inactivación de enzimas por calor

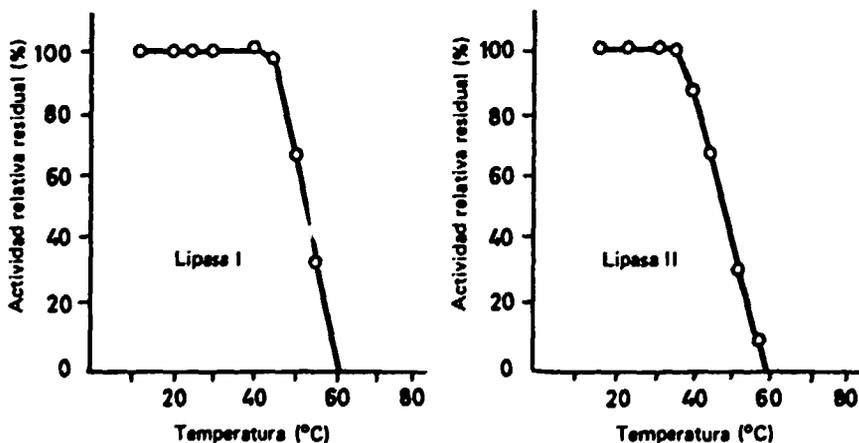
Estabilidad térmica de los enzimas

Aizono y otros [9, 10] han estudiado la variación de la estabilidad de lipasas I y II, cuando están aisladas del salvado de arroz y sometidas a calentamiento (véase la figura 7). El enzima se incubó a diversas temperaturas a pH 6,5 durante 15 minutos en presencia de CaCl_2 . En el caso de la lipasa I, la actividad residual se determinó empleando tributirina bajo corriente de N_2 , a pH 7,5 y 35°C. En el caso de la lipasa II, la actividad se determinó de manera análoga, pero a 20°C. La lipasa I se mostró estable por debajo de 40°C y la lipasa II por debajo de 30°C (véase la figura 7). La lipasa I perdió la actividad al tratarla a 60°C durante 15 minutos y la lipasa II a 57°C durante el mismo periodo de tiempo. Debe observarse que la estabilidad térmica de los enzimas puros es diferente de la que se encuentra *in situ* en el salvado, en donde están protegidos por otros constituyentes. Al mismo tiempo, los enzimas en solución no presentan la misma estabilidad que en forma deshidratada o con humedad intermedia (véase *infra*).

Curva de inactivación térmica

La velocidad de desnaturalización de la proteína depende en gran medida de la temperatura. Mientras que la mayoría de las reacciones químicas doblan su velocidad de reacción por cada 10 K de aumento de temperatura, la velocidad de desnaturalización proteica puede aumentar 600 veces en el mismo intervalo.

Figura 7. Efectos del calor sobre la estabilidad de las lipasas del salvado de arroz

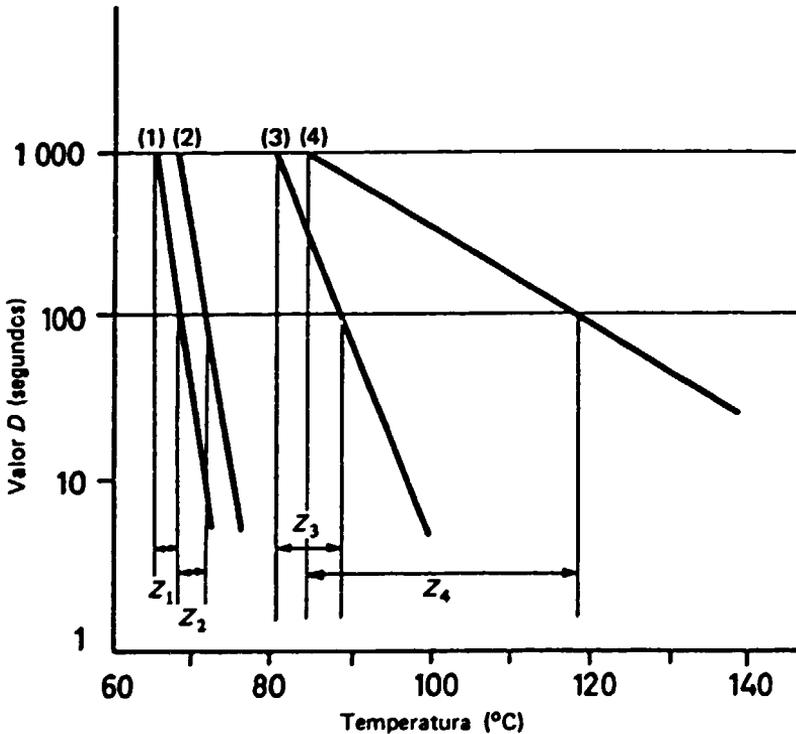


Fuente: Aizono y otros [9, 10].

La dependencia de la temperatura (por encima de un cierto valor crítico) es resultado de dos efectos opuestos: primero, el aumento de la velocidad de la reacción enzimática y en segundo término, el aumento de la velocidad de la desnaturalización de la proteína enzimática. La velocidad de desnaturalización aumenta mucho más rápidamente que la de la reacción que el enzima cataliza. En general, los enzimas empiezan a sufrir desnaturalización térmica por encima de los 45°C.

La misma ecuación que se ha utilizado para determinar la variación de la velocidad de destrucción térmica de los microorganismos sometidos a calor puede utilizarse también en este caso. La figura 8 demuestra esta relación entre la inactivación térmica y la temperatura para los enzimas de la patata. El valor de Z (es decir, el incremento de temperatura necesario para reducir el valor D

Figura 8. Curva semilogarítmica que muestra la relación entre la inactivación térmica de varios enzimas y la temperatura



Clave:

- 1) Acil hidrolasa lipolítica: $Z_1 = 3.1 \text{ K}$
- 2) Lipoxigenasa: $Z_2 = 3.6 \text{ K}$
- 3) Polifenoloxidasa: $Z_3 = 7.8 \text{ K}$
- 4) Peroxidasa: $Z_4 = 35 \text{ K}$

Valor D = Duración del tratamiento necesario para reducir la actividad enzimática a un 10% de su valor original

Z = Aumento de temperatura necesario para reducir D a 10% de su valor original

Fuente: Svensson [11].

al 10% del original) para cada enzima puede determinarse partiendo de las curvas. Se puede observar que los enzimas más termorresistentes tienen valores Z más altos, es decir, la pendiente de la línea recta es menor. Esto significa que, en general, los enzimas más termorresistentes dependen menos de la temperatura (su actividad varía menos) que los enzimas menos termorresistentes.

La energía de activación E , que puede determinarse a partir de Z , para la catálisis enzimática es del orden de 25 a 65 kJ/mol., mientras que para la desnaturalización enzimática varía entre 200 y 630 kJ/mol. Esto significa que a temperaturas más bajas el enzima será relativamente estable, pero a temperaturas más altas la desnaturalización tendrá lugar muy rápidamente, ya que un número relativamente grande de moléculas tendrá suficiente energía para alcanzar el estado desnaturalizado [12].

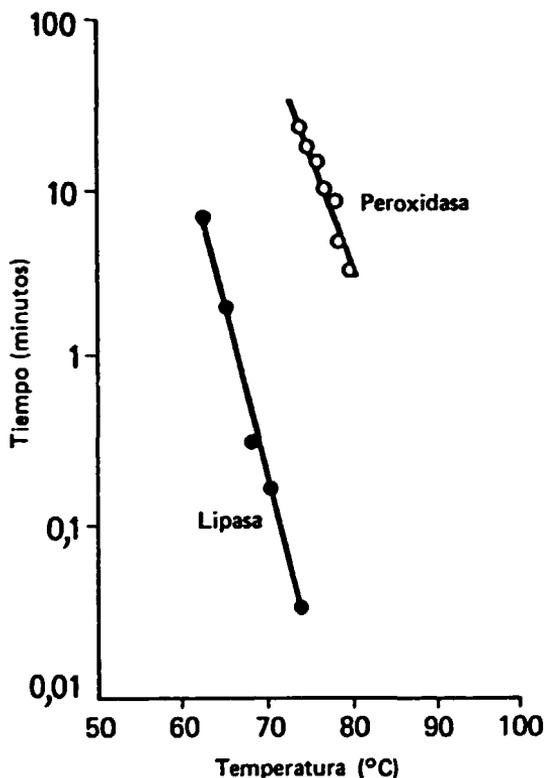
En sistemas enzimáticos heterogéneos, la curva de inactivación térmica puede no ser una recta, sino que puede adquirir otras formas, como ocurre con las curvas de destrucción térmica de microorganismos.

Indicadores de la efectividad de la inactivación térmica

La actividad enzimática residual es un indicador de la efectividad del tratamiento térmico. En sistemas que contienen varios enzimas de diferente estabilidad (como es el caso del salvado), es aconsejable seleccionar como indicador el más resistente de los enzimas presentes, o al menos de los enzimas que pueden desempeñar algún papel posterior indeseable si no quedan totalmente inactivados. La peroxidasa es uno de los enzimas presentes en alimentos vegetales que muestra mayor resistencia al calor. Por esta razón (y por disponer de métodos sencillos y precisos para su determinación), se utiliza en tecnología alimentaria como indicador de los efectos de los procesos térmicos. La inactivación de la peroxidasa supone la de cualquier otro enzima. Este criterio se aplica a muchos procesos de industrialización de alimentos, y no sólo vegetales. En la leche, por ejemplo, las condiciones necesarias para la destrucción de la peroxidasa aseguran también la destrucción de la lipasa (véase la figura 9). La peroxidasa se ha utilizado con éxito como indicador de la eficacia de la estabilización del salvado de arroz [13].

Es importante señalar, sin embargo, que la termorresistencia de las lipasas de diversas fuentes varía mucho y hay lipasas, producidas por microorganismos, extremadamente resistentes. Una de ellas es la producida por el microorganismo *Pseudomonas fluorescens*, que es mucho más termorresistente que la fracción termoestable de peroxidasa de patata (véase la figura 10) [11]. Debe tenerse en cuenta, al seleccionar un indicador fiable, la existencia posible de casos de esa naturaleza. A título de ejemplo, en la figura se incluye la gama de temperatura-tiempo que representan los valores de F entre 2,7 y 10. A temperaturas superiores a 120°C, el tiempo de esterilización es mucho menor que el requerido para el 90% de inactivación del enzima (curva D), lo que conduce a una insuficiente inactivación enzimática en procesos que entrañan una alta temperatura y un corto tiempo de tratamiento (procesos alto/corto). Una combinación de tratamientos a temperatura inferior durante periodos de tiempo más largos (para inactivar enzimas) y tratamientos alto/corto (para destruir microorganismos) puede ser aconsejable cuando están presentes enzimas muy termorresistentes ($Z \gg 10K$).

Figura 9. Relación entre tiempo y temperatura para la inactivación de la lipasa y la peroxidasa de la leche



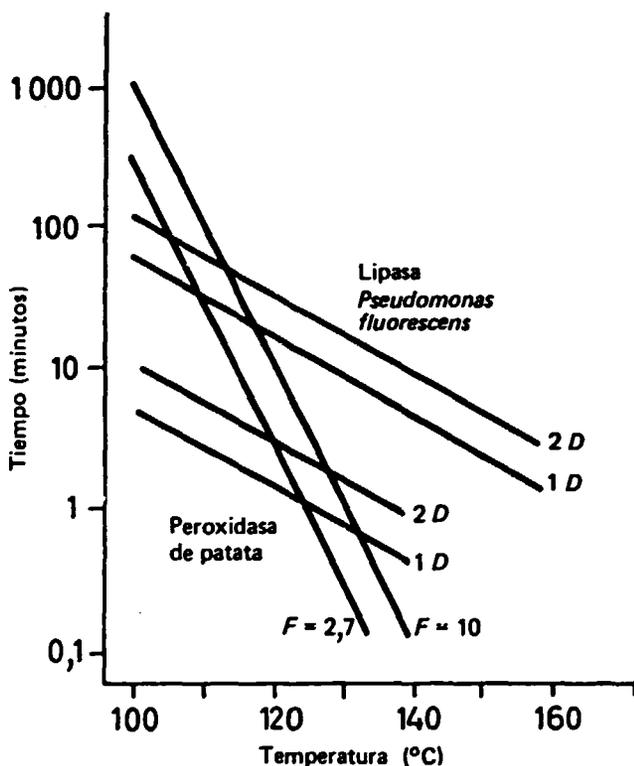
Fuente: Jenness y Patton [14].

Factores que influyen en la inactivación térmica

Contenido de humedad

La susceptibilidad de las proteínas a la desnaturalización térmica depende de varios factores: contenido de humedad, pH, concentración iónica y tipo de iones presentes. Es de suma importancia la influencia del agua. Por ejemplo, el germen de trigo se desnaturaliza aproximadamente en la misma medida a 60°C y 24% de humedad que a 70°C y 18% de humedad [5]. Los enzimas son también más estables al calor cuanto menor es la cantidad de agua. Se han publicado [13] datos pertinentes para la peroxidasa del salvado de arroz en el intervalo del 20% al 35% de humedad (véase la figura 11). Posteriormente se ha obtenido información respecto de tres temperaturas: 90°C, 100°C y 110°C en el intervalo del 6% al 18% de contenido de humedad para la peroxidasa y la lipasa del salvado de arroz (véanse las figuras 12 y 13).

Figura 10. Inactivación térmica de una lipasa microbiana (*Pseudomonas fluorescens*) y de la fracción termoestable de la peroxidasa de patata, en función de la temperatura



Fuente: Svensson [11].

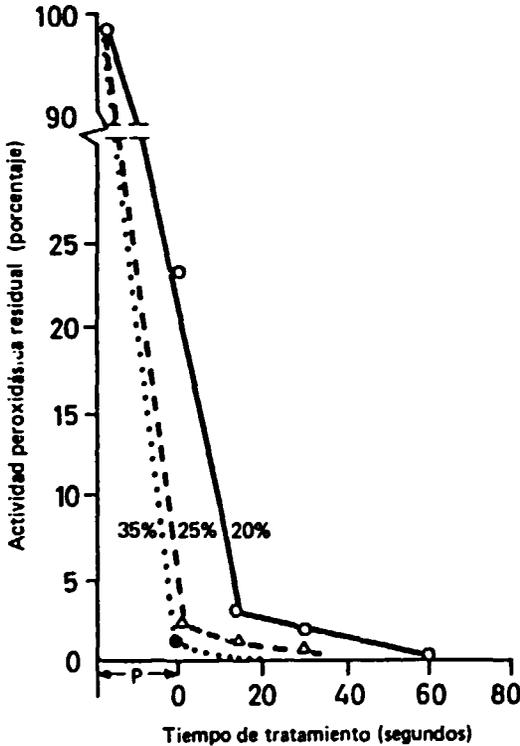
pH

La termoestabilidad de los enzimas depende también de la concentración de iones hidrógeno. Normalmente, la termorresistencia del enzima es mayor cuando los valores pH se aproximan a su punto isoeléctrico. La influencia del pH sobre la inactivación térmica de la peroxidasa del salvado de arroz a 121°C y 35% de humedad se muestra en la figura 14.

Actividad enzimática inicial

Como consecuencia de las leyes que rigen la inactivación térmica de los enzimas y de la conveniencia de anular toda actividad enzimática, la actividad enzimática inicial juega un papel importante en la estabilización. Determina, en parte, la actividad residual después del tratamiento, según se indica en la figura 15. La combinación de tiempo y temperatura necesarios para alcanzar un grado determinado de inactivación varía con el nivel de actividad enzimática inicial. Eso significa que la inactivación que puede ser adecuada para una partida de salvado tal vez sea inadecuada para otra.

Figura 11. Inactivación térmica de la peroxidasa del salvado de arroz: influencia del contenido de humedad del salvado



Fuente: Barber y otros [13].

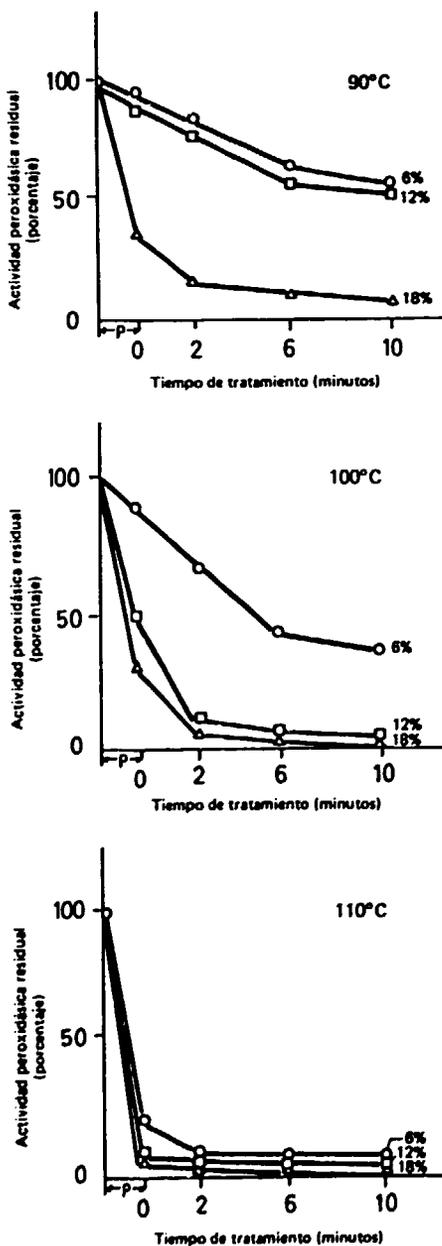
Nota: P representa el tiempo de precalentamiento necesario para alcanzar la temperatura requerida de 95°C. Los porcentajes en las curvas son el contenido de humedad del salvado sobre una base húmeda de peso.

Regeneración de la actividad enzimática

Algunos enzimas (peroxidasa, lipoxigenasa, tripsina) son capaces de recuperar su actividad catalítica después de haber sido inactivados por el calor. La regeneración tiene lugar durante el almacenamiento posterior al tratamiento de inactivación. La importancia de la reactivación depende de las condiciones del tratamiento térmico y de la temperatura de almacenamiento. La recuperación de actividad catalítica es proporcional a la velocidad de inactivación. Para porcentajes de inactivación iguales, los procesos que combinan temperatura alta y tiempo corto (tasas de inactivación elevadas) favorecen más la recuperación de la actividad enzimática que otros de temperatura más baja y tiempo más largo (tasas de inactivación inferiores) (véase la figura 16).

Hay varias formas de perder reversiblemente la actividad enzimática por tratamiento térmico y recuperarla luego por almacenamiento a temperaturas más bajas. Son las siguientes: a) modificación de las estructuras secundarias y

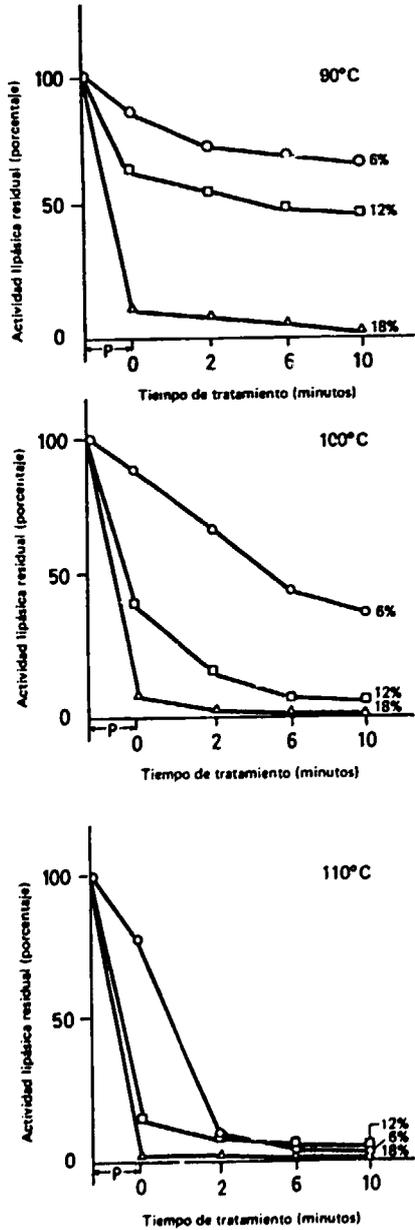
Figura 12. Influencia de las condiciones de estabilización (contenido de humedad, tiempo y temperatura) sobre la actividad peroxidásica del salvado de arroz



Fuente: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia (España), resultados inéditos de V. Cordero y otros.

Nota: P representa el tiempo de precalentamiento necesario para alcanzar la temperatura requerida de 95°C. Los porcentajes en las curvas son el contenido de humedad del salvado sobre una base húmeda de peso.

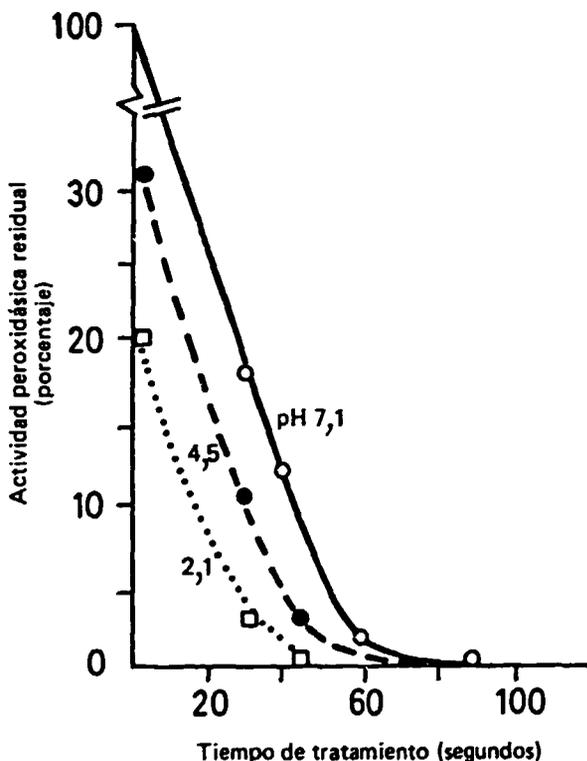
Figura 13. Influencia de las condiciones de estabilización (contenido de humedad, tiempo y temperatura) sobre la actividad lipásica del salvado de arroz



Fuente: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia (España), resultados inéditos de V. Cordero y otros.

Nota: P representa el tiempo de precalentamiento necesario para alcanzar la temperatura requerida de 95°C. Los porcentajes en las curvas son el contenido de humedad del salvado sobre una base húmeda de peso.

Figura 14. Inactivación térmica de la peroxidasa del salvado de arroz: influencia del pH



Fuente: Barber y otros [13].

Nota: Temperatura, 121°C; humedad, 35%, base húmeda.

terciarias de la proteína enzimática; b) disociación de las subunidades de la estructura cuaternaria, y c) disociación de los cofactores esenciales para la acción enzimática [12].

Influencia de la actividad del agua sobre la actividad enzimática

Ya se ha tratado en otra parte la dependencia de la actividad enzimática de la actividad del agua o de la humedad relativa. En general, la actividad enzimática es significativa sólo por encima de la región de adsorción monomolecular. En tales circunstancias aumenta la cantidad de agua libre que sirve de vehículo a los procesos enzimáticos. Ahora bien, ya se ha indicado también que si el sustrato es suficientemente móvil para asociarse con el enzima, la reacción puede ocurrir a niveles de actividad de agua más bajos que la región monomolecular. Tal es el caso de la lipólisis de los triglicéridos insaturados fluidos (aceites). En cualquier caso, valores muy bajos pueden reducir a prácticamente cero la actividad enzimática. Sin embargo, cuando la

Figura 15. Influencia de la actividad enzimática inicial sobre la eficacia del proceso de estabilización, a una humedad relativa del 12% y a una temperatura de 110°C

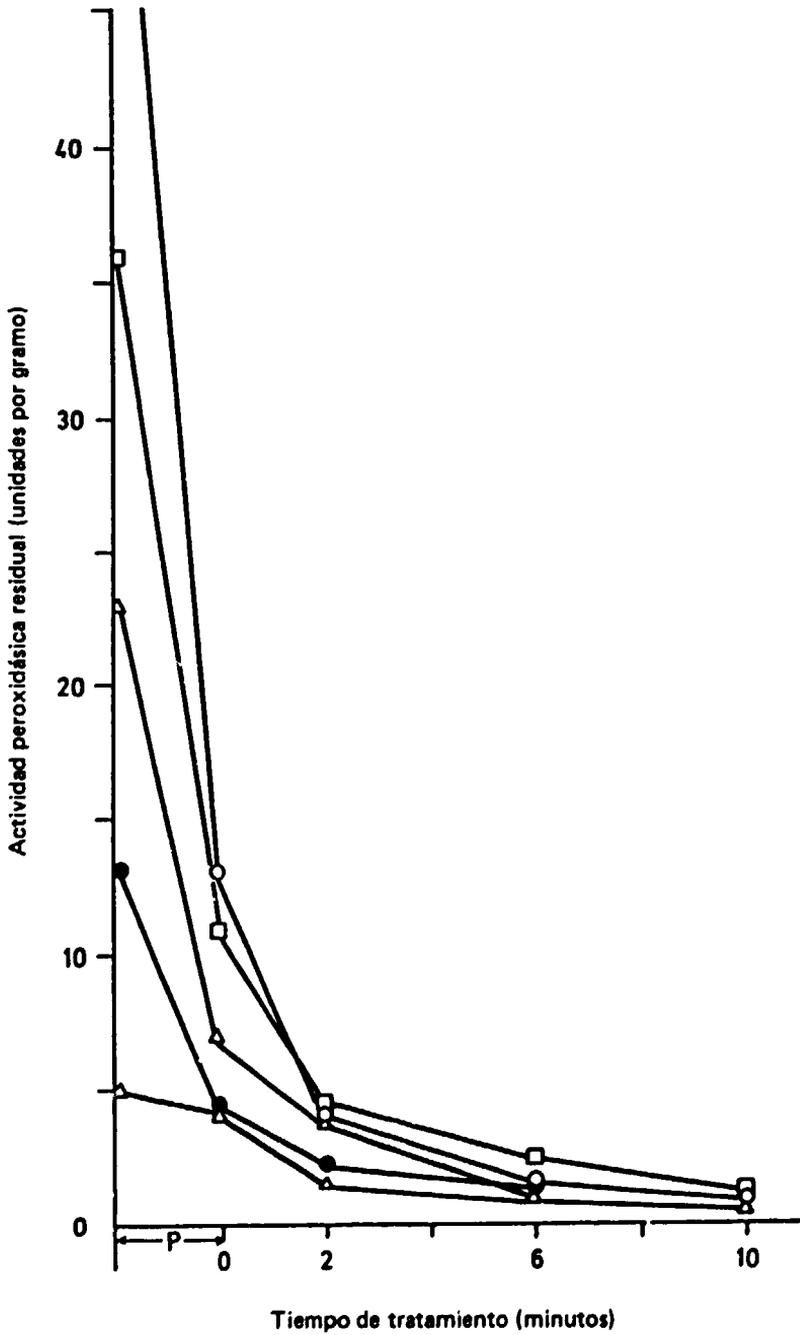
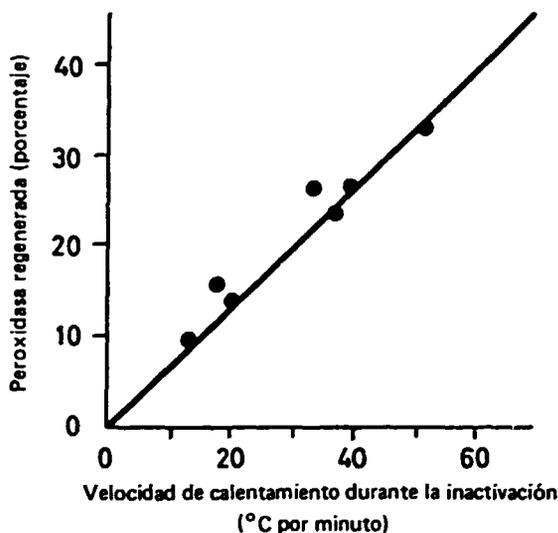


Figura 16. Regeneración de la peroxidasa del mabo en función de la velocidad de calentamiento en el tratamiento térmico



Fuente: Richardson [15].

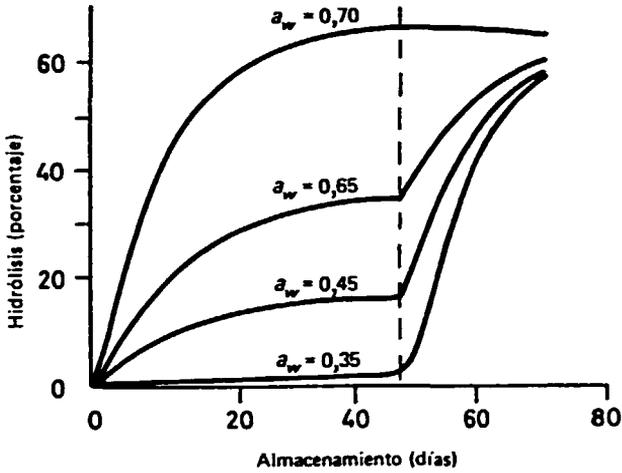
actividad del agua vuelve a aumentar, la actividad se recupera proporcionalmente (véase la figura 17). Debe observarse que los sustratos sólidos pueden ser atacados a niveles de actividad del agua muy bajos si están en íntimo contacto con el enzima [15].

Influencia del pH sobre la actividad y la estabilidad enzimáticas

El valor pH es una de las variables más importantes de los agentes desnaturizantes de tipo químico. Los enzimas suelen ser estables en el intervalo de pH relativamente estrecho dentro del cual presentan su pH óptimo (véase la figura 18). Valores extremos de pH reducen la actividad del enzima, pudiendo llegar a la inactivación reversible primero y a la irreversible después. En los grupos funcionales libres de los aminoácidos tienen lugar cambios de ionización importantes, que producen distorsiones de la estructura tridimensional de la molécula proteica. Si las modificaciones no son importantes, cabe la recuperación de la estructura original. En otro caso, puede llegarse a una desnaturización e inactivación irreversibles [7, 17, 18, 19].

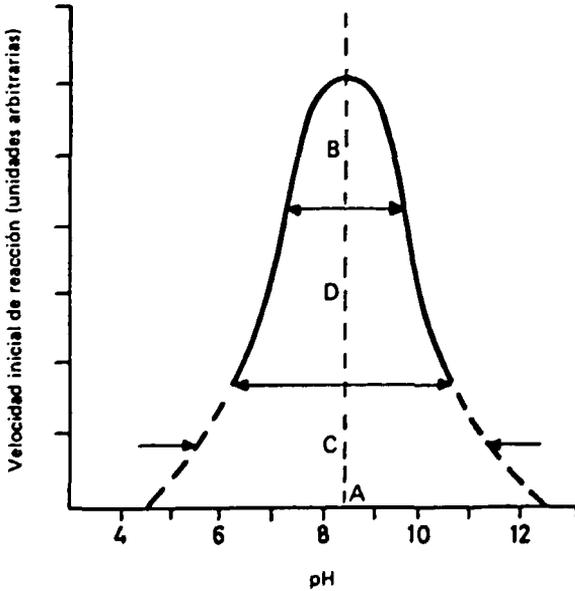
Aizono y otros [9, 10] han estudiado la estabilidad de las lipasas I y II del salvado de arroz en función del pH (véase la figura 19). En un caso el de la lipasa I, se incubó a 8°C durante 26 horas una solución de 66 mM de enzima en tampón de diferentes valores de pH, que luego se dializó frente a 0,5 mM CaCl₂ para eliminar las sales. Además, se ajustaron los valores de pH de las soluciones de enzima que contenían 0,3 mM CaCl₂, con 0,1 N NaOH ó 0,1 N HCl cada tres horas durante las 26 horas de incubación a 8°C bajo corriente de nitrógeno. Se determinó la actividad residual usando tributirina

Figura 17. Tasa de hidrólisis enzimática de la lecitina en una mezcla de malta de cebada triturada y 2% de lecitina almacenada a diferentes niveles de actividad del agua, a 30°C



Fuente: Acker y Kaiser [16]

Figura 18. Efecto del pH sobre la actividad enzimática



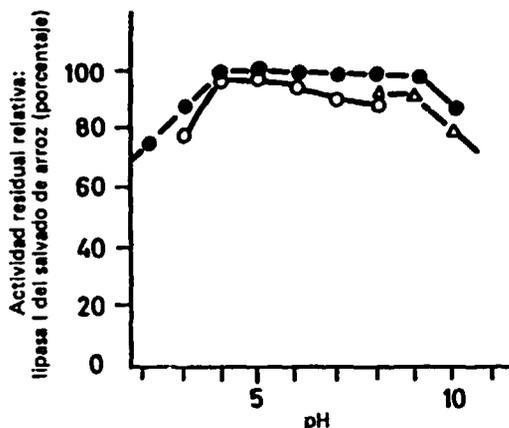
Clave:

- A pH óptimo
- B Área de estabilidad completa
- C Inactivación casi instantánea
- D Área de desnaturalización reversible

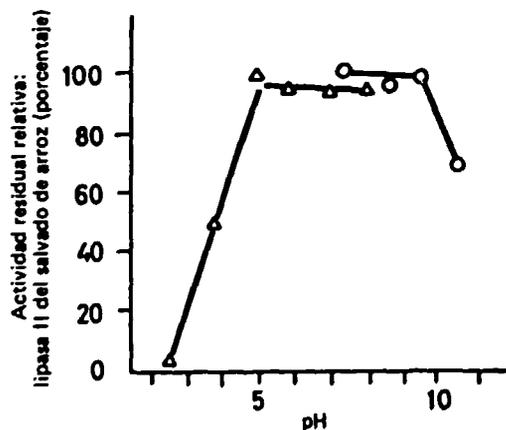
Fuente: Webb [20].

Figura 19. Influencia del pH sobre la estabilidad de la lipasa de salvado de arroz

A. Actividad residual relativa: lipasa I del salvado de arroz



B. Actividad residual relativa: lipasa II del salvado de arroz

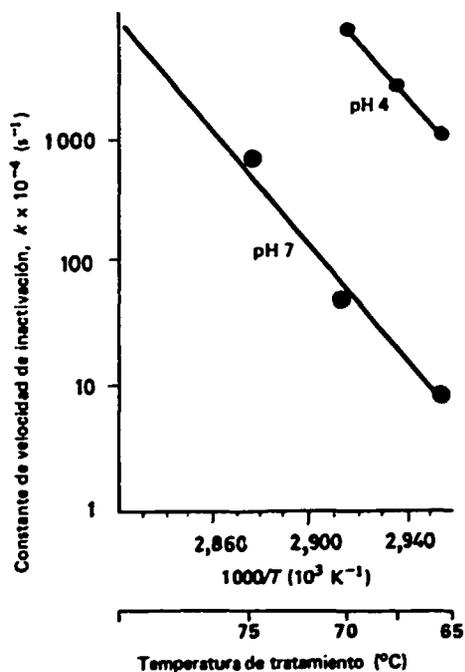


Fuente: Aizono y otros [9, 10].

como sustrato. En el otro caso —el de la lipasa II— se incubó una solución de 34 mM de enzima en tampones de diferente pH a 10°C durante 5,5 horas. Después de la incubación, se dializaron las soluciones de enzima frente a 0,5 mM CaCl_2 a pH 6,5. Se determinó la actividad residual a pH 7,5 y 25°C. Los resultados obtenidos en uno y otro caso indicaron que la lipasa I es estable en el intervalo de pH entre 4 y 9, y la lipasa II entre 5 y 9,5 (véase la figura 19).

Es común el caso de una combinación de agentes físicos (por ejemplo, el calor) y químicos (por ejemplo, el pH) (véase la figura 20).

Figura 28. Velocidad de inactivación de la lipotidasa de soja a pH 4 y pH 7



Fuente: Farkas y Goldblith [21].

Otros agentes de inactivación térmica

Los electrólitos y la fuerza iónica pueden actuar como agentes desnaturalizantes. Los iones de metales pesados (Ag^+ , Hg^{2+} , Pb^{2+}) suelen tener efectos venenosos para los enzimas. No obstante, un ion puede inactivar un enzima y activar otro, o activar un enzima a una concentración determinada y a otra inactivarlo. Así pues, las altas concentraciones de electrólitos (salmuera) inhiben la acción enzimática, en tanto que las bajas concentraciones de Ca^{2+} son indispensables para la actividad de la lipasa.

La presión y las fuerzas de cizalla tienen efectos individuales, pero no es práctico utilizarlas.

Los enzimas pueden inactivarse mediante radiaciones ionizantes. Los enzimas difieren mucho en su resistencia a la radiación, y la dosis necesaria para la inactivación *in situ* es un orden de magnitud mayor que la requerida para destruir los microorganismos (véase el cuadro 1). En general, la inactivación por radiaciones ionizantes depende de la concentración del enzima, de la actividad del agua, del pH y de la temperatura, entre otras cosas.

Los enzimas en estado seco son muy resistentes a la radiación. En presencia del agua la inactivación es mayor y entraña la radiólisis del agua, así como efectos perjudiciales de los radicales libres resultantes. Las temperaturas más altas favorecen la inactivación por irradiación. En cualquier caso, la irradiación presenta problemas económicos importantes, además de problemas técnicos.

Las proteínas tienen tendencia a absorberse en las interfases, lo que suele traducirse en desnaturalización. La alta tensión interfacial, ya sea en la interfase agua-aire ya en la agua-aceite parece forzar a que se despliegue la estructura terciaria o secundaria de la proteína, de forma que la molécula se extiende sobre la superficie. Incluso la lipasa, que según se cree está especialmente adaptada para tener actividad en la interfase agua-aceite, puede ser desnaturalizada por absorción en la interfase agua-triglicérido y agua-aire [22].

Control de otros componentes perjudiciales del salvado en la estabilización

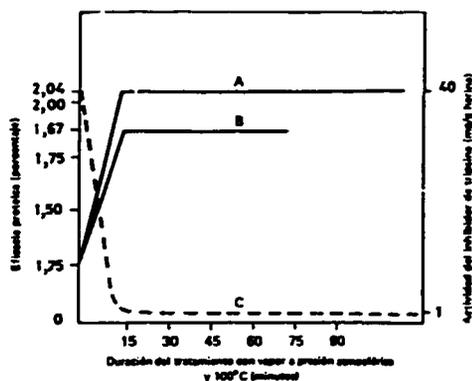
El proceso de estabilización puede dañar gravemente a los insectos y a algunas de las sustancias antinutritivas, por ejemplo, los inhibidores de tripsina. Los insectos no resisten las condiciones de tiempo y temperatura necesarias para la destrucción de microorganismos y la inactivación de enzimas. Teniendo en cuenta el alto riesgo de infestación del salvado, la destrucción de los insectos, en todas sus formas vegetativas, es un resultado muy positivo de la estabilización térmica. Más aún, los inhibidores de tripsina son termolábiles y si el tratamiento térmico es apropiado se logra generalmente un aumento del valor nutritivo de la proteína [23]. Esta cuestión ha sido objeto de un amplio estudio en relación con la soja. En la figura 21 se indican los resultados del tratamiento con vapor a presión atmosférica de harina de soja cruda del 5% y 15% de humedad. En 15 minutos de tratamiento se destruye más del 95% de inhibidor en ambas muestras y la mejora de valor nutritivo de la proteína es algo mayor en la muestra de humedad más alta. Un estudio de la relación entre la inactivación por el calor de los inhibidores de tripsina en el salvado de arroz, en función del tiempo de tratamiento, la temperatura y el contenido de humedad [24] ha demostrado que en menos de 5 minutos a 100°C se destruye más de un 95% de la actividad. La velocidad de inactivación es mayor cuanto más alta es la humedad del salvado (véase la figura 22). Se han obtenido resultados similares para la destrucción térmica de hemaglutininas [25].

Pérdidas de componentes valiosos del salvado durante la estabilización

Medios de estabilizar el salvado y estabilidad de los componentes

El calor es el medio de estabilización más comúnmente empleado y más prometedor. Se han ensayado también agentes químicos y radiaciones ionizantes. El salvado se ha sometido a las condiciones más diversas, buscando aquellas más eficaces para inactivar los enzimas, ya que éstos hacen que el

Figura 21. Efecto del tratamiento con vapor sobre la eficacia proteica y la actividad del inhibidor de tripsina de la harina de soja cruda



Clave:

- A Eficacia proteica de la muestra de 15% de humedad original
- B Eficacia proteica de la muestra de 5% de humedad original
- C Pérdida de actividad del inhibidor con el tiempo de tratamiento

Fuente: Rackis [26].

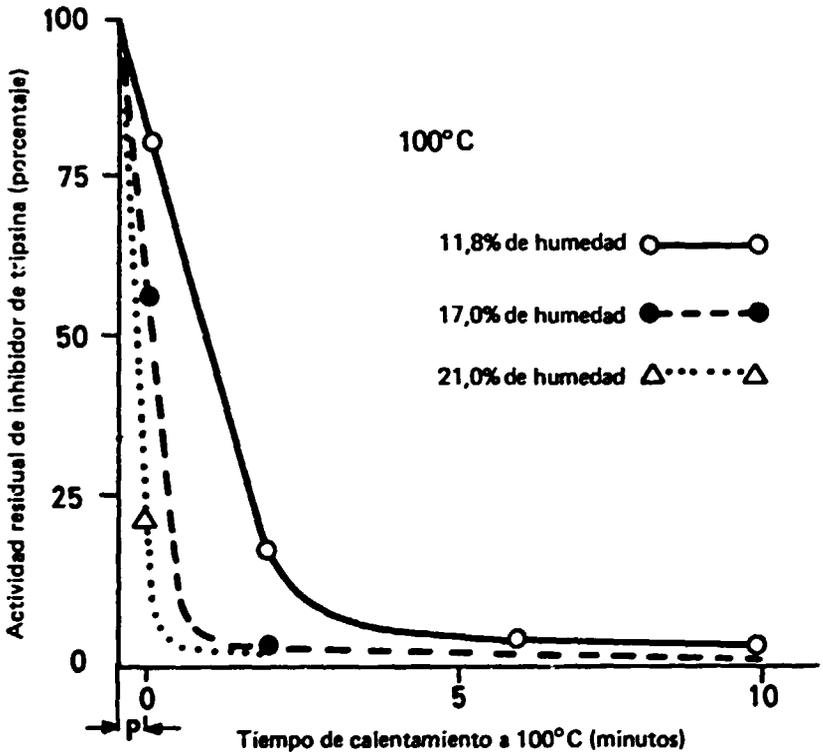
salvado se deteriore durante el almacenamiento. Desafortunadamente, al inactivar los enzimas, la estabilización también perjudica a los componentes valiosos (aceite, proteínas, vitaminas y otros nutrientes), dependiendo el daño del modo de tratamiento y de las condiciones en que se realiza. Por lo tanto, al seleccionar los medios y condiciones del tratamiento han de tenerse en cuenta tanto los efectos beneficiosos (inactivación de enzimas, destrucción de microorganismos, etc.) como los perjudiciales (pérdidas de calidad o cantidad de componentes valiosos). La estabilidad de los constituyentes químicos responsables de las propiedades funcionales y del valor nutritivo del salvado rebasa los límites de este trabajo, y debe buscarse en obras especializadas. No obstante, es esencial hacer algunas indicaciones de las posibles alteraciones. Aunque la estabilización se considere principalmente desde el punto de vista de la ulterior extracción de aceite del salvado, también se examina la posible aplicación de otros componentes, como son las proteínas.

Efectos de los distintos medios de estabilización sobre los componentes valiosos del salvado

Aceite

La decoloración es una etapa importante en la extracción del aceite de salvado apto para la alimentación. El aceite debe de satisfacer una serie de

Figura 22. Efectos del calor sobre la actividad de los inhibidores de tripsina del salvado de arroz, en función del tiempo de tratamiento y humedad del salvado



Fuente: Barber y otros [24].

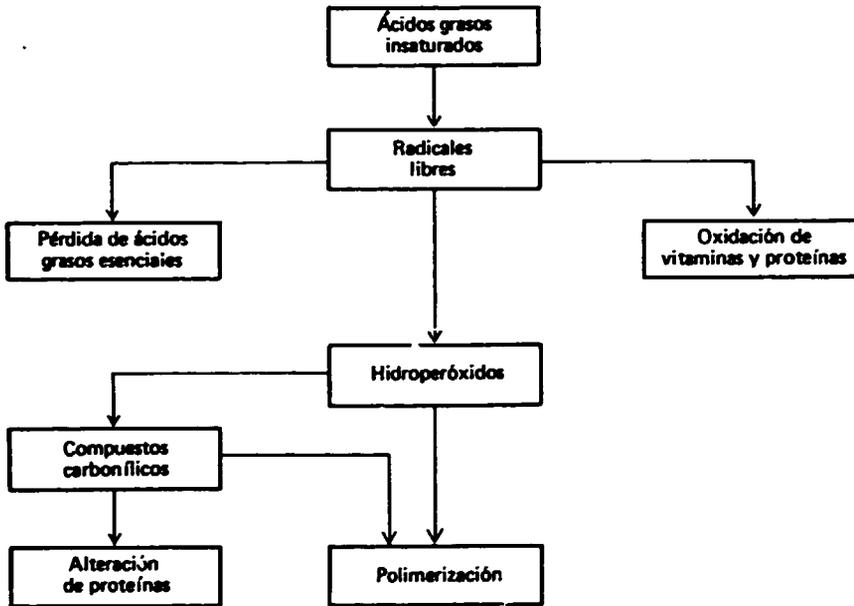
Nota: P representa el tiempo de precalentamiento necesario para alcanzar la temperatura requerida.

especificaciones, entre ellas las de color, para poder ser considerado comestible y comercializable. La facilidad que presenta el aceite crudo para ser decolorado en la refinería es un índice importante de la aceptación o rechazo del crudo para su industrialización.

El tratamiento térmico oscurece el color del aceite crudo extraído del salvado con hexano. El grado de alteración depende de las condiciones del tratamiento, siendo mayor cuanto más severas sean éstas. Hay que señalar, no obstante, que desde el punto de vista de la práctica industrial, no importa tanto el cambio de color del aceite crudo como el cambio en la facilidad de decoloración. Es decir, que el criterio último de la medida de la alteración no es el oscurecimiento del aceite crudo sino si éste puede o no decolorarse y con qué facilidad.

El tratamiento térmico puede producir oxidación, la cual, además de causar la pérdida de ácidos grasos esenciales, tiene una serie de otros efectos secundarios (véase la figura 23). Los hidroperóxidos que se forman pueden dar lugar a compuestos carbonílicos o polimerizarse. Los radicales libres y los

Figura 23. Rutas de la pérdida de nutrientes por alteración oxidativa de los lípidos



Fuente: Mauron [27].

hidroperóxidos formados pueden reaccionar con pigmentos, componentes de los aromas, proteínas y vitaminas, dando lugar a nuevos constituyentes químicos y reduciendo el valor nutritivo por oxidación de aminoácidos sulfurados y vitaminas, como los tocoferoles. Los compuestos carbonílicos pueden reducir el valor biológico de las proteínas al combinarse con el grupo épsilon amino de la lisina.

Hay numerosos procedimientos analíticos para determinar los cambios en los lípidos (véase el cuadro 2). También en este caso, por lo que se refiere a la extracción de aceite comestible, debe hacerse hincapié no en el color del aceite crudo sino en la facilidad o dificultad de su decoloración. A tal fin, el aceite crudo debe someterse a la prueba de decoloración en condiciones equivalentes a las industriales, y juzgar su comportamiento por el rendimiento y color final.

Proteínas

Se han distinguido cinco tipos de modificaciones de las proteínas durante procesos tecnológicos [29]. El primer tipo incluye las modificaciones de la estructura terciaria de la molécula proteica causadas por tratamientos térmicos suaves. No tienen efecto alguno sobre el valor nutritivo, pero contribuyen a la modificación de las propiedades físicas o químicas, como son la solubilidad, la viscosidad y la movilidad electroforética de las proteínas globulares. El segundo tipo incluye la reacción de pardeamiento no enzimático, o reacción de Maillard,

CUADRO 2. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA DETERMINAR
LOS CAMBIOS EN ACEITES Y GRASAS

<i>Cambios</i>	<i>Métodos</i>
Color	Escala de color de yodo Escala de color Lovibond Transmisión, 360-500 nm
Conjugación	Extinción a 232 nm Extinción a 268 nm Índice de refracción
Polimerización	Índice de yodo Densidad Viscosidad Cromatografía en gel
Oxidación	Índice de peróxido Índice de epóxido Índice de aldehído Color en álcali Ácidos grasos oxidados insolubles en petróleo ligero Compuestos carbonílicos volátiles Cromatografía líquido-líquido

Fuente: T. Morton [28].

entre la lisina, a través de su grupo épsilon amino y sustancias reductoras (glucosa, lactosa, maltosa y compuestos carbonílicos de grasas oxidadas). El enlace resultante no es hidrolizado durante la digestión y aunque el aminoácido está presente, no está disponible, por lo que el valor biológico es menor. Otros aminoácidos adyacentes, no implicados directamente, también pueden perder la disponibilidad al afectar el nuevo enlace formado, debido a la especificidad de los enzimas digestivos. El tercer tipo incluye tratamientos térmicos más severos e implica pérdida de disponibilidad de otros aminoácidos, además de la lisina, que pueden ocurrir en ausencia de sustancias reductoras. La cistina puede transformarse a 115°C en compuestos como el metil mercaptano, el sulfuro dimetilo y el disulfuro de metilo, si el tiempo de tratamiento es suficientemente prolongado. También pueden tener lugar, por encima de los 110°C y un tiempo de tratamiento prolongado (medido en horas), interacciones proteína-proteína (enlaces C-N); se forman nuevos enlaces, como =CHN=, que los enzimas del tracto gastrointestinal son incapaces de hidrolizar, con una consiguiente pérdida del valor nutritivo [30]. El cuarto tipo de modificaciones incluye el deterioro en formas de tratamiento particularmente severas (tostado de cereales, por ejemplo), con destrucción de aminoácidos por descomposición y racemización y formación de enlaces cruzados que producen poliaminoácidos [31]. Estos efectos pueden tener lugar con tratamientos de 180°C a 300°C, como la torrefacción de café y el horneado de bizcochos. En un caso [32], la cocción de un bizcocho a 200°C durante 15 a 20 minutos rebajó la relación de eficacia proteica (PER) de 3,5 a 2,4, mientras que la cocción a 130°C durante 40 a 60 minutos la redujo a 0,8. En otro caso [33], la cocción a 180°C durante 13 minutos disminuyó la utilización neta de proteína (NPU) en un 72%. El quinto tipo incluye las modificaciones en medio alcalino y las oxidativas (ya

mencionadas en la sección anterior). A temperaturas elevadas, los peróxidos de los líquidos pueden reaccionar con los residuos aminoácidos de las proteínas y reducir su disponibilidad. La metionina puede verse afectada y la oxidación puede causar la destrucción del triptófano y de la tirosina.

Vitaminas

Las vitaminas más importantes en el salvado y productos afines son las del complejo B, en particular la tiamina, y los tocoferoles.

En general, los procedimientos ensayados para estabilizar el salvado—calor, compuestos químicos, radiaciones ionizantes— afectan sus valores vitamínicos³. La tiamina es inestable al calor, a pH neutro y alcalino, pero es estable a pH ácido hasta 120°C. La destrucción térmica de la tiamina lleva a la ruptura de la molécula y la formación de anillos de pirimidina y tiazol. De ello se derivan productos secundarios (entre otros, azufre elemental, sulfuro de hidrógeno y tiofeno) todos los cuales tienen un olor extraño. No hay datos sobre el salvado, pero en diversos productos de planificación se han registrado pérdidas de tiamina del 5% a un pH del 6,0 al 6,4, de un 25% a un pH de 6,9 y del 55% a un pH de 7,5 [34]. La retención de tiamina depende del tiempo de exposición, de la temperatura y del contenido de humedad. Se han registrado pérdidas de tiamina de un 25% aproximadamente con un contenido de humedad del 20% al 30% y de más del 70% con un contenido de humedad del 10% [35]. Las pérdidas pueden ser importantes si la cocción se realiza por extrusión; a 149°C se han registrado valores de 10% y 40% en determinadas condiciones usuales, que a 193°C alcanzaron el 50% y el 80%.

La tiamina se destruye por la acción del SO₂ (sulfito, HSO₃⁻); la molécula se parte en dos, de forma parecida a cuando ocurre con el calor. En este caso, la velocidad de destrucción depende del pH. La alteración es lenta a pH 3, muy rápida a pH 5 e instantánea a pH 6 [29].

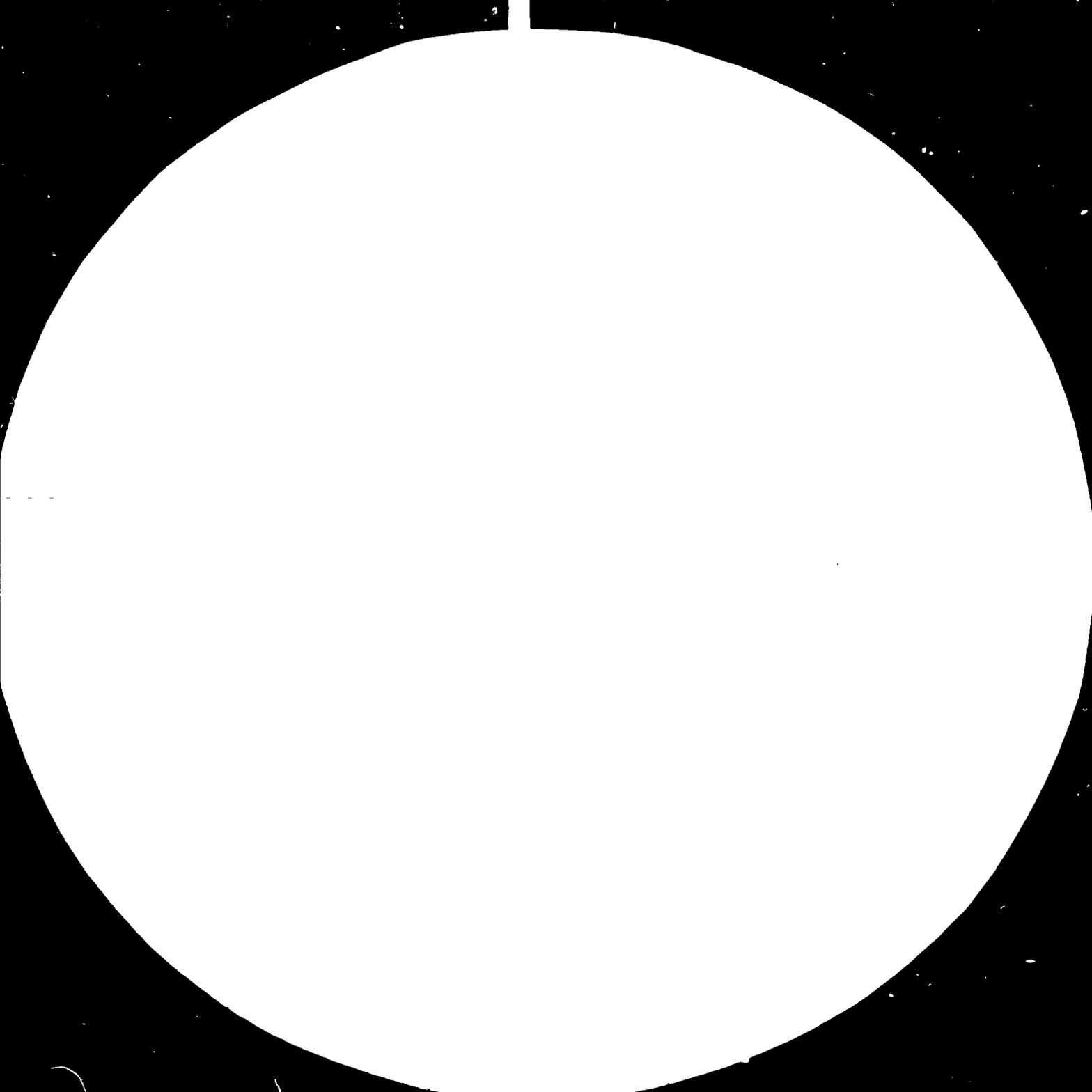
Los tocoferoles se destruyen en condiciones de oxidación como la exposición al aire y a la luz y su destrucción es acelerada por el calor. En la cocción del pan se pierde cerca del 50% de los tocoferoles de la harina [36]. La actividad vitamínica E disminuye considerablemente también si la autooxidación de los lípidos es importante.

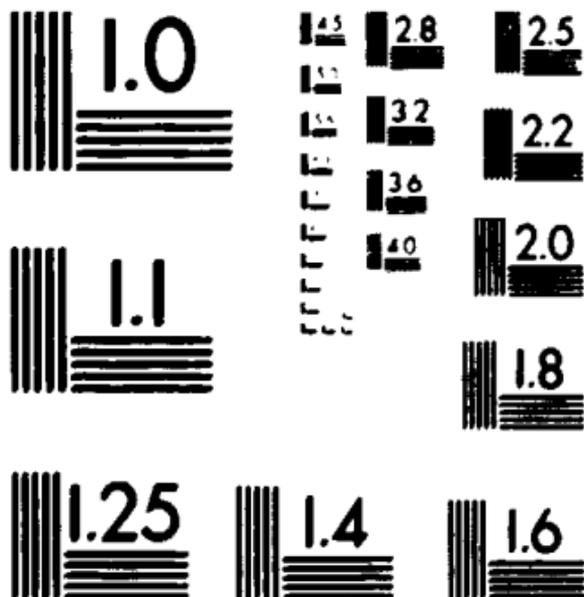
Referencias

1. I. J. Pflug y R. G. Holcomb, "Principles of thermal destruction of microorganisms", *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 2a. ed., S. S. Block, ed. (Philadelphia, Pennsylvania, Lea and Febiger, 1977).
2. C. T. Townsend, J. R. Esty y F. C. Baselt, "Heat resistance studies on spores of putrefactive anaerobes in relation to determination of safe processes for canned foods", *Food Research*, No. 3, 1938, pp. 323-346.

³La tiamina y los tocoferoles, al igual que algunas otras vitaminas, existen en una variedad de formas en los subproductos del arroz; cada una de ellas tiene un diferente contenido vitamínico y diferente estabilidad. La retención del valor vitamínico total, tras un tratamiento físico o químico, depende de las concentraciones relativas de las diversas formas presentes.

800 721





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

3. E. Costell y L. Duran, *Esterilización de conservas. Fundamentos teóricos y cálculo del tiempo de esterilización*. Información técnica general No. 66 (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1973).
4. J. E. Campbell, Resultados presentados en el AIBS Spacecraft Sterilization Seminar, Atlanta, Georgia, octubre 1972. Citado por Hall [6].
5. G. J. Silverman y A. J. Sinskey, "Sterilization by ionizing radiation", *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 2a. ed., S. S. Block, ed. (Philadelphia, Pennsylvania, Lea and Febiger, 1977), cap. 28, pp. 542-861.
6. F. W. Hall, *Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales*. Cuadernos de fomento agropecuario, No. 90 (Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1971).
7. M. Joly, *A Physico-chemical Approach to the Denaturation of Proteins* (Nueva York, Academic Press, 1965).
8. F. Haurowitz, *The Chemistry and Function of Proteins*, 2a. ed. (Nueva York, Academic Press, 1963).
9. Y. Aizono y otros, "Biochemical studies on rice bran lipase: III. Enzymic properties of rice bran lipase", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), vol. 37, No. 9 (1973), pp. 2031-2036.
10. Y. Aizono y otros, "Biochemical studies on rice bran lipase: IV. Purification and characterization of rice bran lipase II", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), vol. 40, No. 2 (1976), pp. 317-324.
11. S. Svensson, "Inactivation of enzymes during thermal processing", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food caused by Thermal Processing*. T. Høyem y D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 1977).
12. J. A. Whitaker, *Principles in Enzymology for the Food Sciences* (Nueva York, Marcel Dekker, 1972).
13. S. Barber y otros, "Process for the stabilization of rice bran: I. Basic research studies", *Proceedings of the Products Utilization International Conference*, vol. II, *Rice By-Products Preservation* (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977).
14. R. Jenness y S. Patton, *Principles of Dairy Chemistry* (Nueva York, John Wiley, 1959).
15. T. Richardson, "Enzymes", *Principles of Food Science*, part I, *Food Chemistry*. O. R. Fennema, ed. (Nueva York, Marcel Dekker, 1976), pp. 286-348.
16. L. Acker y H. Kaiser, "Über den Einfluß der Feuchtigkeit aus dem Ablauf enzymatischer Reaktionen in wasserarmen Lebensmitteln", *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, No. 110, 1959, pp. 349-356.
17. L. Butler, "Protein structure and properties", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, No. 48, pp. 101-106.
18. N. A. M. Eskin, H. M. Henderson y R. J. Townsend, *Biochemistry of Foods* (Nueva York, Academic Press, 1971).
19. G. Reed, *Enzymes in Food Processing* (Nueva York, Academic Press, 1966).
20. F. C. Webb, *Biochemical Engineering* (Nueva York, Van Nostrand, 1964).
21. D. F. Farkas y S. A. Goldblith, "Studies on the kinetics of lipoxidase inactivation using thermal and ionizing energy", *Journal of Food Science*, vol. 27, No. 3 (1962), pp. 262-276.

22. H. Brockerhoff, "On the function of bile salts and proteins as cofactors of lipase", *Journal of Biological Chemistry*, No. 246, 1971, p. 5828.
23. I. E. Liener, "Toxic factors in edible legumes and their elimination", *American Journal of Clinical Nutrition*, No. 11, 1962, pp. 281-298.
24. S. Barber y otros, "Toxic constituents of rice bran: I. Trypsin inhibitor activity of raw and heat-treated bran", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 18, No. 1 (1978), pp. 80-88.
25. C. Benedito de Barber y otros, "Toxic constituents of rice bran: II. Haemagglutinating activity of raw and heat-treated bran", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 18, No. 1 (1978), pp. 89-94.
26. J. J. Rackis, "Physiological properties of soybean trypsin inhibitors and their relationship to pancreatic hypertrophy and growth inhibition of rats", *Federation Proceedings* (Federation of American Societies for Experimental Biology), No. 24, 1965, pp. 1488-1493.
27. J. Mauron, "General principles involved in measuring specific damage of food components during thermal processes", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*, T. Høyem y D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 1977), cap. 24, pp. 328-359.
28. I. D. Morton, "Physical, chemical and biological changes related to different time-temperature combinations", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*, T. Høyem y D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 1977), cap. 8, pp. 138-151.
29. A. E. Bender, *Food Processing and Nutrition* (Nueva York, Academic Press, 1978).
30. G. O. Donoso y otros, "Effect of heat treatment on the nutritive value of proteins: chemical and balance studies", *Journal of Science and Food Agriculture*, No. 13, 1962, pp. 192-196.
31. F. Hayase, H. Kato y M. Fujimaki, "Racemization of amino acid residues in proteins and poly (L-amino acids) during roasting", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, No. 23, 1975, pp. 491-494.
32. R. J. Block y otros, "The effects of baking and toasting on the nutritive value of protein", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, No. 10, 1946, pp. 295-301.
33. A. Pronuczuk, D. Pawlowska y J. Bartnick, "Effect of heat treatment on the digestibility and utilization of protein", *Nutrition and Metabolism*, No. 15, 1973, pp. 171-180.
34. A. M. Briant y A. M. Klosterman, "Influence of ingredients on thiamin and riboflavin retention and quality of plain muffins", *Cereal Chemistry*, No. 8, 1950, p. 69.
35. A. P. Mossman, W. C. Rockwell y D. W. Fellers, "Hot air toasting and rolling whole wheat: effect on organoleptic, physical and nutritional quality", *Journal of Food Science and Technology*, No. 38, 1973, pp. 879-884.
36. T. Moore, J. M. Sharman y R. J. Ward, "Destruction of vitamin E in flour by chlorine dioxide", *Journal of Science and Food Agriculture*, No. 8, 1957, p. 97.

III. Morfología, anatomía, histología e histoquímica de las partículas discretas del salvado comercial

Introducción

El salvado como producto comercial es el resultado de la molienda del arroz, estando constituido por un conjunto de fragmentos del grano muy distintos (véase la figura 1). Habida cuenta de la diversidad de máquinas que se utilizan para producirlos y de las condiciones en que se elaboran, las características de los salvados comerciales difieren notablemente aun cuando se deriven de una misma variedad e incluso de una misma partida de arroz.

Las capas anatómicas del grano que se separan en la molienda constituyen la materia prima de la que se obtiene el salvado. Es necesario conocerlas para comprender plenamente el proceso de elaboración del arroz y la naturaleza del salvado comercial, pero debido a la complejidad de las transformaciones que sufren dichas capas anatómicas durante la molienda, y sus efectos, este conocimiento no basta para identificar y determinar las características y propiedades fundamentales del salvado, que son únicas. El salvado comercial y las capas de salvado en el grano son dos productos enteramente distintos, que deben estudiarse por separado.

La mayoría de los trabajos sobre histología e histoquímica se refieren al salvado tal como se halla en la carióspside, y no como una mezcla de partículas discretas aisladas. Son muy pocas las investigaciones que se han hecho sobre el mecanismo en virtud del cual se forman partículas de salvado durante la molienda, pese a que es esencial saber algo de ese tema no sólo para producir salvado de calidad superior sino también para mejorar el proceso de molienda.

En el salvado comercial procedente de arroz crudo se han determinado más de 15 tipos diferentes de partículas, además de pequeños fragmentos del material de recubrimiento de las descascarilladoras de rodillos de goma y del recubrimiento abrasivo de las blanqueadoras, fragmentos de otras semillas y materiales varios. En la descripción que se hace seguidamente¹ esos tipos de partículas se encuadran en dos grandes grupos: partículas simples, constituidas por tejidos o células correspondientes a una sola estructura anatómica, y partículas compuestas, constituidas por varias² (véase el cuadro 1) [1, 2].

¹Se aprovecha para ello parte de la labor de investigación para la tesis doctoral de L. Navarro Lucas y A. J. Pineda, realizada en el laboratorio de los autores.

²Las dimensiones que se dan de las preparaciones histológicas e histoquímicas pueden estar influidas por las técnicas preparativas, por lo que deben considerarse con reservas.

Figura 1. Las partículas que se observan en el salvado comercial demuestran la heterogénea composición de éste



Clave:

- Pt-I Fragmentos de glumas fluorescentes
- Pt-V Fragmentos de pericarpio
- Pt-VI Fragmentos de endosperma amiláceo
- Pt-VII Germen, entero o fragmentos
- Pt-IX Fragmentos de pericarpio y de cubierta de la semilla
- Pt-X Fragmentos de la cubierta de la semilla y capa de aleurona
- Pt-XI Fragmentos de pericarpio, cubierta de la semilla y capa de aleurona

Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

CUADRO 1. TIPOS Y COMPOSICIÓN ANATÓMICA DE PARTÍCULAS DISCRETAS IDENTIFICADAS EN EL SALVADO COMERCIAL

Estructura anatómica	Tipos de partículas													
	Simples							Compuestas						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Glumas florescentes														
Glumas	X													
Sólo tricomas	X													
Glumas estériles		X												
Pedicelo			X											
Pericarpio				X				X		X	X			X
Endospermo amiláceo					X						X	X	X	
Germen						X							X	X
Fibras							X							
Cubierta de la semilla								X	X	X	X			X
Aleurona									X	X	X	X		X

Fuente: Pineda [2].

Partículas discretas simples del salvado comercial¹

Las partículas simples son fragmentos de glumas florescentes, glumas estériles, pedicelo, pericarpio, endospermo amiláceo, germen (también entero) y fibras.

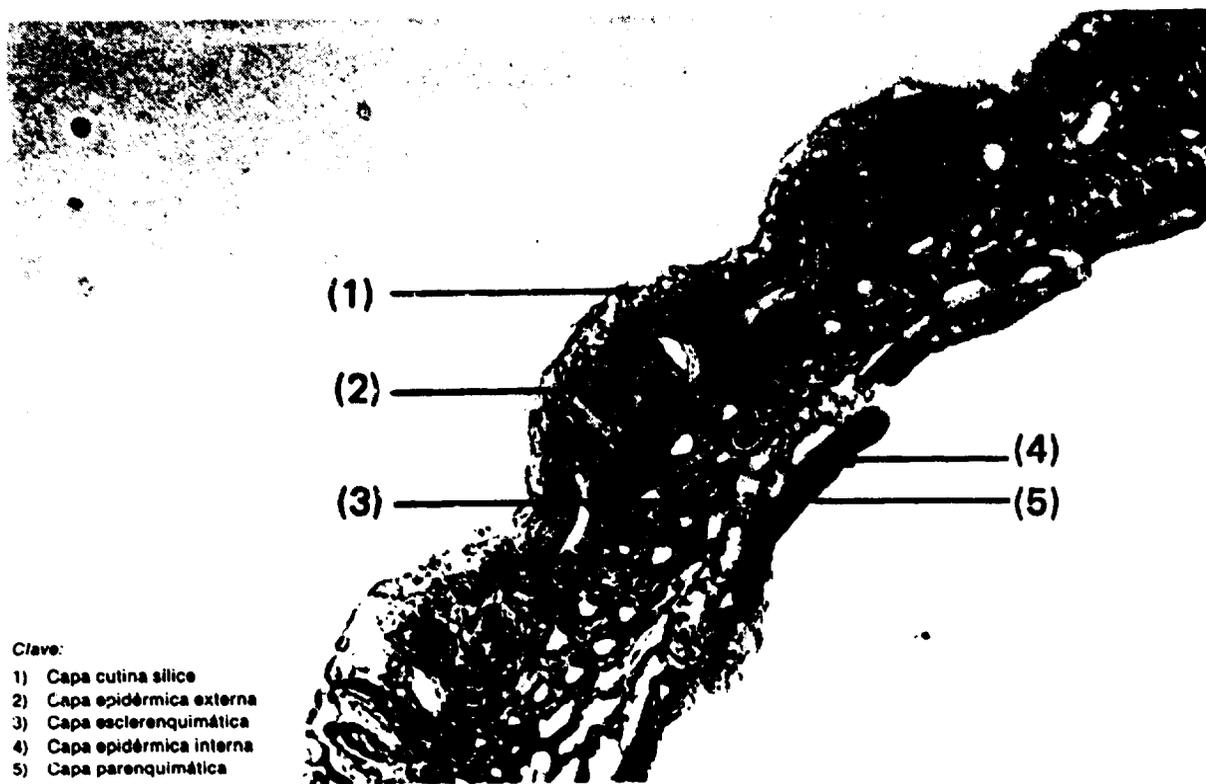
Fragmentos de lema y palea

Los fragmentos de lema y palea encontrados en el salvado comercial (véanse las figuras 2 y 3) tienen formas poligonales irregulares. Los fragmentos más grandes miden alrededor de $1,5 \times 2,5$ mm (aunque pueden variar mucho, pues su tamaño depende de la luz de la rejilla de la blanqueadora y de los tamices subsiguientes) y son muy escasos; los fragmentos de tamaño más pequeño son más abundantes, especialmente los que miden de 25 a 40 μm ; el espesor de las secciones transversales (véase la figura 2) es de unos 80 a 120 μm . Una de las caras es lisa y la otra áspera y rugosa, con pliegues ondulados y cubierta de tricomas.

Los tricomas, enteros y quebrados, se encuentran insertados oblicuamente, con un ángulo de 30° a 45° , siendo más numerosos en las nervaduras y más dispersos a ambos lados de ellas. También se han identificado fragmentos constituidos sólo por la nervadura, de 0,3 a 0,5 cm de longitud por unos 10 μm

¹Los salvados comerciales estudiados [1, 2] proceden de las variedades de arroz *Japónica*, Bahía y Bahía X Sollana, cultivados en España. El programa de elaboración del molino industrial utilizado consistió en: báscula, limpia (con aire), descascarilladoras de rodillos de goma, aspirador de cascarilla, separador de palay, descascarilladora de retorno (de rodillos de goma), conos blanqueadores con recubrimiento abrasivo (cuatro unidades sucesivas), separadores de medianos y separador de germen.

Figura 2. Sección transversal de la lema
(Aumento $\times 420$; teñida con safraninafenol)

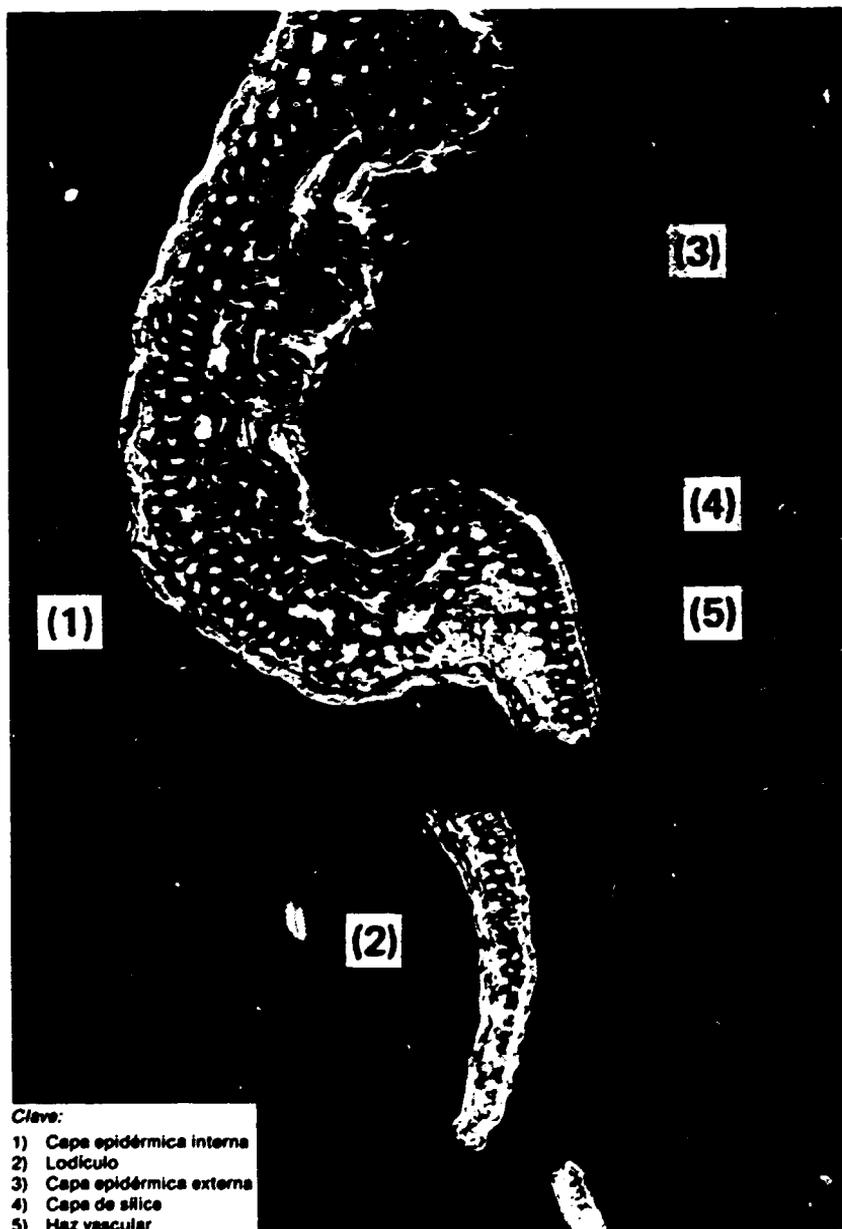


Clave:

- 1) Capa cutina sílice
- 2) Capa epidérmica externa
- 3) Capa esclerenquimática
- 4) Capa epidérmica interna
- 5) Capa parenquimática

Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

Figura 3. Sección transversal de la paja
(Aumento $\times 270$)



Clave:

- 1) Capa epidérmica interna
- 2) Lodículo
- 3) Capa epidérmica externa
- 4) Capa de sílice
- 5) Haz vascular

Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

de espesor, y otro material procedente de la arista de la lema. Con frecuencia, esas partículas de lema y palea se encuentran adheridas a pequeños fragmentos de endospermo amiláceo en los pliegues y entre los tricomas.

Los carbohidratos se encuentran en las paredes celulares [1]⁴ y se presentan principalmente en forma de celulosa, con cantidades menores de hemicelulosas, especialmente pentosanos, y no contienen almidón [3]. La lignina se encuentra abundantemente en todas las capas histológicas, pero especialmente entre las paredes de las células de las capas esclerenquimática y epidérmica externa y haces vasculares [1, 4]. Se encuentra también incrustada entre las fibrillas de celulosa de las paredes celulares y en células, que son principalmente las de la epidermis externa y capa esclerenquimática [2, 4], y combinada químicamente con las hemicelulosas [7]. No se han detectado proteínas ni glóbulos de grasa. Se han localizado cera y cutina en la capa epidérmica [1]. Se ha encontrado sílice sobre la cutícula de cutina, en la epidermis externa (sobre la que forma una capa de espesor variable, de 2 a 6 μm), en la epidermis interna (con espesor de 1 μm) y en las paredes de las células esclerenquimáticas, haces vasculares y epidermis [3, 8].

Los tricomas, enteros o en fragmentos, desprendidos de las glumas son componente común del salvado comercial. En muestras comerciales de salvado de las variedades Bahía y Balilla X Sollana, se han encontrado tricomas o fragmentos de tricomas de 100 a 700 μm de longitud y diámetro máximo de 40 μm . En los tricomas se han detectado carbohidratos, lignina y lípidos [1].

Fragmentos de glumas estériles

Los fragmentos de glumas estériles, que generalmente proceden de roturas a lo largo de la nervadura, no son muy numerosos. Presentan color blanco amarillento y su superficie exterior es relativamente lisa. Hay, naturalmente, tricomas, aunque no en gran número, ya que son mucho más característicos de las glumas florescentes (véase también el capítulo I *supra*). El tamaño de los fragmentos de glumas estériles no es uniforme, registrándose algunos de 2 mm de longitud. También varía su espesor (60 a 120 μm), correspondiendo la dimensión mayor a la zona próxima al haz vascular. Aunque muy raramente, también se han encontrado glumas estériles casi enteras. En las partículas analizadas se han detectado las tres capas de la estructura histológica propia de las glumas estériles: epidérmica externa, epidérmica interna y parenquimática intermedia. La primera está formada por una capa de células alargadas, de 50 a 70 μm de longitud por 5 a 10 μm de anchura, dispuestas tangencialmente; el lado exterior de la pared celular, de 3 μm de espesor, está cubierto por una cutícula gruesa (5 μm). La epidermis interna es similar. La lámina intermedia tiene de 2 a 4 capas de células de longitud variable (20 a 70 μm) y anchura más uniforme (unos 7 μm), con paredes menos gruesas que las células epidérmicas [2].

Los componentes químicos de las glumas estériles y su distribución son análogos a los de las glumas florescentes.

⁴Almidón, celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas, glicoproteínas y glicolípidos, que dan reacción positiva con el reactivo ácido periódico de Schiff (PAS) [5, 6].

Fragmentos de pedicelo

Los fragmentos de pedicelo son por lo general muy raros en el salvado comercial. Se trata de fragmentos cilíndricos, alargados, de tamaño variable (con una longitud máxima de 3 mm). Tienen superficie estriada y las paredes de las células contienen carbohidratos y lignina [2].

Fragmentos de pericarpio

La mayoría de los fragmentos de pericarpio identificados en el salvado comercial (véase la figura 4) son alargados, de longitud muy diversa (no más de $800\ \mu\text{m}$) y de espesor relativamente uniforme (de 6 a $8\ \mu\text{m}$). En las partículas investigadas, los componentes del tejido estaban frecuentemente comprimidos, formando una película densa, no distinguiéndose las capas celulares constituyentes [2]. Las características histológicas se describen en el capítulo I de la presente publicación.

En el pericarpio se ha identificado lo siguiente: celulosa [9] y hemicelulosa [1, 9], lignina [1], proteínas [1, 9], lípidos, cutina y ceras [1, 10], fitina [1, 4], antocianinas [11] y sílice [1]; también se ha determinado actividad lipásica [10]. La reacción del PAS para carbohidratos [5] es positiva en las paredes celulares del pericarpio, con excepción de las células transversales [1]. El lumen de las células de la epidermis y de las células tubulares se tiñe del mismo modo. Se ha indicado que esas células carecen de contenido [4]. En el pericarpio no se ha detectado almidón [1, 4]; al parecer, los carbohidratos principales son la celulosa y las hemicelulosas [9]. La lignina se encuentra en las paredes celulares del pericarpio, en las que se identifica sin dificultades con el reactivo de Schiff; éste, en cambio, no revela la presencia de lignina en las células tubulares [1], aun cuando se sabe están lignificadas [4]. Las proteínas, según indica la tinción con Hg-BPB [12], pueden encontrarse en la hipodermis y las células transversales [1]. Varios autores [9, 13] han señalado su localización en las paredes celulares del pericarpio. Utilizando negro Sudán, se ha encontrado una película de materia lipoidea, de $1\ \mu\text{m}$ de espesor aproximadamente, sobre la epidermis [1]. Se ha detectado cutina en el pericarpio [14]. El lumen de las células del pericarpio se comporta lo mismo con el negro Sudán, ya que son células vacías carentes de glóbulos de grasa.

Fragmentos de endospermo amiláceo

En el salvado comercial se encuentra gran número de fragmentos de endospermo amiláceo (véase la figura 5). Su tamaño varía desde unos cuantos micrómetros a más de 1 mm, dependiendo la presencia de los últimos de la luz de la rejilla de la blanqueadora y tamices subsiguientes, si los hay. Entre las partículas más pequeñas hay fragmentos de célula. Las células de las partículas de endospermo amiláceo tienen sección irregular pentagonal o hexagonal. Las primeras son, por lo general, de menor tamaño ($30 \times 25\ \mu\text{m}$, frente a $60 \times 40\ \mu\text{m}$). Las paredes de las células de la superficie de rotura están generalmente rotas. Se cree que las grietas que presentan muchos de los fragmentos interesan a la membrana que cubre los gránulos de almidón y cruzan las paredes celulares yuxtapuestas.

Figura 4. Sección de una partícula de pericarpio (Ampliación x925; teñida con cloruro mercuríco-azul de bromofenol (Hg-BPB) para identificar proteínas



- Clave:
1) Células cruzadas
2) Mesocarpio
3) Epicarpio

Fuente: Barber, Pinada y Benedito de Barber (1).

Figura 5. Sección transversal de una partícula de endospermo
(Ampliación x935; teñida con PAS para identificar carbohidratos)



Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber (1).

Además de almidón y proteínas, en los fragmentos del endospermo amiláceo del salvado comercial se ha determinado la presencia de celulosa, hemicelulosa y lípidos. Mientras que el almidón se encuentra en el lumen de las células, la celulosa y las hemicelulosas se detectan en las paredes celulares [1]. Las proteínas en el endospermo amiláceo existen no sólo como cuerpos proteicos [15, 16], sino también como material de cementación entre los cuerpos proteicos y los gránulos de almidón compuestos [9, 17] y como membrana lipoproteica que rodea a los gránulos de almidón. En el endospermo, los cuerpos proteicos son de 1 a 5 μm de diámetro [15, 16, 17, 18]. Las grasas se encuentran situadas entre gránulos compuestos de almidón y en la membrana que rodea a los gránulos, ya sean simples o compuestos. Las grasas de algunas partículas del endospermo amiláceo casi no se tiñen con negro Sudán [1]; probablemente, esas partículas proceden de la zona central del endospermo, donde su presencia no se ha detectado histoquímicamente [19].

Germen

El salvado comercial, procedente de arroz palay y no de arroz sancocado, siempre contiene germen entero, además de fragmentos de germen (véase la figura 6). Por su alta diferenciación de tejidos, estas partículas se distinguen fácilmente de los demás componentes del salvado. Los fragmentos de germen más frecuentes son: plúmula entera, coleóptilo, coleóptilo junto con plúmula, radícula combinada con caliptra y coleoriza y escutelo combinado con epiblasto. El germen entero, o fracciones de germen que contengan escutelo, suelen llevar adherido endospermo procedente de la capa de células aplastadas.

Como ya se ha indicado en el capítulo I *supra*, el germen comercial consta de: a) un eje embrionario; b) el tejido que rodea al eje embrionario, y c) cubiertas exteriores que corresponden a otras partes anatómicas de la carióspside [20] (véase la figura 7). Las tres fracciones representan, respectivamente, el 20%, el 71,78% y el 8,32% en peso [21]. La distribución en peso de distintas partes anatómicas de la carióspside del arroz se indica en el cuadro 2.

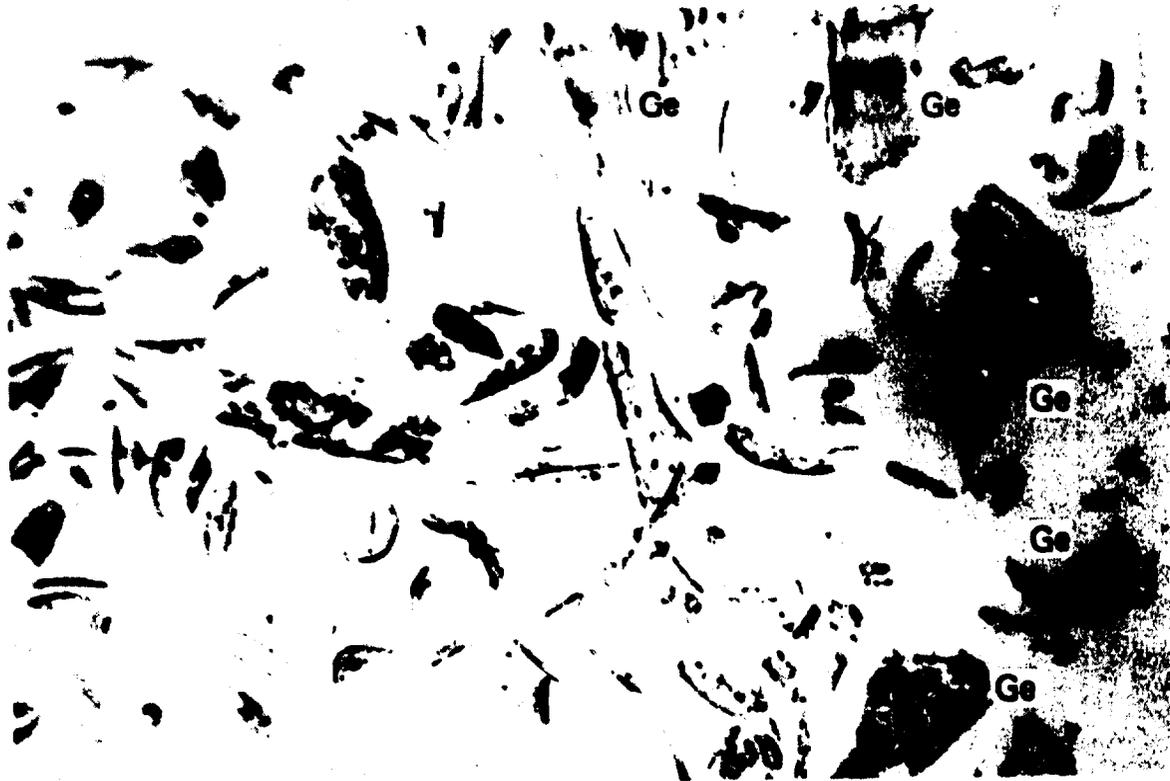
CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN ANATÓMICA DE LA CARIÓPSIDE DEL ARROZ

Parte anatómica	Porcentaje de la carióspside	Porcentaje del germen
Pericarpio y aleurona	7,0	
Endospermo amiláceo	90,7	
Germen	2,3	
Plúmula	0,34	12,91 ^a
Radícula	0,18	7,09
Escutelo	1,4	52,1
Coleoriza	0,18	8,33
Epiblasto	0,26	11,25

Fuente: Hinton [21] y Hinton y Shaw [22].

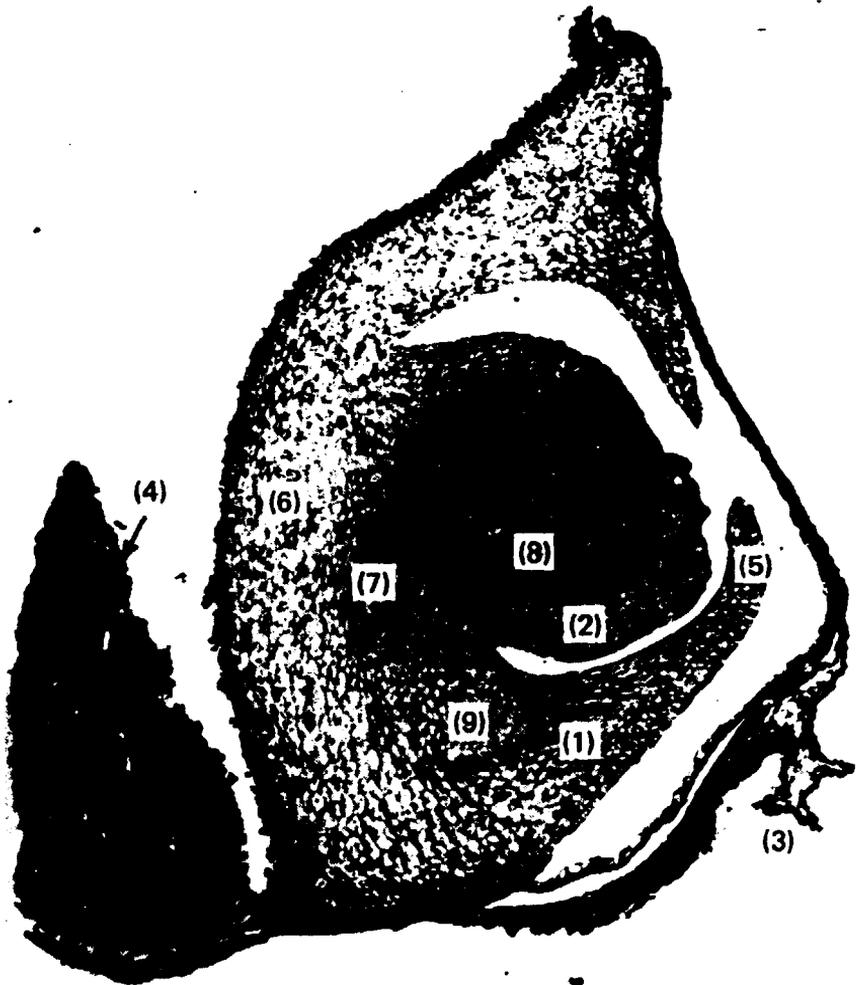
^aCon el coleóptilo.

Figura 6. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando la presencia de varios fragmentos de germen (Ge)
(Ampliación $\times 35$; teñida con PAS para identificar carbohidratos)



Fuente: Pineda [2].

Figura 7. Sección transversal del germen de arroz
(Ampliación $\times 90$)



Clave:

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) Coleorriza | 6) Escutelo |
| 2) Coleóptilo | 7) Hipocotilo |
| 3) Cresta | 8) Plúmula |
| 4) Endospermo | 9) Radícula |
| 5) Epiblasto | |

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [20].

Histología de las partes principales del germen

El eje embrionario⁵

El eje embrionario tiene forma de L y está situado en la parte central del germen. Consta de: plúmula⁶, coleóptilo, radícula e hipocotilo. La plúmula está situada en el lado mayor de la L que forma el eje embrionario. Tiene forma de "igloo", con sección transversal circular, de unos 0,30 mm de diámetro y una altura de 0,40 mm aproximadamente (variedad de grano corto Balilla × Sollana) (véanse las figuras 7 a 10). En la plúmula se han encontrado sólo dos o tres hojas, rodeadas por la epidermis y por haces conductores⁷. En el centro de la espiral formada por las hojas se observa el meristemo apical (véase la figura 8). Las células de las hojas embrionarias tienen paredes delgadas; su perfil transversal es poliédrico, aproximadamente isodiamétrico (7 μm), mientras que el perfil longitudinal es alargado. Las células de la epidermis se diferencian de las restantes por su ordenación en empalizada. Exteriormente están recubiertas por una cutícula delgada (0,1 a 0,2 μm). Las células de los haces conductores (3 a 6) son poligonales, de unos 4 μm de sección transversal y rectangulares, de unos 4 × 11 μm de sección longitudinal. El meristemo apical contiene células isodiamétricas (4 μm).

El coleóptilo⁸ es la cubierta exterior de la plúmula (véanse las figuras 7 y 8). Tiene un poro en el ápice. Su espesor varía (0,11 a 0,18 mm), dependiendo de dónde esté situado, y está constituido por unas 9 a 12 capas de células, que son polígonos irregulares en sección transversal y rectangulares en sección longitudinal. Están ordenadas longitudinalmente (véase la figura 8). Las células de la otra capa, que son prismáticas, forman una epidermis interna; ésta y la epidermis exterior están recubiertas por una cutícula de 1,1 a 1,3 μm y de unos 0,5 μm , respectivamente.

El hipocotilo⁹ une la plúmula con la radícula¹⁰ (véase la figura 7). Está constituido por haces provasculares compuestos de células grandes, alineadas, rodeadas de células parenquimáticas.

La radícula es cilíndrica, y tiene unos 0,45 mm de longitud (véanse las figuras 7 y 11). Está situada en el lado menor de la L que forma el eje embrionario (véase la figura 6). La sección transversal (unos 0,35 mm) muestra diversos tejidos dispuestos en simetría radiada (véanse las figuras 7 y 11), distinguiéndose: a) una cutícula de 6 a 10 μm de espesor (1,5 μm en el meristemo apical); b) epidermis y subepidermis de células prismáticas, que miden unos 11 × 23 y 7 × 4 μm respectivamente, ordenadas en empalizadas; c) exodermis de dos capas de células de forma y tamaño diverso; d) cilindro cortical, de unos 70 μm de espesor, con cinco a siete capas de células ovaladas o

⁵Es la parte del germen que se desarrolla durante la germinación, dando lugar a la nueva planta.

⁶Es el ápice caulinar del embrión e incluye los primordios foliares. Durante la germinación da lugar a las hojas primarias y al tallo.

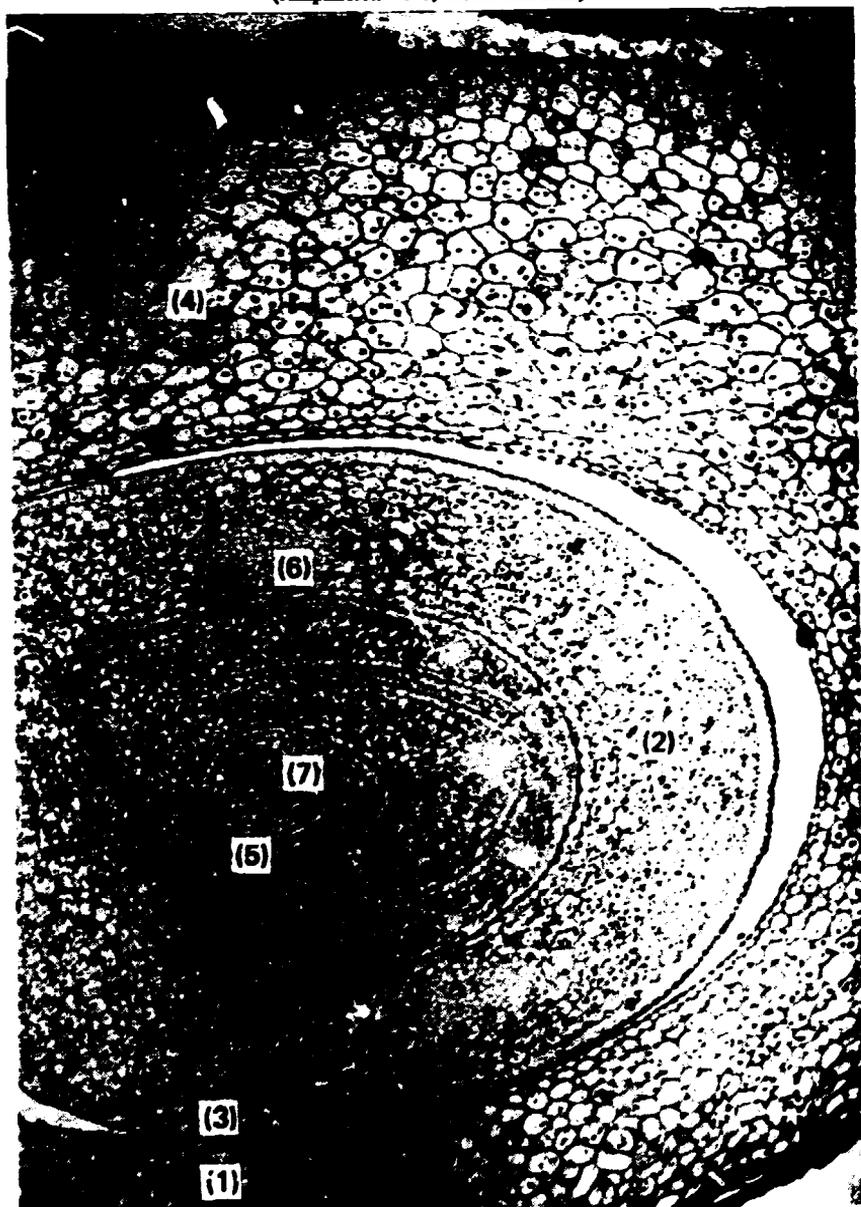
⁷Venas de la hoja adulta.

⁸Hay autores que consideran que el coleóptilo es una hoja joven modificada, en tanto que otros afirman que es un cotiledón o incluso que forma parte de este último junto con el escutelo [21]. Durante los primeros días que siguen a la germinación, se desarrolla junto con la plúmula, pero después se reabsorbe.

⁹Es el tallo primario.

¹⁰Es la raíz primaria, que durante la germinación da lugar a la raíz de la planta.

Figura 8. Sección transversal de la plúmula del germen de arroz
(Ampliación $\times 170$; teñida con PAS)



Clave:

- | | |
|---------------|---------------------|
| 1) Coleorriza | 5) Hoja embrionaria |
| 2) Coleóptilo | 6) Haz provascular |
| 3) Epidermis | 7) Meristemo apical |
| 4) Escutelo | |

Fuente: Pineda [2].

Figura 9. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando un fragmento de plúmula
(Ampliación $\times 210$; teñido con PAS para identificar carbohidratos)



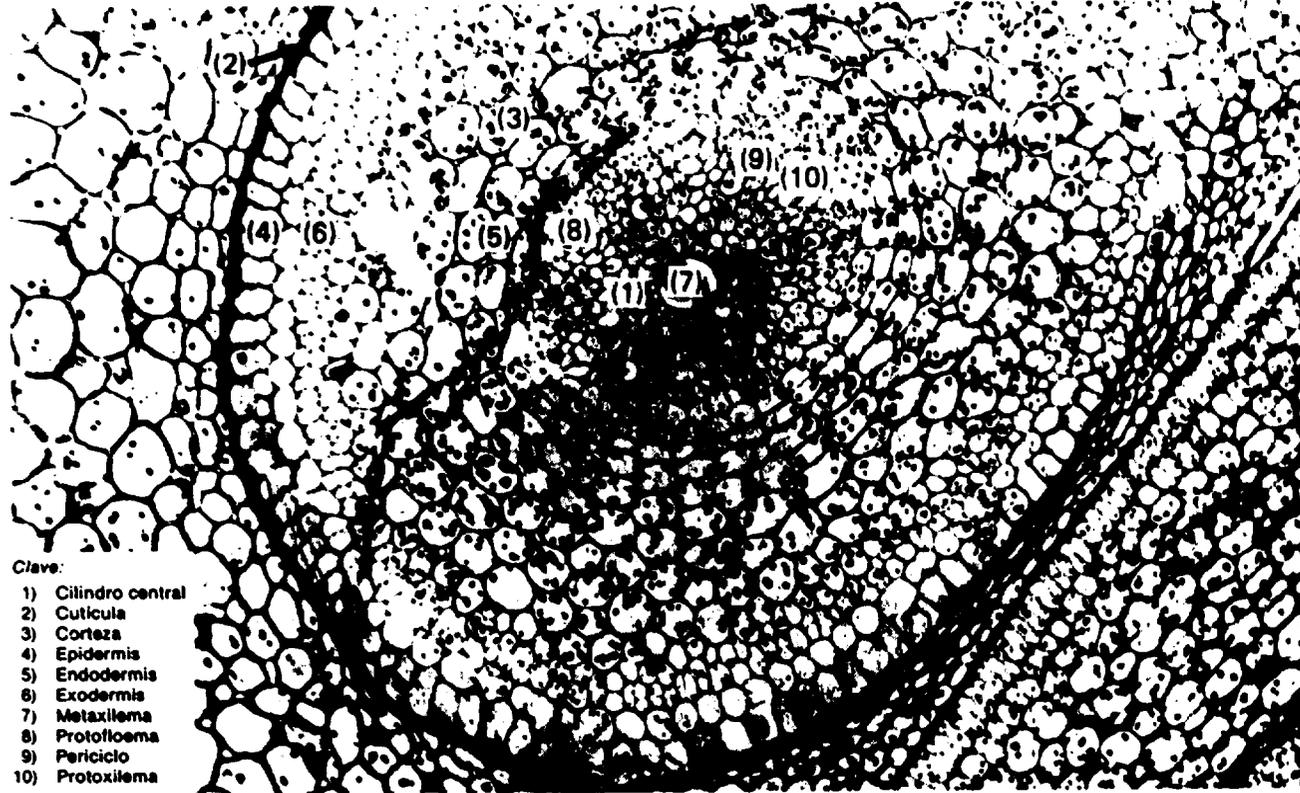
Fuente: Pineda [2].

Figura 10. Sección longitudinal del germen de arroz, mostrando plúmula y radícula
(Ampliación $\times 135$; tñida con PAS)



Fuente: Pinoda [2].

Figura 11. Sección transversal de la radícula del germe de arroz
(Ampliación X330; teñida con PAS para identificar carbohidratos)



Clave:

- 1) Cilindro central
- 2) Cutícula
- 3) Cortiza
- 4) Epidermis
- 5) Endodermis
- 6) Exodermis
- 7) Metaxilema
- 8) Protofloema
- 9) Periciclo
- 10) Protoxilema

Fuente: Pineda [2].

redondeadas (que miden de 10 a 20 μm); e) endodermis, de una capa de células prismáticas que miden $6 \times 5 \mu\text{m}$; f) periciclo, de una o dos capas celulares, y g) un cilindro central en el que se distinguen protofloema, protoxilema y metaxilema entre las numerosas células parenquimáticas. En el ápice de la radícula se encuentra el meristemo apical.

La capa merismática: más externa es el caliptrógeno, que produce la caliptra. Se encuentran también el dermatógeno, que da lugar a la epidermis, el periblema, que origina el cilindro cortical, y finalmente el pleroma, que da lugar al cilindro central. El ápice de la radícula está recubierto por la caliptra.

En el cuadro 3 se indica la distribución de órganos y estructuras en diversas partes histológicas del eje embrionario [23]. Las células del escutelo contienen muchas partículas redondeadas, de alrededor de 2 a 3 μm de diámetro, recubiertas por una membrana, que son de aspecto y composición similares a los granos de aleurona [24].

Los tejidos que rodean al eje embrionario

Aunque no están claramente separados, es posible distinguir: a) el escutelo; b) la coleorriza, y c) el epiblasto¹¹. El escutelo se une con la coleorriza en la parte inferior de la radícula y con el epiblasto en la parte superior externa del coleóptilo.

El escutelo¹² es la parte más grande del germen (véase el cuadro 2). Se encuentra situado entre el eje embrionario y el endospermo del grano (véanse las figuras 7 y 8). La parte mayor del escutelo está formada por células parenquimáticas, de perfil poliédrico irregular, de unos $14 \times 28 \mu\text{m}$ de sección longitudinal. En el exterior, excepto en donde se une con el epiblasto y la coleorriza, tiene una epidermis de células prismáticas, cubiertas por una fina cutícula; en la zona adyacente al endospermo la epidermis se ha modificado constituyendo una capa de células de absorción, denominada epitelio, con algunas invaginaciones llamadas glándulas epiteliales. En sección transversal, las células del epitelio aparecen desordenadas, pero en sección longitudinal están en empalizada (véase la figura 12). Un haz conductor se extiende desde la parte superior del escutelo hasta la base de la plúmula.

La coleorriza es un tejido protector de la radícula, a la cual envuelve (véase la figura 7). Se une con el escutelo en la parte inferior y posterior del germen y con el epiblasto a la altura de la parte inferior externa de la plúmula. Está constituida por células parenquimáticas de perfil poligonal irregular. Exteriormente hay una epidermis de células prismáticas, ensanchadas y de diferente tamaño, cubiertas por una fina cutícula (véase la figura 13). Entre la coleorriza y la capa de aleurona se ha observado un espacio vacío, pero en la región de la cresta del germen ambas partes se unen mediante un "suspensor"¹³ (véase la figura 14).

¹¹ Algunos autores consideran que el epiblasto no es una unidad morfológica independiente, sino parte del escutelo [25].

¹² Durante la germinación actúa como órgano absorbente y conductor de materias nutritivas desde el endospermo al eje embrionario. Algunos autores lo consideran como un único cotiledón, mientras que otros afirman que el cotiledón está formado por el escutelo y el coleóptilo [26] y el epiblasto [25].

¹³ Se ha señalado que en el germen de trigo facilita la entrada de agua al grano [27].

CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN DE ÓRGANOS Y ESTRUCTURAS EN ÁREAS HISTOLÓGICAS DEL GERMEN DE ARROZ

Área histológica	Aparato de Golgi	Cuerpos proteicos	Haces	Cuerpos grasos	Retículo endoplasmático	Vacuolas	Cutícula
Escutelo propiamente dicho							
Epitelio (una epidermis)	+	+ ^a	-	+ ^b	-	+	-
Parénquima	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Tejido provascular	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Epidermis	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Zona ventral del escutelo							
Epidermis	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Parénquima	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Zona lateral del escutelo							
Epidermis	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Parénquima	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Coleóptilo							
Epidermis	-	+ ^a	+	+ ^b	-	-	+
Parénquima	-	+ ^a	+	+	-	-	-
Tejido provascular	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Plúmula							
Meristemo apical	+	-	+	+ ^{b, d}	-	+	+
Hoja embrionaria							
Epidermis	+	+ ^a	+	+ ^b	-	+	+
Parénquima	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Tejido provascular	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Mesocotilo							
Parénquima	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Tejido provascular	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Radicula							
Caliptra	+	+	-	+ ^b	-	+	-
Apice	+	+	-	+ ^b	-	+	-
Epidermis	-	+	+	+ ^b	-	-	-
Hipodermis	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Corteza (parénquima)	-	+ ^a	+	+	-	-	-
Endodermis	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Cilindro vascular							
Periciclo	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Metaxilema	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Procambium	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Coleorriza							
Epidermis próxima a la radícula	-	+	-	+ ^b	-	-	-
Parénquima	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Epidermis externa	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Epiblasto							
Epidermis	-	+	+	+ ^{b, d}	-	-	+
Parénquima	-	+ ^a	+	+	-	-	-

Fuente: Bechtel y Pomeranz [23].

^aCon inclusión de material denso a los electrones.^bGeneralmente periférica.^cWhorls.^dCon material denso en la superficie de la sección.

Figura 12. Sección longitudinal del epitelio en el germen de arroz
(Ampliación $\times 1.350$)



Clave:

- 1) Células apiladas
- 2) Endospermo
- 3) Escutelo
- 4) Epitelio

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [20].

Figura 13. Detalle de una sección longitudinal del germen de arroz, mostrando la epidermis de la coleoriza y las cubiertas exteriores

(Ampliación $\times 1.350$)



Clave:

- 1) Capa de aleurona
- 2) Coleoriza
- 3) Cutícula
- 4) Epidermis
- 5) Pericarpio

Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

El epiblasto es una cubierta protectora de la plúmula, a la cual envuelve exterior y lateralmente, pero sin entrar en contacto con ella (véanse las figuras 7 y 10). La unión superior con el escutelo es incompleta y en la inferior el epiblasto está fundido con la coleorriza. El epiblasto está formado por células parenquimáticas de paredes aplastadas, poligonales, isodiamétricas, de unos $6\ \mu\text{m}$ de sección transversal y alargadas, de 7 a $12\ \mu\text{m}$ de sección longitudinal, y está recubierto por una epidermis monocelular con cutícula externa delgada.

En el cuadro 3 se indican los orgánulos y estructuras que se han encontrado en el escutelo, la coleorriza y el epiblasto [23].

El sistema conductor del germen

El sistema conductor del germen está constituido por el haz provascular que se extiende por el hipocotilo, desde la radícula a la base de la plúmula. En el nudo cotiledonario se divide en dos ramas, el haz provascular y la que se introduce en la plúmula donde se ramifica para dar lugar a los haces provasculares del coleóptilo y de las hojas primarias.

Cubiertas del germen

El germen está rodeado por la capa de aleurona, el tegmen o cubierta de la semilla y el pericarpio, en la parte exterior, y por las células aplastadas del endospermo, en su parte interior.

La capa monocelular de aleurona está profundamente modificada en la proximidad del germen. Sus células están más aplastadas (3 a $5\ \mu\text{m}$) que en la región del endospermo (14 a $18\ \mu\text{m}$). La cubierta de la semilla¹⁴ aparece como una vaina continua, sin diferenciación en las paredes celulares. Es más delgada en la zona del germen ($0,8$ a $1,5\ \mu\text{m}$) que en la del endospermo ($1,5$ a $2,3\ \mu\text{m}$). En la proximidad del germen, el pericarpio se presenta como una masa de células indiferenciadas, sin protoplasma. En la zona de la coleorriza forma un pliegue o cresta, aumentando el espesor del pericarpio (véase la figura 7). La esponjosidad propia del pericarpio se acentúa en la zona de la cresta. Como ya se ha indicado en el capítulo I *supra*, el germen está en contacto con el endospermo a través de la capa de células aplastadas (véase la figura 12).

Histoquímica del germen de arroz¹⁵

Se han identificado en el germen de arroz, mediante métodos histoquímicos, azúcares, almidón, hemicelulosas, celulosa, lignina, lípidos, proteínas, aminoácidos básicos y azufrados, triptófano y cenizas minerales [32, 2, 37], y mediante análisis de rayos X con microsonda electrónica se han encontrado fósforo y magnesio [21]. La reacción con el cloruro férrico-hidroxilamina, específica para las sustancias pécticas [28, 29, 30], así como el método

¹⁴Es una membrana semipermeable. Se ha señalado que el agua penetra en el endospermo de los cereales más rápidamente a través de la zona próxima al germen, tal vez porque el espesor del tegmen es menor en dicha zona.

¹⁵En el texto se hace referencia a la intensidad de tinción de ciertas preparaciones histoquímicas. Aunque esto no sea un índice específico de la concentración del componente químico, no deja de ser informativo.

Figura 14. Detalle de secciones longitudinales de germen de arroz, mostrando la zona de unión (suspensor) entre la aleurona y la coleoriza

(Ampliación $\times 1.350$)

A. Engrosamiento de la capa de aleurona



Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [20].

Clave:

- 1) Capa de aleurona
- 2) Coleoriza

B. Suspensor



de hidrólisis alcalina [36], seguido de la tinción con PAS [5], dieron resultados negativos [32]. También ha sido negativa la reacción con el reactivo sufraninafenol para la sílice [33].

Se encuentran azúcares en la mayoría de las células del germen y parecen estar ausentes en las células del pericarpio y la aleurona [4]. Se han encontrado glucosa y sucrosa en el escutelo [34]. Los hidratos de carbono¹⁶ se encuentran localizados principalmente en las paredes celulares y a veces en los citoplasmas (véase la figura 15). La pauta de distribución es común en las diversas zonas histológicas, aunque se presentan algunas diferencias. En el eje embrionario destaca la tinción intensa en la caliptra, la cutícula que recubre la epidermis y, en menor proporción, en la cutícula que circunda el coleóptilo. En general, los hidratos de carbono no se encuentran en el citoplasma de las células, pero en algunas preparaciones del eje embrionario se han detectado gránulos de almidón, que son redondeados y de tamaño variable, entre 0,5 y 5 μm . Están distribuidos irregularmente siendo más numerosos en la plúmula y el coleóptilo que en la radícula. Además, se ha identificado almidón en los tejidos que rodean el eje embrionario, en donde los gránulos son más numerosos, en el escutelo y la coleorriza. En los tejidos que rodean al eje embrionario, la tinción de las paredes celulares con PAS es más intensa en el epiblasto y coleorriza que en el escutelo. En las cubiertas exteriores del germen y en la capa de células aplastadas no se ha detectado almidón; se encuentran hidratos de carbono en las paredes celulares, pero no en el citoplasma [2, 32]. En el protoplasma celular de algunas preparaciones de germen se ha notado la presencia de material disperso que se tiñe con el PAS [2].

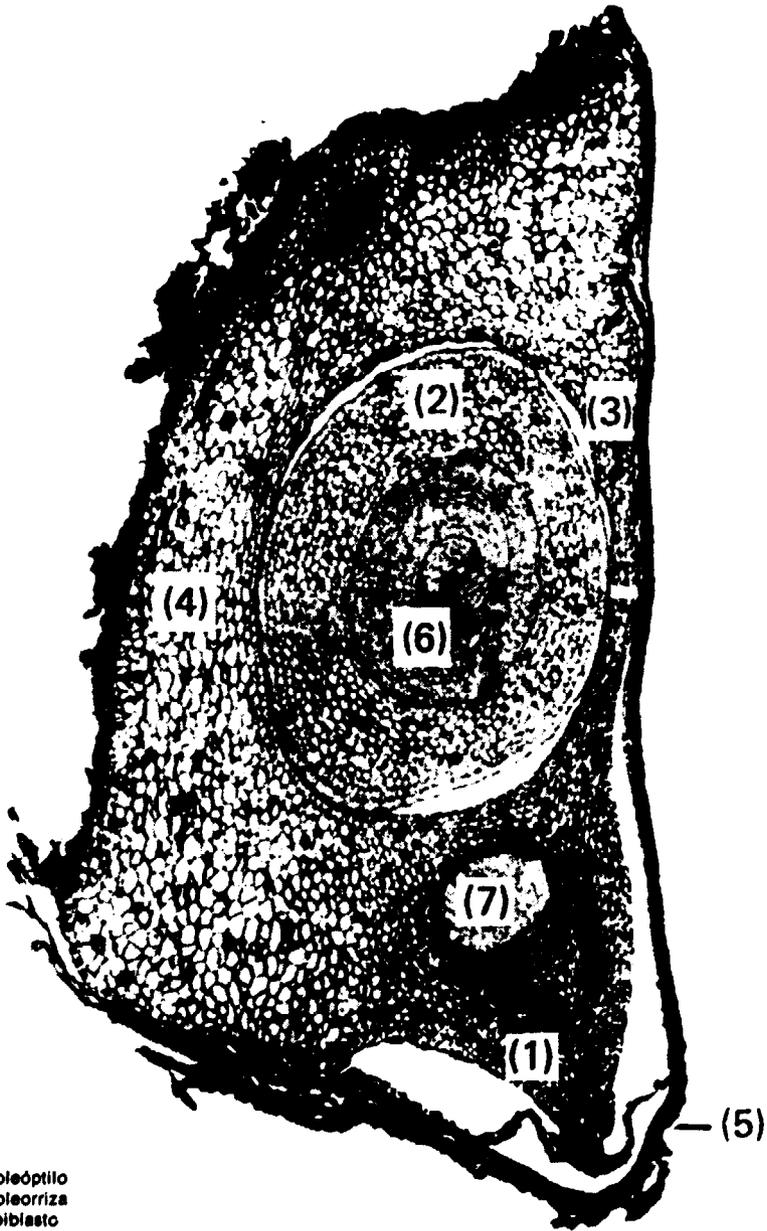
La celulosa se encuentra en las paredes celulares de todos los tejidos del germen. Fundamentalmente se halla en las cubiertas exteriores y en particular en el pericarpio [9, 32, 35].

Utilizando el reactivo de Schiff [36], se ha detectado lignina en la capa más externa del pericarpio (cubiertas exteriores del germen), pero este resultado no se ha confirmado [32] empleando las tinciones con floroglucinol y con cloruro sulfito [36].

Hay lípidos presentes en todos los tejidos del germen (véase la figura 15 y el cuadro 2) [23, 37]. En general, se encuentran lípidos en el citoplasma, en forma de glóbulos [4, 9, 23, 37, 38, 39], también llamados cuerpos grasos [23], de varios tamaños (0,1 a 1 μm). Los cuerpos grasos no están rodeados por una membrana, aunque tienen un borde fino denso a los electrones [23]. La distribución de los cuerpos grasos en las células puede utilizarse como base para clasificarlas en categorías [23]. En algunos casos, los cuerpos grasos están dispersos en el citoplasma (por ejemplo en las células parenquimáticas del coleóptilo, corteza y epiblasto), mientras que en otros son periféricos (por ejemplo, células epidérmicas del escutelo y del meristemo apical). En los tejidos del eje embrionario los lípidos no están distribuidos uniformemente (véanse las figuras 16 y 17). En el coleóptilo, los glóbulos de grasa son más abundantes que en la plúmula, el hipocotilo o la radícula. Los haces provasculares del coleóptilo muestran escasa reacción positiva al negro Sudán. Hay también

¹⁶Incluidos los hidratos de carbono que dan positiva la reacción al ácido periódico-PAS [5, 6]: almidón, celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas, glicoproteínas y glicolípidos. Los azúcares y algunos lípidos también dan la reacción del PAS [6], pero en su mayor parte se eliminan durante la preparación de las secciones.

Figura 15. Sección longitudinal del germen de arroz
(Ampliación $\times 88$; teñida con PAS para identificar carbohidratos)



Clave:

- 1) Coleóptilo
- 2) Coleorriza
- 3) Epiblasto
- 4) Escutelo
- 5) Pericarpio
- 6) Plúmula
- 7) Radícula

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [32].

Figura 16. Sección longitudinal del germen de arroz
(Ampliación $\times 90$; teñida con negro Sudán para identificar lípidos)



Fuente: Navarro (40).

Figura 17. Sección transversal de eje embrionario del germen de arroz
(Ampliación $\times 170$; teñida con negro Sudán para identificar lípidos)



Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [37].

diferencias en la radícula. En los tejidos que rodean al eje embrionario, el escutelo es más abundante que la coleorriza y el epiblasto. En las cubiertas exteriores del germen, abundan lípidos en la aleurona y en los citoplasmas, en donde se encuentran en forma de glóbulos (véase la figura 18). Cuando se tiñe la cubierta de la semilla con negro Sudán, se presentan en forma de una capa continua. El pericarpio y la capa de células aplastadas apenas se tiñen con ese reactivo [37] (véase la figura 19).

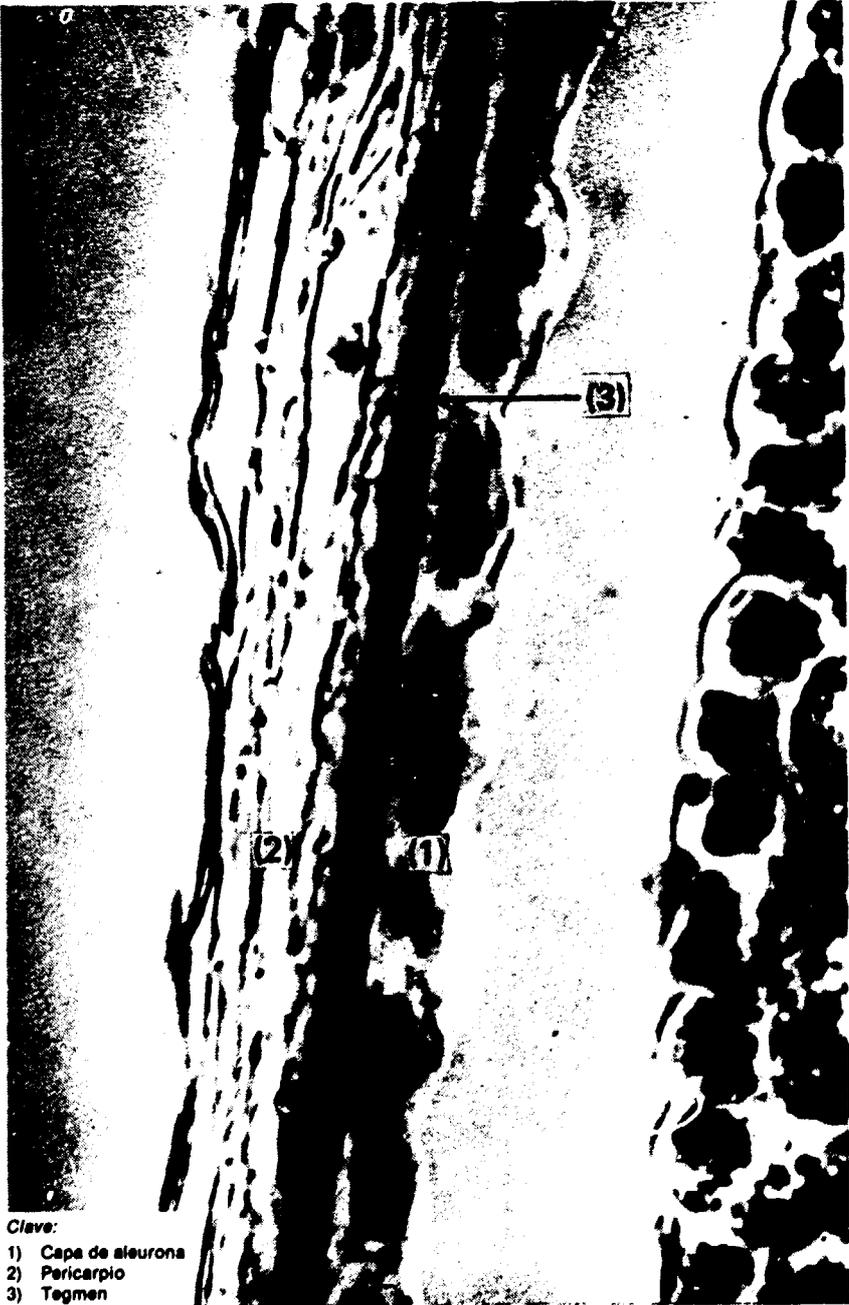
Se encuentran proteínas en la mayor parte de los tejidos del germen (véase el cuadro 2) [23, 37]. Están presentes en el citoplasma, en forma de gránulos discretos dispersos, y en el núcleo de la célula [37]. Se han detectado cuerpos proteicos prácticamente en todos los tejidos, excepto el provascular [23]. Las células del escutelo tienen partículas proteicas, de 2 a 3 μm de diámetro, que por sus proteínas y por su contenido en fósforo, magnesio y potasio son similares a los gránulos de aleurona en la capa aleurónica [24]. Al ultramicroscopio, las características de los cuerpos proteicos varían según el tipo del tejido de que se trate. Partiendo de estas diferencias y de la distribución de los cuerpos proteicos, se han determinado tres categorías de células parenquimáticas [23]: a) células con inclusiones densas a los electrones en los cuerpos proteicos y numerosos cuerpos grasos dispersos por el citoplasma (por ejemplo, las células parenquimáticas del escutelo); b) células con cuerpos proteicos o sin inclusiones densas a los electrones y cuerpos grasos periféricos (por ejemplo, células epidérmicas, excepto el meristemo apical); y c) células sin cuerpos proteicos y cuerpos grasos periféricos (por ejemplo, células del sistema provascular de la plúmula y la radícula).

En el eje embrionario, la tinción con cloruro mercúrico-azul de bromofenol [12] es más intensa en el coleóptilo y en la radícula que en la plúmula (véase la figura 20). El núcleo se tiñe más fuertemente que el citoplasma. En los tejidos que rodean al eje embrionario, las proteínas se presentan principalmente en forma de gránulos discretos de 0,5 a 2 μm . La mayor intensidad de tinción corresponde a la epidermis exterior del epiblasto y la de la coleorriza. Los haces provasculares se tiñen muy débilmente, y las cutículas no se tiñen en absoluto [37]. A diferencia de la aleurona que rodea al endospermo, que contiene proteínas en forma de gránulos discretos [41, 42], las células de aleurona en la cubierta exterior del germen, que contienen proteínas dispersas pero no gránulos discretos, aparecen teñidas [37, 41].

Se ha observado [37] que todos los tejidos del germen que contienen proteínas se tiñen con el amarillo de naftol S [43], que tiñe lisina, hidroxilisina, histidina, arginina y grupos amino terminales; con 2,2'-dihidroxi-6,6'-dinaftil-disulfuro (DDD) y azul diazo B [44], que tiñe los aminoácidos azufrados, y con DMAB-nitrito [45], específico para el triptófano.

En casi todos los tejidos del germen hay materiales inorgánicos (cenizas residuales de la incineración) (véase la figura 21). En general, se encuentran en el citoplasma y, en el caso del pericarpio, en las paredes celulares. En el eje embrionario abundan más en la plúmula y en la radícula que en el coleóptilo; en la plúmula están distribuidos uniformemente y en la radícula se concentran en el cilindro central, y están presentes en la cutícula que cubre la epidermis. En el escutelo abundan los materiales inorgánicos, particularmente en las zonas próximas al endospermo [37]. Las partículas proteicas del escutelo contienen una elevada proporción de sales de magnesio y de potasio del ácido fítico [24].

Figura 18. Cubiertas exteriores del germe de arroz
(Ampliación $\times 1.350$; teñida con negro Sudán para identificar lípidos)



Clave:

- 1) Capa de aleurona
- 2) Pericarpio
- 3) Tegmen

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [37].

Figura 19. Sección longitudinal del germen de arroz, mostrando las cubiertas exteriores (Ampliación $\times 1.350$; teñida con negro Sudán para identificar lípidos)



Clave:

- 1) Aleurona
- 2) Pericarpio
- 3) Tegmen

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [37].

Figura 20. Sección longitudinal del germen de arroz
(Ampliación X40; teñida con cloruro mercurico-azul de bromofenol para identificar proteínas)



Clave:

- 1) Coleorritza
- 2) Coleóptilo
- 3) Escutelo
- 4) Plúmula
- 5) Radícula

Fuente: Barber, Navarro y Tortosa [37].

Figura 21. Sección longitudinal del germen de arroz
(Ampliación $\times 90$; microincinerada y fotografiada en campo oscuro)



Fuente: Navarro [40].

Fibras

Las fibras proceden de los nudos de la base de la partícula. Aunque escasas, son conspicuas debido a su gran longitud, que en algunas pasa de 1 cm. Son acintadas y retorcidas y no muestran estructura celular definida; en los fragmentos identificados se han observado dos finas paredes con una cavidad intermedia, vacía, de unos 30 μm de anchura. Al igual que las fibras de las nervaduras de las glumas, reaccionan positivamente a la tinción con PAS para identificar carbohidratos. No se ha podido identificar proteínas, lípidos ni sílice, ya que no se tiñen con los reactores histoquímicos correspondientes [2].

Partículas discretas compuestas del salvado comercial

En el salvado comercial se han detectado las siguientes partículas compuestas: a) fragmentos de pericarpio con cubierta de la semilla; b) fragmentos de la cubierta de la semilla con capa de aleurona; c) fragmentos de pericarpio, cubierta de la semilla y capa de aleurona; d) fragmentos de pericarpio, capa de la semilla, capa de aleurona y endospermo amiláceo; e) fragmentos de endospermo amiláceo y capa de aleurona; f) fragmentos del germen y endospermo amiláceo, y g) fragmentos del germen, aleurona, cubierta de la semilla y pericarpio.

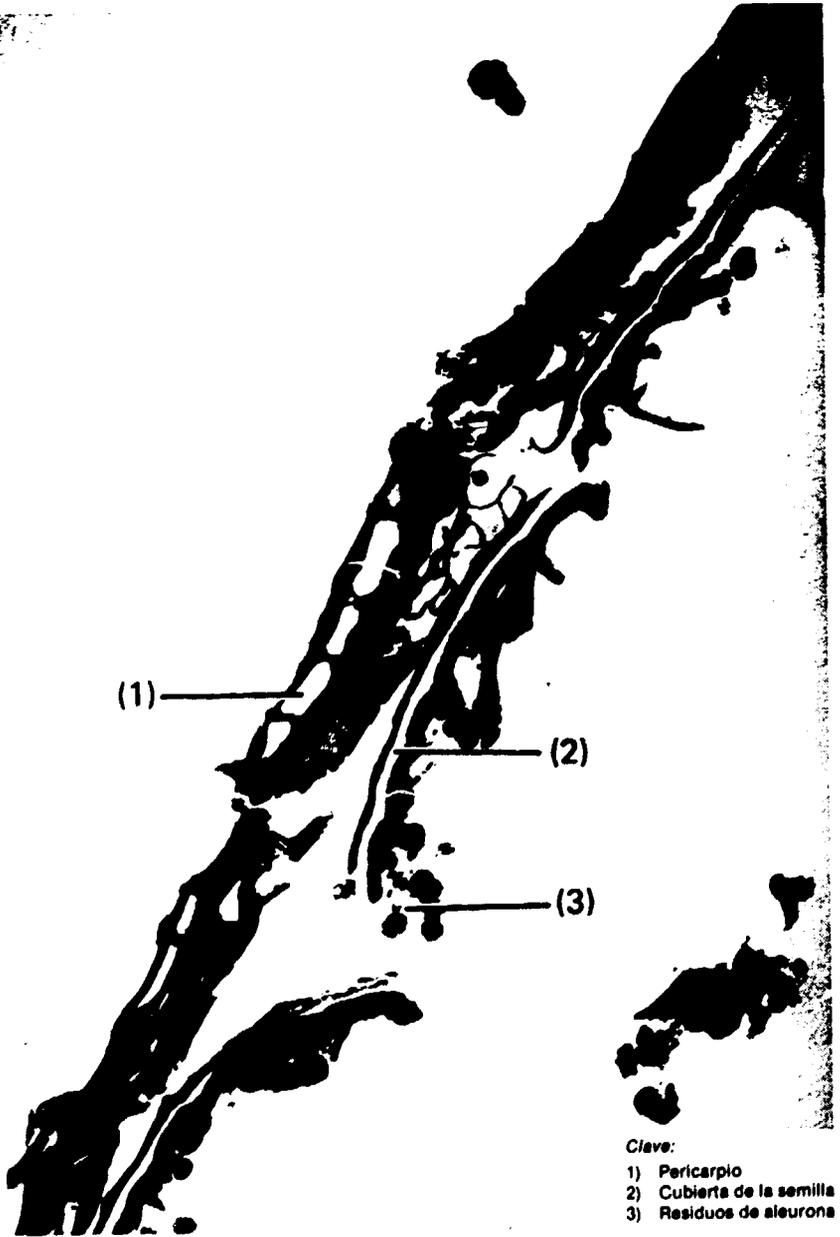
Fragmentos de pericarpio con cubierta de la semilla

Es éste uno de los tipos más corrientes de partícula en el salvado comercial (véase la figura 22), constituyendo lo que algunos autores denominan "salvado verdadero" [46].

Los fragmentos tienen forma de escamas, retorcidas o enrolladas, con la cara exterior lisa y lustrosa (superficie libre del pericarpio) y la interior áspera. Son generalmente alargadas y de diversos tamaños (la mayoría miden aproximadamente 300 μm). Los tejidos suelen estar comprimidos, presentando espesores de 10 a 15 μm ; a veces, se encuentran partículas mayores, especialmente cuando los tejidos están más esponjados. Esta calidad esponjosa es particularmente notable en la proximidad de la cresta. Al igual que ocurre con las partículas de pericarpio solo, las células del parénquima esponjoso de la hipodermis son difíciles de distinguir, pero en algunas partículas de estructura plana pueden observarse fácilmente. También son visibles las células cruzadas o transversales [2]. Las características histológicas del pericarpio se han descrito en el capítulo I *supra*. En las partículas de salvado comercial, la cubierta de la semilla y la cutícula están combinadas, junto con restos de nucela; algunas secciones de la cubierta de la semilla pueden tener interrupciones. Pericarpio y cubierta de semilla se encuentran compactamente unidos en toda su extensión. En algunas partículas, la cubierta de la semilla sólo está acompañada de la cutícula [2].

Ya se han descrito las características histoquímicas del pericarpio. La cubierta de la semilla, a excepción de la cutícula, se tiñe con reactivo PAS para carbohidratos y reacciona positivamente con el reactivo Hg-BPB para

Figura 22. Sección de una partícula compuesta de salvado comercial de arroz
(Ampliación $\times 470$)



Fuente: Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

proteínas. El lumen no se tiñe [1]. La celulosa es el principal componente de las paredes celulares [9]. La cutícula se tiñe intensamente con negro Sudán [1]. Little y Dawson [9] y Esau [4] han sugerido que su componente principal es la suberina. Los restos del tegumento interno y la nucela apenas se tiñen [1]; las paredes del tegumento interno están cutinizadas [14]. El tegumento y la nucela contienen lignina. No se ha detectado sílice en el pericarpio ni en la cubierta de la semilla [2].

Fragmentos de la cubierta de la semilla con capa de aleurona

Los fragmentos de la cubierta de la semilla con capa de aleurona son poco comunes en el salvado comercial. Sólo se han encontrado partículas con una única capa de células aleurónicas. Por lo general, ni la cubierta de la semilla ni sus capas componentes se desprenden en el curso de la molienda. Aunque botánicamente la capa de aleurona es endospermo, los fragmentos de la aleurona que se separan en la elaboración acompañan más frecuentemente a la cubierta de la semilla que al endospermo (véase el cuadro 1). El tamaño de los fragmentos varía entre 100 y 300 μm de longitud y 15 y 20 μm de anchura. La capa formada por la cubierta de la semilla mide 6 μm y la constituida por la aleurona alcanza hasta 10 μm [2]. En el capítulo I *supra* se ha descrito la histología de ambas capas.

La histoquímica de la cubierta de la semilla y la capa de ésta, así como de la porción de la aleurona del endospermo, indica la presencia de carbohidratos, proteínas, lípidos, lignina, vitaminas y materiales inorgánicos. Los carbohidratos están localizados en las paredes celulares y en el citoplasma. En este último se han encontrado gránulos de almidón que miden hasta casi 5 μm .

Aunque algunos autores sostienen que no hay almidón en la aleurona [4, 11], se ha indicado que pueden encontrarse gránulos de almidón en las células aleurónicas de los granos maduros [19]. Las paredes de las células de aleurona dan reacción positiva para la celulosa y para hemicelulosas o pectinas cuando se tiñen con yoduro-cloruro de zinc y rojo de rutenio respectivamente. Las proteínas, teñidas con el reactor Hg-BPB, se presentan en forma granular y en forma dispersa en el protoplasma. Las proteínas se presentan además formando una fina película alrededor de la pared celular [23]. La tinción con ferricianuro férrico para las proteínas también es positiva en la pared de las células aleurónicas [9]. Es difícil identificar el núcleo de las células [2, 17]. La distribución de los gránulos de aleurona no es uniforme [9]: el lumen de la región dorsal de la cariósida está compuesto en gran medida por gránulos aleurónicos, en tanto que otras células tienen un gran número de gránulos de almidón y, en particular, de glóbulos de grasa [23]. También se sabe desde hace bastante tiempo que hay glóbulos grasos en las células aleurónicas [4]. Una tenue película grasa rodea los gránulos de aleurona [9].

Otros tipos de partículas compuestas

La información sobre partículas compuestas de los tipos 3 a 7 indicados en el cuadro 1 puede resumirse como sigue (véase también la figura 23). Las

Figura 23. Preparación histológica de salvado comercial de arroz, mostrando varias partículas compuestas (Ampliación $\times 220$; teñida con PAS para identificar carbohidratos)



Clave:

- 1) Cubierta de la semilla
- 2) Aleurona
- 3) Endospermo
- 4) Pericarpio

Fuente. Barber, Pineda y Benedito de Barber [1].

partículas del tipo 3 están constituidas por pericarpio, cubierta de la semilla y aleurona. Se ha indicado que durante la elaboración se separan del grano más fácilmente del lado ventral que del lado dorsal [14]. El tamaño de las partículas varía entre $130 \times 50 \mu\text{m}$ y $560 \times 105 \mu\text{m}$. La mayoría de ellas tienen una o dos capas de células aleurónicas, aunque algunas presentan cinco a siete capas [2]. Esto se debe probablemente a que las variedades *Japónica* tienen una o dos capas de células en el lado ventral de la aleurona y entre cinco y siete capas en el lado dorsal [14] y también a la diferencia de resistencia a la abrasión de los dos lados del grano. Aunque en algunas partículas las células aleurónicas de la superficie están rotas, por lo general éstas y las del interior se conservan intactas. Hay partículas en las que la cutícula de la cubierta de la semilla aparece interrumpida.

Las partículas del tipo 4 no son muy abundantes; están constituidas por pericarpio, cubierta de la semilla, aleurona y endospermo amiláceo y su tamaño suele ser mayor que el de otras partículas, situándose entre $400 \times 260 \mu\text{m}$ y $735 \times 200 \mu\text{m}$. Su forma es irregular. Las células exteriores del endospermo amiláceo están rotas en su mayoría. Las partículas del tipo 5, que no son muy numerosas, se componen de endospermo amiláceo y aleurona. Suelen ser de forma redondeada y tamaño relativamente pequeño (menos de $95 \times 60 \mu\text{m}$). Las partículas del tipo 6 consisten en endospermo amiláceo y germen. Además del germen entero, al que están adheridas una serie de células endospermicas aplastadas, se incluyen también aquí fragmentos de germen con diferentes capas de células endospermicas adheridas. No obstante, por regla general, el germen es el componente más importante. Las partículas del tipo 7 están constituidas por germen, aleurona; cubierta de la semilla y pericarpio y son raras en el salvado comercial desgerminado. En cambio, son abundantes en el salvado que contiene el germen, ya que éste se separa de la cariósida con las diversas cubiertas mencionadas. También se pueden encontrar partículas que tienen la misma composición pero contienen tan solo un fragmento del germen cuya proporción depende del tipo de arroz y del proceso de molienda. Este último tipo de partícula raramente se encuentra en el salvado comercial de las variedades *Japónica* procedentes de molinos españoles. Cuando aparecen, se componen principalmente de epiblasto o de coleorriza, junto con fragmentos de las cubiertas del germen.

Las características histológicas e histoquímicas de los tejidos presentes en los distintos tipos de partículas citados coinciden con las descritas en apartados anteriores.

Referencias

1. S. Barber, J. A. Pineda y C. Benedito de Barber, "Histoquímica del salvado de arroz comercial", comunicación presentada al Congreso de la Real Sociedad Española de Física y Química, 75 Aniversario, 2-7 octubre 1978, Madrid, España.
2. J. A. Pineda, "Estudio histológico e histoquímico del salvado de arroz y su aplicación al proceso IATA de fraccionamiento del subproducto", tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1976.

3. D. F. Houston, "Rice hulls", Rice: Chemistry and Technology, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), cap. 12, pp. 301-352.
4. J. K. Santos, "Morphology of the flower and mature grain of Philippine rice", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, No. 4 (1933), pp. 475-503.
5. R. D. Hotchkiss, "A microchemical reaction resulting in the staining of polysaccharide structures in fixed tissue preparations", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, No. 16, 1948, p. 131-141.
6. A. G. E. Pearce, *Histochemistry, Theoretical and Applied*, 3a. ed. (Londres, Churchill, 1963).
7. A. C. Neish, "Coumarins, phenylpropanes and lignin", *Plant Biochemistry*, J. Bonner and J. E. Varner, eds. (Nueva York, Academic Press, 1955).
8. S. Yoshida, Y. Ohnishi y K. Kitagishi, "Histochemistry of silicon in rice plant; III. The presence of cutinsilica double layer in the epidermal tissue". *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 8, No. 2 (1962), pp. 1-5.
9. R. R. Little y E. H. Dawson, "Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels", *Food Research*, vol. 25, No. 5 (1960), pp. 611-622.
10. B. S. Sastry, M. Ramakrishna y M. R. Raghavendra Rao, "Histochemical localization of lipase in the rice grain", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 14, No. 6 (1977), pp. 273-274.
11. T. Chang y E. A. Bardenas, "The morphology and varietal characteristics of the rice plant", *Technical Bulletin*, No. 4 (Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1965).
12. D. Mazia, P. A. Brewer y A. Alfert, "The cytochemical staining and measurement of protein with mercuric bromophenol blue", *Biological Bulletin*, No. 104, 1953, pp. 57-67.
13. B. D. Juliano, A. A. Antonio y B. V. Esmana, "Effects of protein content on the distribution and properties of rice protein", *Journal of Science and Food Agriculture*, No. 24, 1973, pp. 295-306.
14. J. Cho, "Double fertilization in *Oryza Sativa L.* and development of the endosperm with special reference to the aleurone layer", *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences (Japón)*, Series D, No. 6, 1956.
15. H. Mitsuda y otros, "Studies on the proteinaceous subcellular particles in rice endosperm: electronmicroscopy and isolation", *Agricultural and Biological Chemistry Journal (Tokio)*, No. 31, 1967, p. 293.
16. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) caryopsis: The starchy endosperm", *American Journal of Botany*, No. 65, 1978, pp. 684-691.
17. A. R. del Rosario y otros, "Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 45, No. 3 (1968), pp. 225-235.
18. V. G. Scherbakov y otros, "Methods for isolation of protein bodies of rice endosperm", *Izvestiya Vysshikh Vchebnykh Zavedenii, Pishchevaya Tekhnologiyz*, No. 6, Krasnodav, Krasnodarskii Politeknicheskii Inst. (1973), pp. 126-129.
19. B. D. Juliano "The rice caryopsis and its composition", *Rice, Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), cap. 2, pp. 16-74.

20. S. Barber, L. Navarro y E. Tortosa, "Estudio histológico del germen de arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, No. 4 (1972), pp. 232-255.
21. J. J. C. Hinton, "The distribution of vitamin B₁ in the rice grain", *British Journal of Nutrition*, vol. 2, No. 2 (1948), pp. 237-241.
22. J. J. C. Hinton y B. Shaw, "The distribution of nicotinic acid in the rice grain", *British Journal of Nutrition*, vol. 8, No. 1 (1954), pp. 65-71.
23. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) caryopsis: The germ", *American Journal of Botany*, No. 65, 1978, pp. 75-85.
24. K. Tanaka, M. Ogawa y Z. Kasai, "The rice scutellum: studies by scanning electron microscopy and electron microprobe X-ray analysis", *Cereal Chemistry*, vol. 53, No. 5 (1976), pp. 643-649.
25. J. Cho, "The anatomical observation of the embryo in the rice", *Botanical Magazine (Tokio)*, LII/622, 1938, pp. 520-533.
26. K. Yasui, "The anatomy of the embryo and seedling of *Oryza Sativa* L., with special reference to the structure of cotyledon and mesocotyl", *Botanical Magazine (Tokio)*, No. 50, 1936, pp. 632-639.
27. D. Bradbury, M. M. McMasters y J. M. Cull, "Structure of the mature wheat kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 33, No. 6 (1956), pp. 329-391.
28. P. Albersheim y U. Killias, "Histochemical localization at the electron microscope level", *American Journal of Botany*, No. 50, 1963, pp. 732-745.
29. M. Gee, R. R. Reeve y R. M. McCready, "Reaction of hydroxylamine with pectinic acids: Chemical studies and histochemical estimation of the degree of sterification of pectic substances in fruit", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 7, No. 1 (1959), pp. 34-38.
30. R. M. Reeve, "A specific hydroxylamine-ferric chloride reaction for histochemical localization of pectin", *Stain Technology*, No. 34, 1959, pp. 209-211.
31. W. A. Jensen, "The composition of the developing primary wall in onion root tip cells. II. Cytochemical localization", *American Journal of Botany*, No. 47, 1960, pp. 287-295.
32. S. Barber, L. Navarro y E. Tortosa, "Histoquímica del germen de arroz: I. Hidratos de carbono", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, No. 4 (1972), pp. 597-608.
33. S. Yoshida, D. A. Forno y J. H. Cock, *Safranin-phenol Method for Detection of Silicified Cell in Rice Tissue*, Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice (Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, 1971).
34. T. Akazawa, "Enzymes in rice", en *Rice, Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).
35. R. R. Little, "Microscopic studies of rice (*Oryza Sativa* L.)", en *Proceedings of the Ninth International Botanical Congress*, vols. II y IIA, p. 232.
36. W. A. Jensen, *Botanical Histochemistry* (San Francisco, Freeman, 1962).
37. S. Barber, L. Navarro y E. Tortosa, "Histochemistry of rice embryo. II. Lipids, proteins, amino-acids and minerals", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 16, No. 4 (1976), pp. 516-530.
38. L. Borasio, "Della gemma del riso e della sua composizione chimica", *Gior. di Riscicoltura*, vol. 19, No. 1 (1929), p. 69.

39. J. Bouharmont, "Anatomical study of rice embryo and its germination", *Cellule*, vol. 66, No. 3 (1967), pp. 273-298.
40. L. Navarro, "Histología e histoquímica del germen de arroz", tesis doctoral, E.T.S.I.A. de Valencia, 1974.
41. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) Caryopsis; The caryopsis coat and the aleurone cells", *American Journal of Botany*, vol. 64, No. 8 (1977), pp. 965-973.
42. K. Tanaka y otros, "Subcellular particules isolated from aleurone of rice seeds", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, No. 155, 1973, pp. 136-143.
43. A. D. Deitch, *Laboratory Investigation*, No. 4, 1955, p. 324.
44. R. J. Barnett y A. M. Seligman, "Histochemical demonstration of protein-bound sulphhydryl groups", *Science*, No. 116, 1952, pp. 323-327.
45. C. W. M. Adams, "A p-dimethylamino-benzaldehyde-nitrite method for the histochemical demonstration of triptophane and related compounds", *Journal of Clinical Pathology*, No. 10, 1957, pp. 56-62.
46. D. F. Houston, "Rice bran and polish", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), cap. 11, pp. 272-300.
47. K. Esau, *Plant Anatomy* (Nueva York, John Wiley, 1965).

IV. El control de la producción de salvado de arroz

El control de la elaboración

En la práctica industrial, la cantidad de salvado que se separa del arroz durante la elaboración varía, generalmente, del 4% al 11% del peso del grano cáscara y del 5% al 13,5% del peso del grano descascarillado (véase el cuadro 1). La proporción varía según el país, el mercado y otras circunstancias¹. El arroz sancocado requiere menos elaboración que el crudo y la proporción del salvado no pasa por lo general del 6%. La proporción de salvado producido de arroz cáscara en el molino no equivale, generalmente, a la proporción de salvado real separado de la cariósipide, ya que el salvado puede contener cascarilla triturada (en el caso, por ejemplo, de molinos "huller" o de separadores de palay ineficientes) o fragmentos de endospermo (especialmente cuando se produce mucho grano partido). No obstante, la proporción de salvado producido del arroz cáscara es importante para el molinero a efectos de calcular el rendimiento. Ahora bien, la elaboración ha de evaluarse también en términos de sus consecuencias para el grano en sí y para la calidad de los subproductos. Sólo así se puede comprender y evaluar el proceso, lo que permitirá mejorarlo y conocer debidamente sus productos finales: el arroz blanco y el salvado. Pese a las muchas alternativas existentes, la práctica tradicional ha sido seguir la elaboración por la cantidad de salvado residual en el grano procesado, estimada por observación visual directa. Ésta es, sin duda, una forma muy parcial de evaluar el rendimiento de las máquinas y el comportamiento del grano. Hay que tener en cuenta otros aspectos. Por ejemplo, la observación directa del salvado, a pie de blanqueadora, proporciona una información complementaria muy útil². Hay que señalar que la elaboración es un proceso que no siempre transcurre de la misma manera o de acuerdo con los deseos del molinero. La cantidad de salvado que se separa no es siempre la misma; las capas del tejido celular pueden proceder de diferentes profundidades y también puede variar de tamaño y situación el área del grano del que se han separado. El producto final es más bien una mezcla heterogénea de partículas del grano.

¹Un estudio realizado en Tailandia (1), en el que se evaluaron los rendimientos de las diversas fracciones en más de 80 molinos de todo el país, indicó que las causas principales de variación de dichos rendimientos eran: a) la calidad del arroz palay; b) el tamaño, tipo y condición general del molino; c) el grado de elaboración o patrón de elaboración, y d) otros factores, tales como las condiciones ambientales y el método de control de la producción utilizado.

²Basta apelmazar entre las palmas de la mano una pequeña cantidad de salvado para detectar la presencia de defectos que de otro modo pasarían inadvertidos: por ejemplo, quebrados y hasta granos enteros, por rotura de rejilla, fragmentos de semillas extrañas por falta de limpieza, partículas de esmeril por desgaste, etc.

CUADRO I. CANTIDAD DE SALVADO QUE SE SEPARA DEL ARROZ DURANTE LA ELABORACIÓN, SEGÚN PAÍSES

<i>País</i>	<i>Gramos de salvado por 100 gramos de arroz cáscara</i>	<i>Fuente</i>
Colombia	8	Ospina [2]
	8-10	Jaramillo [3]
Costa Rica	9	Vargas y Murillo [4]
Egipto	8	Saunders y otros [5]
España	7-13	Rivero [6]
	7,4-11,1	Barber y Benedito de Barber [7]
Estados Unidos de América	9,7	Hunnell y Nowlin [20]
Filipinas	7	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
Guatemala	10	Elias y Bressant [9]
India	4-6	Brown [10]
	4,5-8,5	Chakrabarty, Bhattacharya y Vaidyanathan [11]
	4	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
	3-4 ^a	Raghvendra Rao, Narayana y Desikachar [12]
Indonesia	4	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
Irán		
(República Islámica del)	7-10	Kachru y Eghtedari [13]
Japón	7	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
República de Corea	7	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
	8,7-10,8	Kwon y Jo [14]
Liberia	4-6	Saunders y otros [5]
Malasia	4-5	Arnott y Lim [15]
	5,45-13	Van [16]
Mozambique	10,5	Berberan [17]
Pakistán	4	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
	6-7	Maqsood Ali, Abdul Haq y Hameed Khan [18]
	10	Khan [19]
Sri Lanka	4	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
	3,5	Comunicaciones privadas del sector industrial
Tailandia ^b	7	Reddy, Gariboldi y Joko [8]
Venezuela	11,5	Guerra y Jaffe [21]

^aFrecuentemente, cuando se trata de arroz elaborado para la Administración.

^bUn estudio realizado en más de 80 molinos de Tailandia arrojó los siguientes resultados: a) salvado de arroz descascarillado: 2,86% del arroz paly, con una variación de 1,95% a 3,87%; b) salvado blanco: 7,19% de arroz paly, con una variación de 5,08% a 9,16% [1].

Métodos para medir el grado de elaboración del arroz

El objetivo fundamental de la elaboración es liberar al endospermo amiláceo de sus cubiertas —incluido el germen¹— para mejorar el aspecto y aumentar la comestibilidad del grano. En países en los que el arroz es alimento básico, esta operación debe realizarse cuidando de perder el mínimo posible de nutrientes. Un período de elaboración más largo significa que será mayor la proporción de salvado y medianos, de precios más bajos que el grano entero, por lo que debe encontrarse un medio de eliminar subproductos innecesarios al

¹Un proceso especial deja el germen unido al arroz blanco elaborado, con objeto de aumentar su valor nutritivo.

tiempo que se siguen satisfaciendo los requisitos fundamentales de aspecto y comestibilidad. Otro objetivo importante, aunque menos evidente, es conseguir que la eliminación de las capas externas de la cariósida sea homogénea tanto en un mismo grano como entre granos dentro de una misma partida, lo cual no sólo tiene un efecto directo sobre el aspecto del producto resultante, sino que guarda relación directa con la estabilidad del mismo [22]. Afortunadamente, ninguno de estos requisitos choca con el objetivo final, que hasta la fecha ha sido generalmente ignorado: la producción de salvado de calidad.

Se han concebido muchos métodos para determinar el grado de elaboración y se han hecho varios intentos de poner al día la información disponible sobre el tema [23, 24, 25]. Los diversos métodos en uso pueden agruparse como sigue: a) procedimientos para determinar la cantidad de salvado separado o residual, y b) procedimientos para evaluar los efectos de la elaboración teniendo en cuenta los cambios de la composición química o de las características ópticas del producto elaborado final.

Métodos para calcular el salvado separado o el salvado residual

Es práctica habitual en el molino y en el laboratorio medir el porcentaje en peso de arroz (arroz cáscara o arroz cargo) separado como salvado; se usa por lo general arroz descascarillado con objeto de evitar los errores resultantes del diverso contenido de cáscara del arroz cáscara. Hay, no obstante, varios inconvenientes. Por ejemplo, es necesario disponer de una muestra representativa de arroz cáscara o arroz descascarillado y las condiciones de elaboración han de ser rigurosamente idénticas para que los resultados sean reproducibles y comparables. A menos que se cumplan esas condiciones, cantidades iguales de salvado no suponen blancura, valor nutritivo, comestibilidad o estabilidad semejantes, ni tampoco salvado de la misma calidad.

En cuanto a los métodos para determinar el salvado residual, se pueden mencionar varias alternativas: a) estimación visual del salvado por observación directa de los granos a simple vista o a través de instrumentos ópticos; b) estimación visual del salvado residual previa tinción de los granos de arroz, para resaltar las diferencias entre salvado y endospermo amiláceo, y c) colorimetría de los colorantes fijados o de los pigmentos desarrollados *in situ* o después de su extracción del grano.

El método más frecuente es la evaluación visual a simple vista, a veces con la ayuda de una lupa, comparando con muestras patrón. Lamentablemente sólo se recurre a la tinción diferencial a nivel de laboratorio. Se han ensayado las siguientes tinciones: indigo carmín y fucsina [26]; rojo Congo y azul de metileno [27]; Sudán III [28]; yodo [29]; eosina y azul de metileno como reactivo May-Grünwald [30]; y solución alcohólica alcalina [27, 31]. La interpretación de los resultados no deja de ser subjetiva y la comparación de muestras de arroz de tipos diferentes es difícil. Sin embargo, es mucho más segura que cuando se observan los granos sin teñir, ya que la tinción describe diferencias no apreciables en el otro caso.

La tinción de eosina y azul de metileno (reactivo May-Grünwald) [30] colorea de verde la capa más externa de salvado, de azul la capa más interna y de rosa el endospermo amiláceo. Requiere patrones de distinto grado de

elaboración y la evaluación es subjetiva, pero hace resaltar enormemente unas capas anatómicas de otras y es muy útil. La tinción con el reactivo May-Grünwald se ha utilizado como etapa previa de preparación del grano en el desarrollo de un método objetivo de medida del grado de elaboración [24]. Las áreas de las distintas zonas teñidas —verde o azul, en el caso del salvado, y rosa, en el caso del endospermo amiláceo— se miden por planimetría de las correspondientes imágenes planas ampliadas. El grado de elaboración se expresa como la proporción de la superficie del grano que queda cubierta por salvado, o índice de salvado coloreado (índice CBB). Los valores del índice CBB varían desde 100, en el caso del arroz descascarillado, a 0, en el caso del arroz completamente elaborado (véase la figura 1). Las muestras de arroz bien elaborado dan valores próximos a 5. El método proporciona una medida objetiva, muy exacta, del grado de elaboración y tiene una particular importancia porque, por primera vez, permite evaluar la homogeneidad de la elaboración. Se ha utilizado en varios laboratorios, pero, si bien se reconocen sus ventajas en términos de exactitud y evaluación de la homogeneidad, se coincide en general en que es demasiado complejo y lento, por lo que requiere ulterior mejora.

La extracción con disolvente de los colorantes fijados o pigmentos desarrollados [27, 31] depende de la disponibilidad de muestras representativas del arroz palay o del arroz descascarillado originales y, pese a su sencillez, tal vez sea todavía demasiado complejo el proceso para que los molineros lo utilicen corrientemente.

Métodos basados en los efectos de la separación del salvado sobre la composición química o sobre las características ópticas del arroz elaborado

Las capas anatómicas del arroz difieren en su composición química: la mayor parte de los constituyentes presentan un gradiente de concentración decreciente (o creciente primero y decreciente después) desde las regiones más externas de la cariósida a las más internas. Hay numerosos métodos de evaluación que se basan en la disminución progresiva de la concentración de un constituyente a medida que progresa la elaboración. Los diferentes constituyentes considerados en este sentido son: grasa [27, 32, 33]; cenizas [34] y minerales solubles [35]; sílice y fibra cruda [12]; proteínas [36]; fitina [37] y fósforo fitínico [38]; y tiamina [37]. Todos estos métodos exigen una ejecución cuidadosa y probablemente más tiempo que el que pueda dedicarles un molino de manera rutinaria. Algunos, por ejemplo los que utilizan grasa [39] y minerales solubles [35], se han simplificado mucho. No obstante, todos ellos tienen una desventaja fundamental: para ser de validez general, la concentración del constituyente utilizado o la relación entre su concentración en el arroz descascarado y el arroz elaborado deberían ser relativamente constantes para todas las variedades y lotes de arroz. Ahora bien, no es éste el caso. Además, los procesos a que se somete el arroz, que pueden cambiar la distribución de constituyentes en el grano (sancochado, por ejemplo), limitan su validez. Por último, dentro de un intervalo relativamente amplio de elaboración se obtiene la misma medida (véase la figura 2).

Los métodos basados en las características ópticas del grano utilizan la reflectancia o transmisión de los granos de arroz en la zona visible del espectro

Figura 1. Muestras de un mismo lote de arroz, elaboradas a diferentes grados y teñidas con el reactivo de Mny-Grünwald

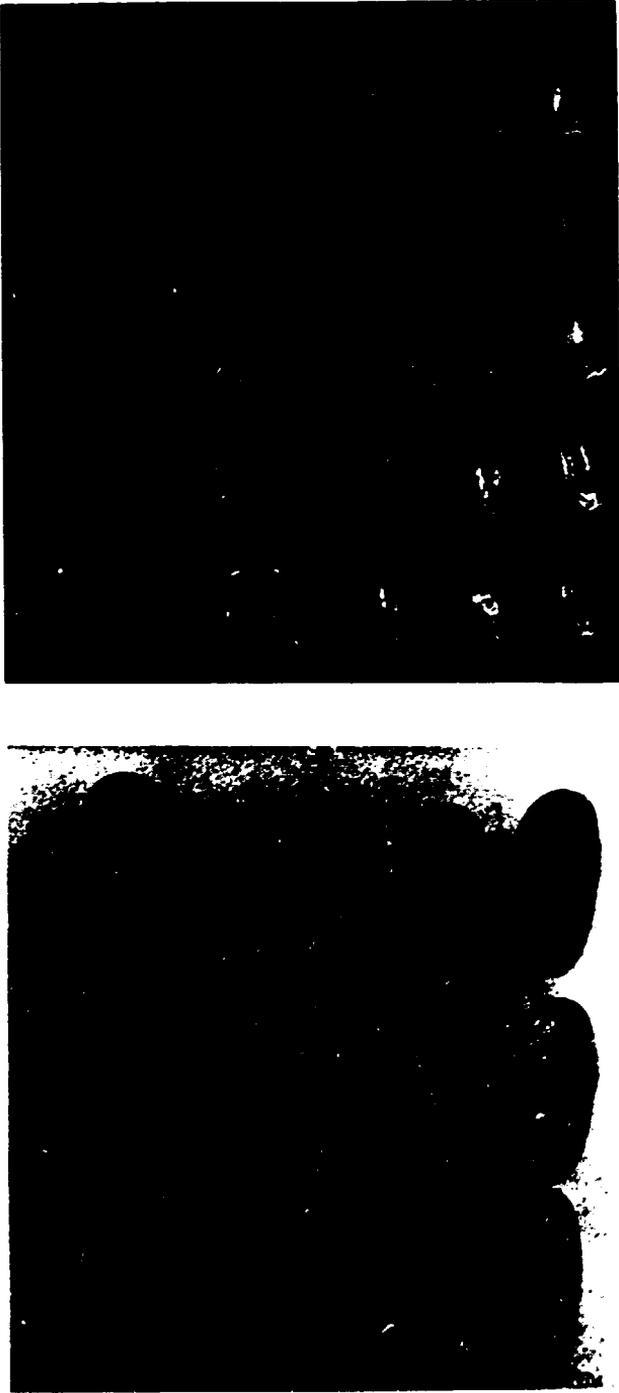
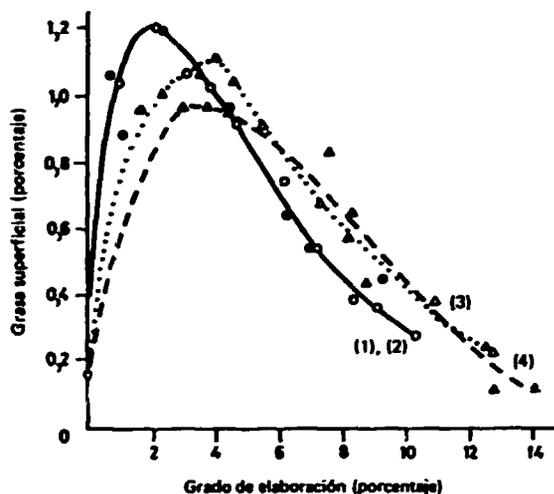


Figura 2. Variación del contenido en grasa superficial del arroz elaborado en distintas blanqueadoras, expresada en función del grado de elaboración



Clave:

- 1) Blanqueadora metálica McGill (O)
- 2) Blanqueadora metálica Satake (●)
- 3) Blanqueadora de esmeril Satake (Δ)
- 4) Blanqueadora de esmeril Minghetti (▲)

Fuente: Shams-ud-Din y Bhattacharya [43].

[26, 38, 40, 41, 42]. Debido a los efectos del color y de la estructura cristalina del propio arroz, que difieren de unas variedades a otras, sobre las lecturas obtenidas, estos métodos no pueden utilizarse ampliamente. Para evitar este problema se ha propuesto efectuar las lecturas a dos longitudes de onda diferentes: 600 nm (rojo lejano) y 850 nm (infrarrojo próximo). No obstante, las lecturas sufren la influencia de la humedad, de la presencia de granos anormales y de la edad del arroz elaborado.

Control de la producción de salvado

Los métodos descritos proporcionan medios prácticos de interés para seguir paso a paso la elaboración industrial y producir arroz y salvado de calidad, con rendimientos óptimos. Puede interesar también evaluar en pruebas de laboratorio el comportamiento durante la molienda de una determinada variedad o partida de arroz, para predecir la cantidad de salvado que producirá en la elaboración industrial y la facilidad con que se separará el germen, o para estudiar las características del salvado que se puede obtener. En este caso habría que tener en cuenta los factores siguientes: a) los antecedentes de la partida de arroz de que se trate; b) el tipo de molino experimental que se utilice, y c) las condiciones en que se realiza el ensayo de molienda. La muestra

de arroz que se vaya a ensayar, que debe ser representativa de la partida, habrá de estar completamente exenta de materias extrañas, para lo cual se emplearán procedimientos normalizados [45]. También debe ser adecuada la humedad del arroz. Si ésta es demasiado baja (menos del 12%, base húmeda), el arroz tenderá a romperse demasiado, por lo que el salvado resultará perjudicado. Las muestras deben utilizarse a la humedad recomendada para la elaboración industrial, que es aproximadamente del 13%. Una vez preparada la muestra, debe elegirse el molino experimental que mejor reproduzca el proceso industrial para el que el arroz de que se trate será destinado. En este sentido debe tenerse en cuenta que, por su diseño y forma de trabajo, hay varios tipos de molinos experimentales [45], que difieren en lo siguiente: a) el número de etapas del proceso, a saber, descascarillado y blanqueo en un solo paso, en una sola máquina, o en dos etapas diferentes con dos dispositivos distintos; b) el método de alimentar con arroz la máquina, es decir, por cargas, en corriente continua o utilizando una combinación de descascarilladora de alimentación continua y blanqueadora por cargas; y c) el principio de elaboración, a saber, utilizando una blanqueadora de tipo abrasivo o una blanqueadora de fricción. Hay muchos molinos de laboratorio que utilizan descascarilladoras de rodillos de goma, pero pocos simulan las condiciones de las descascarilladoras de discos de piedra.

Control de descascarillado

Se ha mencionado en otra parte que la cáscara se separa fácilmente de la carióspside apretando el grano entre las puntas (descascarilladora de discos de piedra) o entre los lados imprimiendo un cierto movimiento de cizalla (descascarilladora de rodillos de goma). Pero, a pesar de la facilidad con que lema y palea se abren y se separan, es grande el riesgo de que la carióspside resulte dañada. En la práctica industrial, las capas externas del grano son abradidas o dañadas y el germen, en mayor o menor proporción, arrancado. El resultado es que, si el arroz descascarado no se blanquea inmediatamente (por ejemplo, si tiene que transportarse), se deteriora. Como consecuencia de la abrasión de las capas externas, la lipasa actúa como los lípidos, hidrolizándolos, y el oxígeno, con el apoyo de otras enzimas como la lipoxigenasa, los oxida. Aparte de que el arroz como producto fundamental pierde calidad, el salvado que se producirá al elaborar el arroz cáscara tendrá una acidez muy elevada ya a pie de molino. La eliminación del germen repercute también en la calidad del salvado. La abrasión y la separación de germen en la etapa del descascarillado puede representar una pérdida del 1,5% al 2% en peso del grano.

La tinción con el reactivo de May-Grünwald, que ha sido descrita detalladamente por la FAO [30], proporciona un medio sencillo y rápido para detectar los efectos del descascarillado [7], de forma que se pueden ir corrigiendo el ajuste y las condiciones de las máquinas en pleno proceso. La carióspside se tiñe de verde si no ha sufrido daño alguno, o de azul en los lugares en que las capas externas del salvado han resultado dañadas. El germen también se tiñe de azul si ha quedado fraccionado. Se tiñe de rosa donde el endospermo amiláceo queda al descubierto por eliminación de todas las capas de salvado o del germen. La carióspside resulta siempre dañada cuando se

utilizan descascarilladoras de disco, pero la máquina puede ajustarse para producir el mínimo daño manteniendo una eficacia industrialmente aceptable. Con las descascarilladoras de rodillos de goma puede evitarse todo tipo de daño y producir arroz descascarado de excelente calidad de conservación⁴. Sin embargo, las descascarilladoras de este tipo, por el desgaste de los rodillos, con frecuencia trabajan en condiciones inferiores a las óptimas. En cualquier caso, la carióspside sufre un daño en mayor o menor proporción. Para evaluar el daño ha dado también buen resultado la tinción con índigo carmín y fucsina [26]. El índigo tiñe el salvado de rojo y el germen de amarillo, si no está dañado, o de rojo, si sólo se ha separado parte de él. La aplicación de este método permitió detectar un 10% de granos con germen dañado en una muestra de la variedad Bluebonnet y 27% en otra de variedad Zenith al pasar por la descascarilladora de piedra, y prácticamente ninguna modificación al pasar por la descascarilladora de goma McGill.

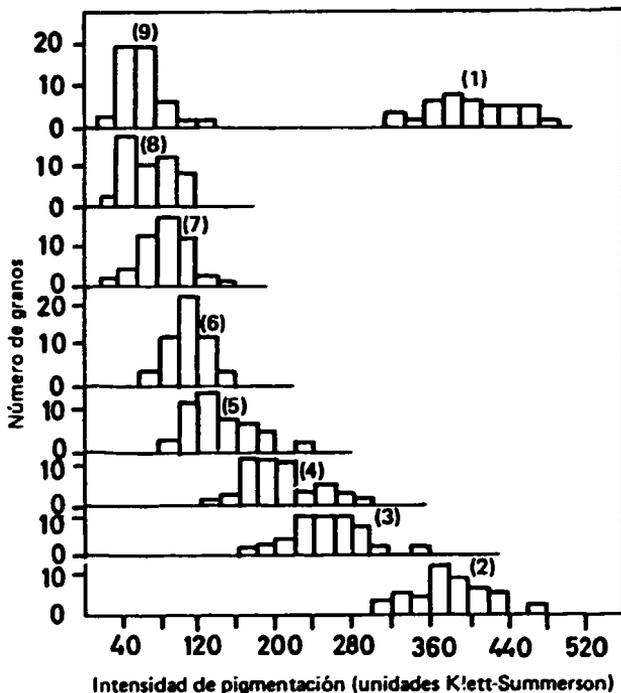
Control del blanqueo

Srirangarajan y otros [47] han estudiado las variaciones de la cantidad de salvado residual en los granos de arroz, en diferentes etapas sucesivas del blanqueo, en un cono abrasivo comercial. Utilizaron una variedad de pericarpio rojo. De cada uno de los granos de siete muestras de 50 granos, tomadas de cada una de las siete etapas en que se subdividió el proceso de blanqueo, hicieron un extracto utilizando 3 ml de bicarbonato sódico al 2%, hirviendo, durante 20 minutos; el extracto, enrasado de nuevo a 3 ml y filtrado, se llevó a un colorímetro, y las lecturas se recalcularon para un peso medio de 25 mg a fin de hacerlas comparables. Los datos (véase la figura 3) mostraron una gran disparidad de eliminación de salvado de cada grano en todas y cada una de las etapas del blanqueo.

Con variedades de pericarpio normal (no coloreado), y empleando el método del índice CBB, se ha obtenido también clara evidencia de falta de uniformidad en el grado de elaboración entre granos de la misma partida en la misma etapa del proceso de blanqueo. Esto significa, naturalmente, que se encontrará un alto porcentaje de granos del mismo grado de elaboración en muestras tomadas de diferentes etapas del proceso [24] (véase la figura 4). De los resultados de esas pruebas se pueden sacar dos conclusiones importantes. En primer lugar, incluso en los dos primeros conos (de un total de cinco), se produce un elevado porcentaje de granos que han perdido más de las tres cuartas partes de su salvado, y que en los conos sucesivos perderán también endospermo amiláceo, incorporando al subproducto un componente menos rico en aceite. En segundo lugar, esta falta de uniformidad en la misma etapa de blanqueo varía notablemente de un molino a otro, dependiendo de las condiciones en que se elaboran los granos, la variedad de arroz de que se trate y otras circunstancias. En general, el grado de contaminación de salvado por endospermo amiláceo está en proporción directa con la falta de uniformidad en cada etapa del proceso de blanqueo.

⁴Houston, McComb y Kester [46] han demostrado que el arroz descascarado de las descascarilladoras de rodillos de goma se conservaba mejor que el de las descascarilladoras de piedra. Antes de la introducción de los rodillos de goma en la India, el arroz ni siquiera se conservaba durante dos meses.

Figura 3. Histogramas de la intensidad de pigmentación del salvado residual en granos de arroz separados, en diferentes grados de elaboración



Clave:

- 1) Descascarillado a mano
- 2) Descascarillado mecánicamente
- 3) a 9) Elaborado a diferentes grados en cono de blanqueo

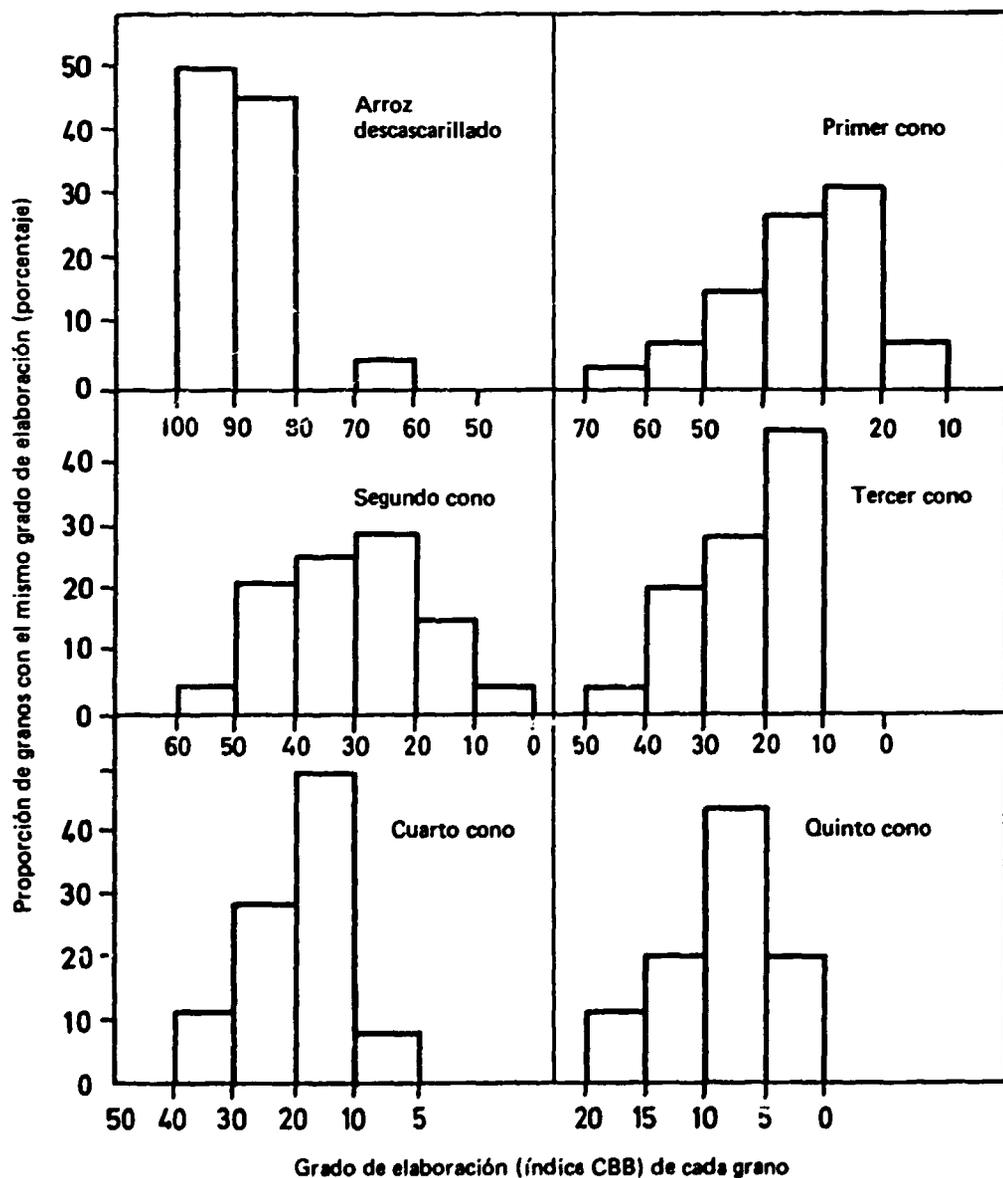
Fuente: A. N. Srirangaraian y otros [47].

Salvado de arroz, fracciones y subproductos afines: nomenclatura y definiciones

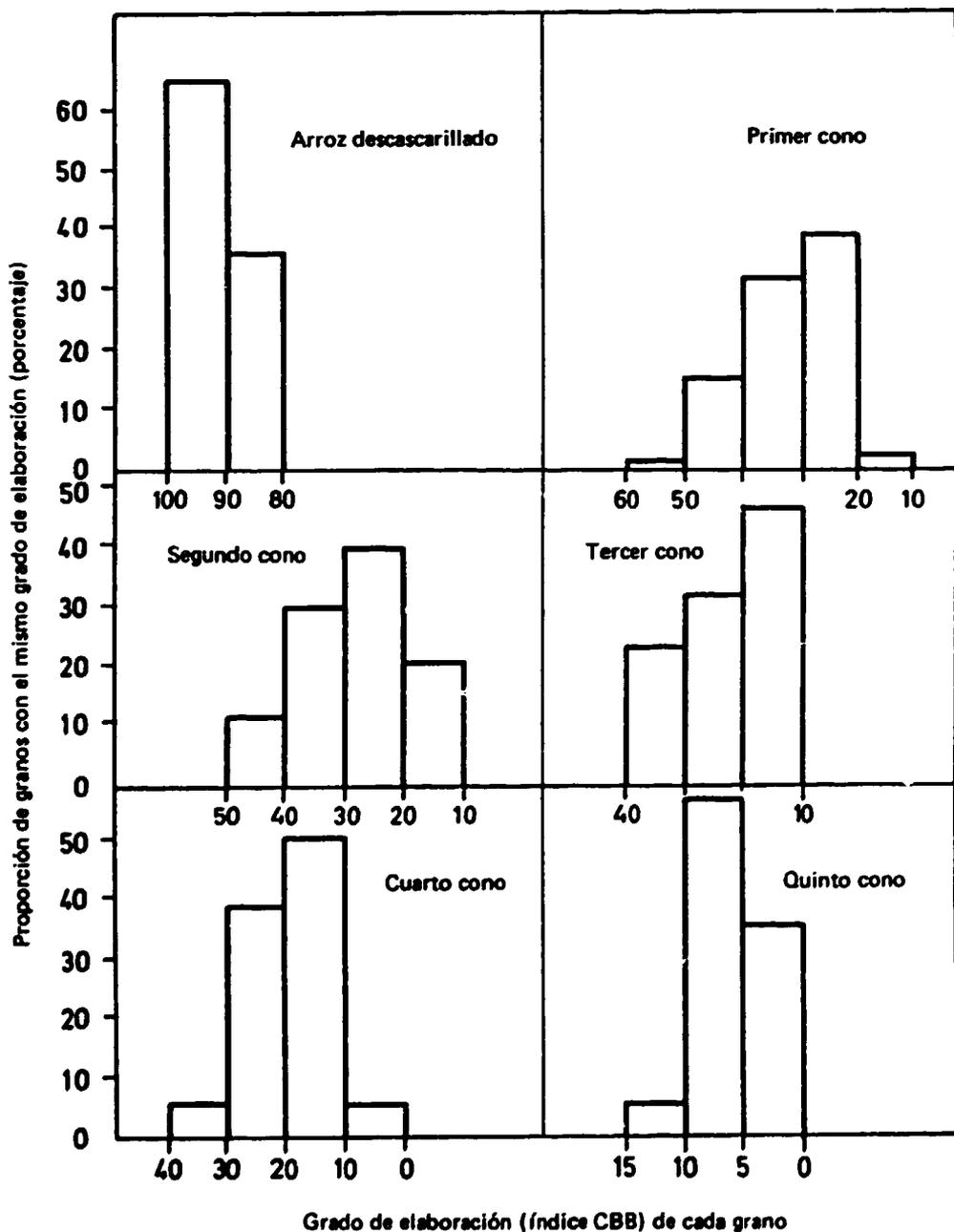
El salvado es un subproducto resultante de la elaboración del arroz. Aun cuando el proceso, que consiste en eliminar ciertas cubiertas externas de la cariósida, es fundamentalmente el mismo en todos los casos, puede realizarse de diversas maneras, algunas de las cuales tienen influencia esencial sobre las características del producto resultante. El salvado que se produce puede tener propiedades muy diferentes, cuya particular identidad conviene diferenciar y mantener. Ahora bien, la variedad de productos va a veces acompañada por una profusión de términos utilizados para designar un único producto, lo cual crea gran confusión, particularmente a nivel internacional, y tiene serias consecuencias al hacer uso de la bibliografía especializada. Por ejemplo, los datos publicados sobre el "salvado comercial" procedente de los molinos españoles no siempre pueden interpretarse debidamente fuera de España, ya que el germen se separó del producto industrial antes de salir del molino. En cualquier caso, no existe molino, por perfecto que sea, que pueda separar capas

Figura 4. Uniformidad de la elaboración del arroz al final de etapas sucesivas del proceso de blanqueo

A. Molino industrial A



B. Molino industrial B



anatómicas del grano determinadas previamente. Ello impide establecer definiciones rígidas para los diversos productos de la molienda, y obliga a recurrir a clasificaciones más o menos arbitrarias. En el cuadro 2 se resumen las denominaciones más importantes o más frecuentes del salvado, fracciones de salvado y subproductos afines, todas las cuales se definen en los párrafos siguientes.

CUADRO 2. TIPOS DE SALVADO Y FRACCIONES: COMPONENTES Y SU NOMENCLATURA EN ESPAÑOL E INGLÉS

Producto	Pericarpio, tegmen, cubierta de la semilla		Aleurona	Endos- permo amiláceo	Germen	Impurezas
	Cascarilla					
Salvado de descascarilladora de piedra (<i>hulling bran from disc huller</i>) ^a	+	+	o	tr	+	×
Salvado (<i>bran</i>)	×	+	+	+	+	×
Salvado desgerminado (<i>bran with germ removed</i>)	×	+	+	+	o	×
Germen (<i>germ</i>)	×	tr		o	+	×
Harina cilindro (<i>white bran</i>) ^b	×	tr	+	+	tr	×
Harina de pulidora (<i>polish</i>)	×		+	+		×
Salvado de molino "huller" (<i>bran from huller-type mill</i>) ^c	+	o	o	o	o	×
Salvado verdadero (<i>true bran</i>)		+				

Nota: + Componente importante, o Componente secundario, tr Trazas, × Proporción que varía según el tipo de arroz, procedimiento de elaboración, etc.

^aEl salvado procedente de descascarilladoras de rodillos de goma consiste principalmente en cáscara e impurezas.

^bLlamada también en inglés *polish* o *polishings from whiteners*.

^cMolino "huller" de un solo paso.

Salvado de descascarilladoras⁵

El salvado de descascarilladora es el salvado obtenido al descascarar el arroz palay. Puede proceder de descascarilladoras con discos abrasivos o con rodillos de goma. En el primer caso, el salvado está constituido fundamentalmente por fragmentos de cascarilla, pericarpio y germen; incluye además una pequeña proporción de tegmen, aleurona y trazas de endospermo amiláceo, y contiene abundantes impurezas. El salvado procedente de descascarilladoras de rodillos de goma está formado fundamentalmente por fragmentos de cascarilla e impurezas, con una mínima proporción de pericarpio. Generalmente, estas fracciones se mezclan con el salvado procedente de las blanqueadoras (véase más adelante) para hacerlas comercialmente aceptables. Entre otros nombres se usa el de "salvado de descascarado" (*dehusking bran*) [48]. En ciertas zonas de México se le llama simplemente "salvado" para distinguirlo del subproducto obtenido del blanqueo que se denomina "puliduras o harina de pulido" (*polishings* o *polisher flour*).

⁵Las máquinas utilizadas para separar la cascarilla del arroz palay tienen diferentes nombres en inglés: *hullers*, *huskers*, *dehuskers*, *shellers*, *hulling mills*.

Salvado

El salvado es el subproducto obtenido al blanquear el arroz descascarado. Está constituido en su mayor parte por pericarpio, tegmen, aleurona, germen entero y germen triturado y endospermo amiláceo en polvo o fragmentos pequeños; incluye cascarilla e impurezas en proporción variable. Cuando el término se emplea diferenciado del de "harina cilindro", se refiere al subproducto obtenido en las primeras (sin definir) etapas del blanqueo⁶. En la práctica, la demanda de harina cilindro suele ser muy inferior a la producción real y en muchos países este subproducto ni siquiera se comercializa. En consecuencia, la harina cilindro y el salvado se suelen mezclar en las mismas proporciones en las que se producen en el proceso y se ofrecen comercialmente como un subproducto único bajo la denominación general de "salvado". Otras denominaciones en español son: *afrecho* (que es sinónimo de salvado) [48]; *puliduras* y *pulido de arroz*, en México; *polvillo* en Perú; *polvo de arroz*, en Cuba; *harina de pulimento* en Colombia, y *semolina de arroz*, en Costa Rica. En Filipinas se utilizan los términos *darak* y *tikitiki*.

Salvado desgerminado

El salvado desgerminado es un salvado al que se le ha extraído, por tamización y aspiración neumática, el germen entero y parte de los fragmentos de endospermo no pulverulentos. Siempre posee algo de germen entero de pequeño tamaño y germen triturado.

Germen

Es el germen del arroz, desprendido en el proceso de elaboración como parte del salvado del que luego se separa. Aparece entero en su mayor parte, aunque también puede incluir germen triturado, fragmentos de endospermo amiláceo (entre un 15% y un 30%) y algunas cascarillas e impurezas. Otras denominaciones: embrión y, en España, *morret*.

Harina cilindro⁷

La harina cilindro es el subproducto obtenido en las últimas etapas del blanqueo. Es un producto harinoso blanquecino, de tacto suave, algo fibroso, constituido en su mayor parte por endospermo amiláceo y aleurona, con restos de pericarpio, tegmen y germen triturado. Contiene muy poca cascarilla o impurezas, si es que las contiene. Se suele comercializar mezclado con el salvado (véase *supra*). Otras denominaciones son cilindro y salvado cilindro.

Se puede distinguir el cilindro de diferentes blanqueadoras, añadiendo a continuación del nombre el número de la etapa de blanqueo: cilindro de cuarto cono, por ejemplo. En inglés se habla de *rice polish* o *polishings*, aunque esta última denominación abarca también el subproducto de la cepilladora (véase *infra*).

⁶La FAO lo ha definido como "un subproducto de la elaboración del arroz, consistente en las capas de salvado más externas del grano con parte del germen".

⁷Definida por la FAO como "el subproducto de la elaboración del arroz consistente en las capas internas de salvado con parte del germen y una pequeña porción del interior amiláceo".

Harina de pulidora¹

La harina de pulidora procede exclusivamente de la pulidora-abrillantadora de cuero o similar (véase *supra*). Prácticamente, contiene sólo endospermo amiláceo y aleurona; de ordinario, no hay cascarilla ni impurezas.

Salvado de molino "huller"

El salvado de molino "huller" de una sola etapa es una mezcla de cascarilla más o menos triturada y partículas de todas las cubiertas externas (incluido el germen) y de endospermo amiláceo. Es abundante en medianos menudos y en impurezas. Se conoce en Filipinas con el nombre de *kiskis* [50].

Utilizando telas de tamaños variables se puede tamizar este producto para producir dos fracciones: salvado grueso y salvado fino. En la primera fracción predominan los fragmentos de cascarillas de mayor tamaño. En cualquier caso, los componentes dependen no sólo del molino y del arroz utilizados, sino también de la malla y eficacia de la tamización final.

Salvado verdadero

"Salvado verdadero" es una denominación que utilizan ciertos autores para describir la fracción de salvado integrada por las capas de pericarpio, tegmen y cubiertas de la semilla. No se obtiene industrialmente.

Otras fracciones

El aire de refrigeración de las blanqueadoras arrastra partículas de salvado que se recuperan, generalmente utilizando un ciclón. La composición de la harina de ciclón es muy variable. Depende de las corrientes que recoge y del número y tipo de máquinas que la producen.

Factores que determinan las características del salvado

No hay ninguna blanqueadora que sea capaz de separar una a una las distintas capas anatómicas de la zona externa de la carióspside y en todos los granos al mismo tiempo. Una razón es que el blanqueo es una operación en la que la oportunidad de entrar en contacto con la superficie abrasiva o recibir una fricción determinada no es exactamente la misma para todos los granos. Otras causas se derivan del propio grano. Entre variedades, y aun dentro de una misma partida, los granos de arroz difieren sensiblemente unos de otros en sus características anatómicas, físicas y químicas. Algunas de sus causas se solapan entre sí y el resultado final no es sino el efecto combinado que

¹Máquina denominada también pulimentadora o cepilladora [49]. En ciertos países, las blanqueadoras reciben el nombre de pulidoras, lo que genera confusión con el nombre de los subproductos.

difícilmente deja ver la influencia de los componentes. Por eso parece aconsejable hacer un análisis sistemático detallado de todos los factores que influyen en las características del salvado que se produce en la industria. A tal efecto, se clasifican en dos grupos: *a)* factores asociados al arroz y *b)* factores asociados al proceso de elaboración. Uno y otro grupo pueden subdividirse de la manera siguiente:

A. Factores asociados al arroz

1. **Anatomo-morfológicos**
 - a)* Tamaño y forma del grano
 - b)* Capas anatómicas
2. **Mecánicos**
 - a)* Resistencia del grano a la abrasión y la fricción
 - b)* Resistencia del grano a la rotura
 - c)* Facilidad de separación del germen
3. **Químicos**
 - a)* Composición química media
 - b)* Distribución de constituyentes
 - c)* Granos con defectos
4. **De salubridad**
 - a)* Contaminantes físicos
 - b)* Contaminantes químicos
 - c)* Contaminantes biológicos

B. Factores asociados al proceso

1. **Operaciones preliminares**
 - a)* Limpia
 - b)* Clasificación
2. **Etapas de elaboración**

Etapa única frente a etapas múltiples
3. **Maquinaria y condiciones de trabajo**
 - a)* Descascarilladoras
 - b)* Separadoras de arroz palay
 - c)* Deschinadoras
 - d)* Blanqueadoras
 - e)* Clasificadoras

Estos grupos y subgrupos se examinan detalladamente en los siguientes párrafos.

Factores asociados al arroz

Características anatomo-morfológicas del grano

Cabe distinguir: *a)* tamaño y forma del grano y *b)* dimensiones de las capas anatómicas.

Tamaño y forma

El tamaño (longitud), la forma (relación entre longitud y anchura) y el peso del grano de arroz descascarado de las variedades comerciales varían notablemente de unas a otras (véase el cuadro 3). Los valores máximo y mínimo —longitud 5,4 a 7,5 mm, relación longitud y anchura 1,8 a 3,6 y peso 16 a 24 mg para variedades de arroz de los Estados Unidos [51]— revelan un amplio campo de variación tanto en el índice de esfericidad como en la relación superficie y peso, teniendo en cuenta que las variedades de grano largo tienen los pesos más bajos. En el supuesto de que otras características fueran iguales (espesor de la capa de salvado, tamaño del germen, etc.), los granos menos esféricos y de mayor relación superficie/peso darían mayor cantidad de salvado. No parece que la influencia de estos factores haya sido objeto de estudio hasta la fecha. Una gran variedad de tamaños del arroz palay disminuirá la eficacia de la descascarilladora y si no hay separadora de palay o ésta no trabaja bien, habrá una proporción considerable de arroz cáscara cuando se inicie el proceso de blanqueo.

CUADRO 3. TAMAÑO, FORMA Y PESO DE LAS VARIEDADES COMERCIALES DE ARROZ DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

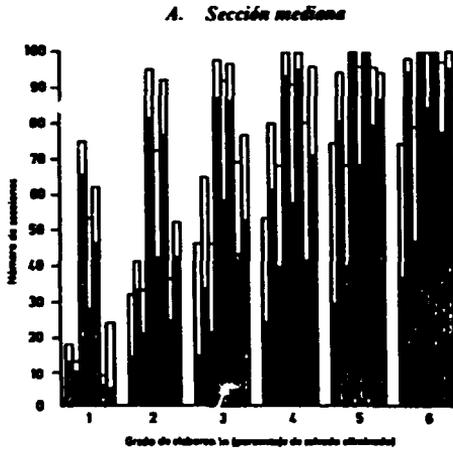
Tipo de grano	Longitud media (milímetros)	Relación media longitud/anchura	Peso medio (miligramos)
Largo	7,0-7,5	3,4-3,6	16-20
Medio	5,9-6,1	2,2-2,4	18-22
Corto	5,4-5,5	1,8-2,0	22-24

Fuente: Webb [51].

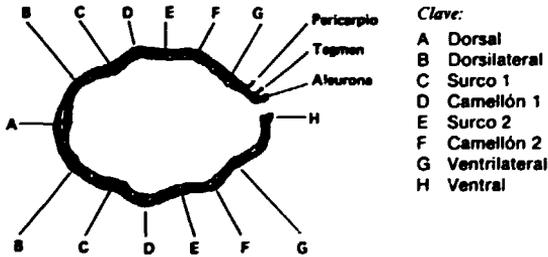
El grano de arroz se ha descrito como un cilindro cono-elíptico, o un paraboloide de revolución, con surcos y camellones sobre la superficie, razón por la cual la separación del salvado no es uniforme en toda su superficie. Un estudio microscópico de los efectos del blanqueo (empleando McGill No. 3) en diferentes zonas del grano [52] (véase la figura 5) ha demostrado que: *a)* el camellón más prominente sufre un efecto abrasivo mayor, con una correspondiente pérdida superior de salvado, que otros puntos de la superficie; *b)* los surcos sufren menor pérdida de salvado; *c)* el efecto abrasivo es menor en la zona dorsal del grano que en la ventral, y *d)* la porción central del grano experimenta menor cambio que los extremos.

Las diferencias entre variedades o partidas de arroz por lo que respecta a las propiedades morfológicas señaladas se traducen en diferencias en el salvado

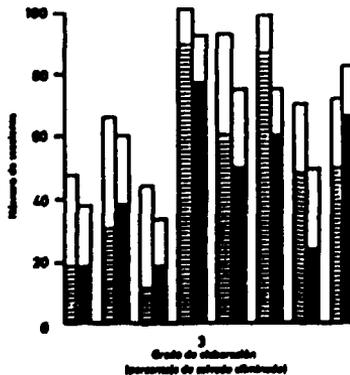
Figura 5. Histograma que representa la variación del porcentaje de secciones con capas de salvado y de aleurona eliminadas, en diferentes grados de elaboración



Nota: Las ocho barras de izquierda a derecha en cada grupo corresponden respectivamente a las porciones designadas con las letras A a H en el corte transversal del grano de arroz que figuran a continuación:



B. Comparación de la sección mediana y la más distante al centro



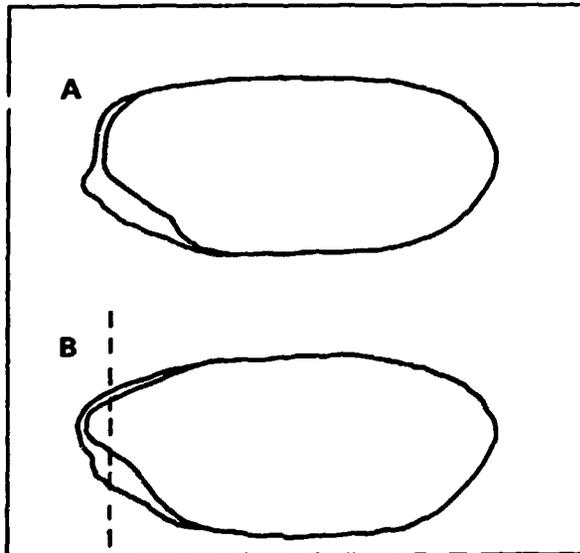
Nota: En las secciones más distantes del centro el salvado se representa por □ y la aleurona por ■; en las secciones medianas el salvado se representa por □ y la aleurona por ■.

Fuente: Srinivas y Desikachar [52].

producido. Así, por ejemplo, la presencia de surcos profundos obliga al molinero a prolongar la elaboración para dejar un arroz tan blanco como el usual. En consecuencia, se incorpora mucho más endospermo amiláceo al salvado, tanto por la abrasión más profunda como por la de los medianos adicionales que se producen.

Un caso típico de formas pronunciadas, aunque normales, es el de los granos en que el extremo inferior del endospermo amiláceo sobresale (véase la figura 6). La punta larga, que debe considerarse un defecto, se rompe fácilmente en el blanqueo y esto tiende a engrosar la fracción de quebrado muy menudo, la del germen, o la del propio salvado.

Figura 6. Proyecciones que produce la elaboración



Nota: El porcentaje de puntas que se produce en la elaboración depende de la forma de la carióspside. La forma A es más resistente a la rotura que la forma B.

Capas anatómicas

Como ya se ha indicado en otro lugar, es variable el número de capas celulares del salvado. Las variedades de grano corto oblongo tienen generalmente más capas celulares aleurónicas que las de grano largo. Las variedades de tierras altas tienen más capas en el lado dorsal y en el ventral que las de tierras bajas. Las temperaturas altas durante la maduración también aumentan el número de capas celulares de la aleurona, aunque solamente en el lado dorsal. En un estudio realizado con 40 variedades, que incluían las subespecies *Índica* y *Japónica*, así como híbridos [53], se han evaluado los intervalos de variación del espesor de la capa externa del salvado y de la aleurona en diversas zonas del grano: dorsal, lateral, central y en los extremos (véanse los cuadros 4 y 5). Los intervalos de variación son amplios; los valores mínimos son

CUADRO 4. ESTADÍSTICAS DE MEDIDAS DEL ESPESOR DE LA CAPA DE SALVADO DE LA CARIÓPSIDE DEL ARROZ

(Micrómetros)

Estadística	Capa externa del salvado		Capa de aleurona	
	Zona dorsal	Zona lateral	Zona dorsal	Zona lateral
Máximo	69,0	37,0	89,0	56,0
Mínimo	28,0	3,0	30,0	17,0
Media	45,9	19,1	67,3	32,3
Error típico	1,9	0,9	2,1	1,8
Coefficiente de variación (%)	25,5	27,2	19,3	34,7

Fuente: Manoharkumar y otros [53].

Nota: Datos resumidos de un estudio realizado con 40 variedades puras de palay representantes de las subespecies *Índica* y *Japónica* y sus selecciones híbridas.

CUADRO 5. ESTADÍSTICAS DE MEDIDAS DEL ESPESOR DE LA CAPA DE SALVADO EN DIFERENTES PUNTOS DE LA CARIÓPSIDE

(Micrómetros)

Estadística	Zona del germen		Zona central		Extremo opuesto al germen	
	Dorsal	Lateral	Dorsal	Lateral	Dorsal	Lateral
Máximo	167,0	63,0	150,0	71,0	146,0	67,0
Mínimo	67,0	25,0	75,0	25,0	84,0	29,0
Media	120,0	47,4	112,8	52,2	108,0	49,0
Error típico	2,85	1,36	2,77	1,61	2,75	1,52
Coefficiente de variación (%)	15,0	18,2	15,3	19,3	15,5	18,8

Fuente: Manoharkumar [53].

Nota: Datos resumidos de un estudio realizado con 40 variedades puras de palay representantes de las subespecies *Índica* y *Japónica* y sus selecciones híbridas.

generalmente la mitad o un tercio de los máximos. Estas variaciones suponen notables diferencias en el salvado obtenido y en el aceite que éste puede contener, aunque no han sido evaluadas.

El tamaño del germen es otro factor que debe tenerse en cuenta. El germen constituye una parte importante del salvado, especialmente cuando este último procede de un arroz poco elaborado en el que puede representar más del 25% del producto final. El tamaño del germen puede variar considerablemente de unas variedades a otras.

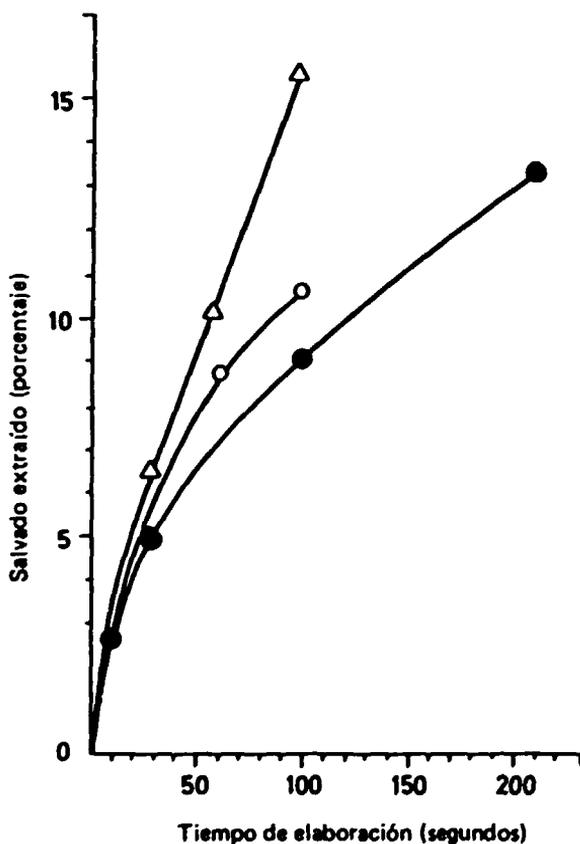
Características mecánicas del grano

Las características mecánicas del grano son: a) su resistencia a la abrasión y la fricción; b) su resistencia a la rotura, y c) la facilidad de separación del germen.

Resistencia del grano a la abrasión y la fricción

El salvado se desprende más fácilmente donde la capa de aleurona es más delgada [54]. Durante el blanqueo, el salvado se separa antes en la zona lateral del grano —donde la capa es menos espesa— que en la zona dorsal [53]. Se han publicado los resultados relativos a diferencias en la resistencia a la abrasión, no sólo entre una variedad y otra (véase la figura 7) [7], sino también entre partidas de una misma variedad (véase la figura 8) [7, 55].

Figura 7. Resistencia a la abrasión durante la elaboración de diferentes variedades y partidas de arroz descascarado

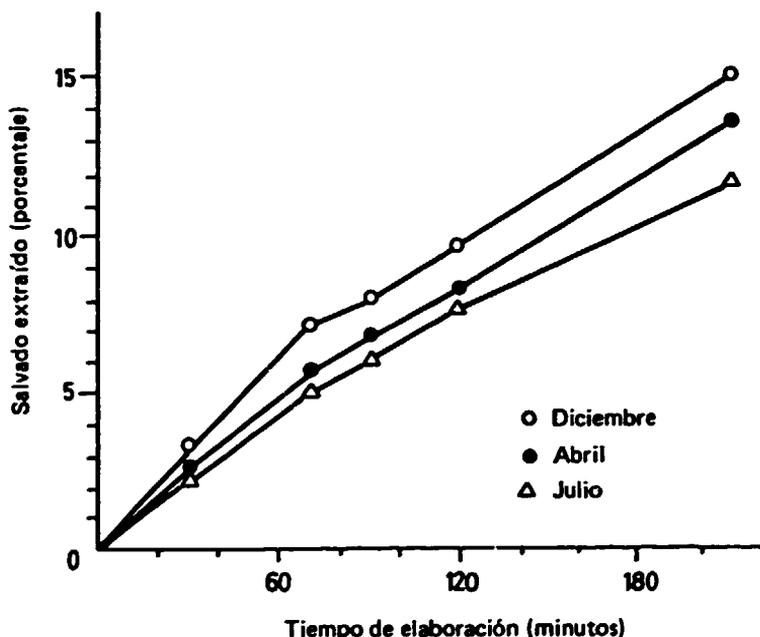


Clave:

- △ Variedad Bahía
- Variedad Girona, lote A
- Variedad Girona, lote B

Fuente: Barber y Benedito de Barber [7].

Figura 2. Cambios en la resistencia a la abrasión durante el período de almacenamiento de arroz descascarado elaborado en un molino diferencial^a



Fuente: Barber [55].

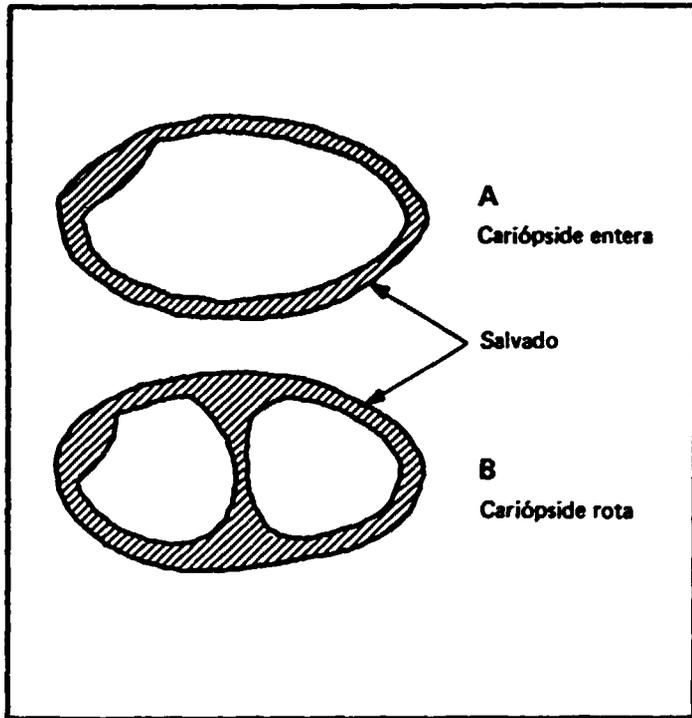
^aEl arroz se almacenó en recipientes herméticamente cerrados a 35°C de temperatura. Tenía un contenido de humedad del 13,2%.

Los informes relativos a las variaciones de la resistencia del grano a la abrasión en función del contenido de humedad [57] han demostrado que los lotes con menos humedad (6% a 10%) eran mucho más resistentes. Está particularmente bien demostrado el hecho de que los granos de arroz sancochado tienen una alta resistencia a la abrasión [56].

Resistencia del grano a la rotura

Koga [58] ha reflejado gráficamente lo que le pasa a los medianos durante el proceso de blanqueo (véase la figura 9). Los medianos son abradidos con más facilidad que el grano entero, especialmente por la superficie de rotura, y la harina separada del endospermo amiláceo se incorpora al salvado. En las variedades y partidas con una gran proporción de medianos, este factor desempeña un papel importante en la calidad del salvado.

Figura 9. Partes de la cariósida del arroz que se separan como salvado durante el proceso de blanqueo



Fuente: Koga [58].

Facilidad de separación del germen

Se ha señalado [59, 60] que la facilidad de separación del germen de su alojamiento en la cariósida depende probablemente de dos factores. Primero, el tenue espesor del epitelio escutelar, formado por células vacías y aplastadas, y, segundo, la escasa cohesión del endospermo amiláceo en esa zona, debido a su consistencia pulverulenta y a la falta de paredes celulares bien definidas. En consecuencia, el germen no es separado por abrasión progresiva sino, generalmente, arrancado de una sola vez por efecto de un impacto que recibe el grano en posición conveniente. Ahora bien, ya sea por diferencias en el grado de cohesión o porque la concavidad del endospermo que aloja el germen lo protege de manera diferente, lo cierto es que las variedades de arroz difieren notablemente en la facilidad con que el germen puede ser separado durante el blanqueo (véase el cuadro 6) [61]. Como el germen constituye una parte tan importante del salvado, tales variaciones pueden significar diferencias importantes en la constitución del salvado.

CUADRO 6. SEPARACIÓN DEL GERMEN DURANTE EL BLANQUEO

<i>Variedad</i>	<i>Tipo</i>	<i>Porcentaje de granos con germen residual</i>
Kinri aze	Vitreo	5,6
	Perlado	5,6
Fukuminosi	Vitreo	8,3
	Perlado	6,6
Ginmasari	Vitreo	40,6
	Perlado	32,3

Fuente: Kanda, Ikehashi e Ito [61].

En el caso del arroz sancochado la situación es diferente. El tratamiento gelatiniza el almidón, por lo que el endospermo y el germen quedan bien adheridos uno al otro. El germen ya no "salta" de su alojamiento y su separación del resto de la cariósida se produce por abrasión progresiva [62]. A menos que la elaboración sea muy prolongada, el arroz sancochado contiene algo de germen residual.

Vasan y otros [63] han estudiado los cambios en el peso del germen y en el contenido en aceite del mismo por efectos del sancochado (véase el cuadro 7).

CUADRO 7. EFECTOS DEL SANCOCHADO SOBRE EL PESO DEL GERMEN Y EL CONTENIDO DE ACEITE DEL MISMO

<i>Muestras (grano descascarado)</i>	<i>Germen (porcentaje)</i>	<i>Aceite en el germen (porcentaje)</i>
Arroz crudo	3,4	35,7
Arroz sancochado	2,1	45,8

Fuente: Vasan y otros [63].

En el proceso el germen pierde mucho peso, pero aumenta su concentración de aceite, de modo que retiene la mayor parte del aceite original. Por tanto, si la separación del germen del arroz sancochado es total (lo cual difícilmente sucede antes de eliminar el 5% del salvado referido al arroz descascarado), su contribución al contenido de aceite del salvado es la misma que en el caso del arroz crudo.

Características químicas del grano

Un factor de variación importante de las características del salvado es la composición química del grano. Es probable que su importancia aumente en proporción al progreso de los programas de mejoramiento del cultivo, entre cuyos objetivos puede estar la obtención de variedades de arroz con salvado de calidad superior. Se han obtenido ya algunas variedades que, en lugar de tener entre 1,2% y 2,0% de aceite (que es la proporción usual), contienen aproximadamente un 4% [64].

La distribución de los constituyentes químicos en el grano es un segundo factor que debe considerarse en relación con las características del salvado. En

la cariósida existe un gradiente de concentración decreciente —excepto para el almidón, que es creciente— desde las capas externas al interior del grano. La distribución de la grasa es diferente⁹: la concentración aumenta de una capa exterior a la capa interior siguiente, alcanza un máximo y luego disminuye en dirección al centro del grano. Aunque la forma de la curva de distribución es generalmente la misma en todas las variedades de arroz, hay diferencias cuantitativas que tienen influencia en la composición del salvado [22]. El sancochado produce cambios cuantitativos en la concentración de aceite por zonas, pero no afecta a la pauta general de distribución (véase la figura 10) [63, 65]. Se ha documentado bien el aumento del contenido en grasa del salvado, al igual que algunos casos de diferencias entre salvados de distinto grado de elaboración (véase el cuadro 8).

CUADRO 8. EFECTOS DEL SANCOCHADO SOBRE EL CONTENIDO DE ACEITE DEL SALVADO

Cantidad de salvado después del blanqueo (gramos de salvado por 100 gramos de arroz descascarado)	IR-8		GEB-24		CO-33	
	Crudo	Sancochado	Crudo	Sancochado	Crudo	Sancochado
2	24,1	32,2	30,2	32,9	26,4	30,6
5	25,4	34,2	30,2	34,0	27,2	36,0
8	22,5	30,1	26,9	29,1	27,3	34,0

Fuente: Vasan y otros [63].

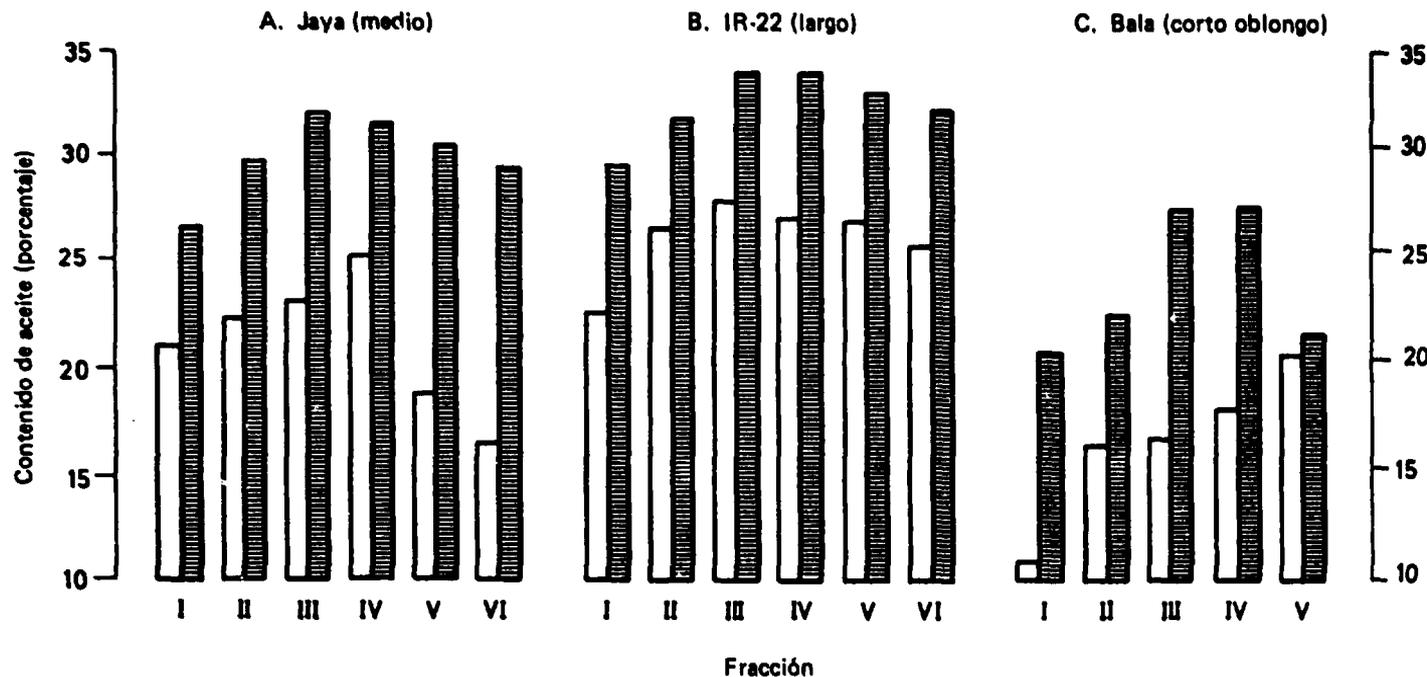
Salubridad del grano

Contaminantes físicos y químicos, microorganismos e insectos afectan a las condiciones de salubridad del grano. Es costumbre almacenar el arroz durante largos períodos, con el riesgo consiguiente de alteración a causa de la acción de insectos y microorganismos. El empleo de compuestos químicos para proteger la cosecha es una práctica generalizada. Aunque la mayor parte de los contaminantes se eliminan con la cascarilla, el salvado no queda exento. Es cierto que algunos insecticidas —por ejemplo, el malathión— se degradan con el tiempo, pero la degradación requiere varias semanas (meses en el caso del malathión) y en el proceso se producen metabolitos (principalmente, dimetilfosforotionato) [66].

La flora microbiana usual del arroz incluye microorganismos capaces de producir micotoxinas. Se ha demostrado que una elevada proporción (del 60% al 80% en peso) de las toxinas del grano pasan al salvado durante la elaboración. El salvado resultante tiene diez veces más toxinas que el arroz elaborado [67]. Puesto que, en condiciones favorables, el arroz se halla expuesto en ocasiones al crecimiento rápido de microorganismos, con la consiguiente producción de metabolitos tóxicos, la presencia de estas toxinas en el salvado no es en modo alguno improbable.

⁹Y también la distribución de proteína.

Figura 10. Contenido de aceite de fracciones sucesivas de salvado extraídas de arroz crudo y de arroz sancochado



Clave:

Crudo □

Sancochado ■

Facción I 0-1,2%

Facción II 1,2-2,3%

Facción III 2,3-3,2%

Facción IV 3,2-4,3%

Facción V 4,3-5,4%

Facción VI 5,4-6,4%

Facción I 0-1,3%

Facción II 1,3-2,1%

Facción III 2,1-3,1%

Facción IV 3,1-4,1%

Facción V 4,1-5,4%

Facción VI 5-4-7,2%

Facción I 0-1,6%

Facción II 1,6-3,0%

Facción III 3,0-4,0%

Facción IV 4,0-5,5%

Facción V 5,6-6,9%

Fuente: Mukherjee y Bhattacharjee [65].

Factores asociados al proceso de elaboración

Como ya se ha indicado, hay tres factores asociados a la eficiencia del proceso de elaboración: a) operaciones preliminares; b) número de etapas, y c) maquinaria utilizada y condiciones de trabajo en la elaboración.

Operaciones preliminares

El arroz palay puede llevar piedras, arena, barro, cuerpos metálicos, paja, semillas extrañas, etc., que reducen considerablemente su valor. Gran parte de estas impurezas, cuando no la totalidad, debiera eliminarse antes de la etapa de descascarillado. Además de mejorar la calidad del salvado, se obtendrían como ventajas adicionales un arroz elaborado de mejor presentación y un trabajo más eficaz y mejor conservación de las máquinas de descascarado y blanqueo. Las impurezas tenaces y consistentes deterioran las partes más sensibles del equipo y degradan las condiciones reales de elaboración; por ejemplo, pueden dañar las rejillas de la blanqueadora permitiéndose la inclusión de medianos y hasta de granos enteros en el salvado. Muchas de las operaciones inmediatas a la siega (secado al sol, trilla con animales) contribuyen en gran manera a la presencia de impurezas en el arroz palay, así que su mejora puede reducir notablemente el problema. No obstante, el arroz palay, cualquiera que sea su procedencia, sólo llega en buenas condiciones al descascarado después de una limpia a fondo y eficaz. Esta limpia se facilita también si el tamaño de los granos del arroz cáscara es uniforme. De otro modo, no sólo se reduce la eficacia de la operación, sino que se corre el riesgo de perder grano en ella.

El destino final de las impurezas que lleva el arroz depende de la naturaleza de las propias impurezas y de la pauta de elaboración. Se ha señalado en otra parte que en la actualidad el molino tipo "huller" de una sola etapa, sin fase de limpieza, es el modelo que prevalece en gran número de países arroceros, y de modo particular en Asia. En este caso, la mayor parte de las impurezas inertes (arena y barro) pasan siempre al salvado, aunque la cáscara de arroz triturada es la impureza más importante. Los esfuerzos de ciertos gobiernos por promover la modernización, aunque sea limitada, de esas instalaciones, contribuirán, si tienen éxito, a mejorar sustancialmente la calidad del salvado. En instalaciones construidas más recientemente, y en otras más antiguas que han sido modernizadas, la limpia constituye parte del proceso. Ahora bien, en muchos casos la capacidad de limpia de la maquinaria no se aprovecha completamente. Tierra, arena y fragmentos de cascarilla, aunque sólo estén presentes en pequeñas cantidades, afectan en gran medida al valor del salvado como alimento. El efecto que se siente al masticar un producto de salvado que contiene un pequeño grano de arena es sorprendentemente desagradable. En previsión de tales casos y con vistas a la producción de salvado de calidad, la limpia del arroz cáscara debe practicarse con criterios más exigentes.

La limpia previa del arroz palay ha sido tratada pormenorizadamente por Gariboldi [68] y van Ruiten [69].

Número de etapas del proceso de molienda

El molino tipo "huller", utilizado para realizar simultáneamente el descascarillado y el blanqueo del arroz palay en una sola etapa, produce un salvado de baja calidad, ya que se trata de una mezcla de salvado (15% a 25%) y cascarilla triturada (75% a 85%) [70]. Al incorporar la cascarilla triturada y los muchos quebrados menudos que se producen, el contenido en aceite es bajo (aproximadamente de un 12% a un 15%) (véase el cuadro 9).

CUADRO 9. COMPOSICIÓN DEL SALVADO PRODUCIDO EN UN MOLINO TIPO "HULLER" Y EN UN MOLINO DE CONOS

(Porcentaje, base húmeda)

Constituyente	Molino de conos			Molino tipo "huller"		
	Variedad Anuradhapura	Variedad Hambantota	Variedad Batticaloa	Variedad Anuradhapura	Variedad Hambantota	Variedad Batticaloa
Proteínas	12,68	12,67	12,29	8,53	8,97	9,27
Grasa	15,31	14,94	13,59	5,85	7,50	6,12
Fibra	8,69	9,47	8,68	18,85	21,24	17,32
Ceniza	10,09	10,95	10,97	22,40	18,82	17,81
MELN	42,17	41,72	44,74	33,90	32,00	38,10

Fuente: Siriwardene [71].

Se ha tratado de mejorar el salvado así producido mediante la tamización posterior del subproducto, a fin de desdoblirlo en una fracción más fina, con más aceite, y otra más gruesa, con más cascarilla. Aunque el nivel comercial es una práctica establecida en algunos lugares, este proceso ulterior no resuelve realmente el problema. De esa forma no pueden separarse la cascarilla pulverizada y la tierra y el barro; el salvado continúa siendo rico en sílice y pobre en aceite (menos del 10%), razón por la cual sigue siendo un producto de baja calidad en las dos posibles aplicaciones que puede tener directamente: para la extracción de aceite y como pienso para el ganado.

La inclusión a gran escala de cascarilla en el salvado sólo puede evitarse utilizando procesos de dos o múltiples etapas. Sólo así se puede lograr un salvado con proporciones de aceite altas y de sílice bajas, como se requiere en un producto de calidad.

Son diversas las ventajas que pueden obtenerse utilizando un proceso de blanqueo de varias etapas. En primer lugar, como la presión sobre los granos es menor, hay también menos riesgo de abrasión profunda, que arranca junto con las capas de salvado fragmentos de endospermo amiláceo; en segundo lugar, al producirse menos quebrados, también se incorpora al salvado menor cantidad de harina y de quebrado muy menudo del endospermo amiláceo. El resultado es un salvado de mayor contenido de aceite.

Tipos de máquinas y condiciones de trabajo

La descascarilladora también representa un papel de importancia en la producción industrial de salvado. Se ha visto en otra parte que los dos tipos de descascarilladora usados comúnmente difieren, en sus efectos sobre el arroz, en

que la descascarilladora de discos de piedra daña las capas de salvado y extrae algo de germen, mientras que la de rodillos de goma deja la cariósida prácticamente intacta. Con la primera de las máquinas, se produce entre un 1,5% y un 2% de salvado, en tanto que con la segunda la proporción es inferior al 0,5%. La diferencia reside no sólo en la cantidad de salvado producido, sino también en su composición (véase el cuadro 10). El salvado de

CUADRO 10. COMPOSICIÓN MEDIA DEL SALVADO PROCESADO DE DIFERENTES TIPOS DE DESCASCARILLADORA
(Porcentaje)

Constituyente	Descascarilladora de discos	Descascarilladora de rodillos de goma
Humedad	9,2-13,5	11,7
Proteínas	8,1-11,6	3,8
Grasa	6,5-10,4	0,8
Fibra cruda	14,8-22,6	41,5
Cenizas	11,2-20,4	13,2
MELN	31,0-40,3	28,9

Fuente: Borasio [72], Leonzio [73], Primo y otros [74].

la máquina de discos de piedra está constituido por fragmentos de cascarilla, salvado (fundamentalmente pericarpio), algo de germen y raquilla y pequeños fragmentos de endospermo, así como impurezas inorgánicas, en tanto que el salvado recuperado de máquinas de rodillos de goma apenas contiene germen y salvado. Se explica así que este último sea más pobre en grasa y abundante en fibra. Todo lo dicho se aplica tan solo a máquinas en perfectas condiciones de ajuste. Lamentablemente, por lo general no ocurre así, sobre todo en lo que se refiere a las máquinas de discos de piedra, en las que el ajuste de la holgura entre las superficies abrasivas es más crítica. Como se recordará, las máquinas de discos presionan el grano desde los extremos de su dimensión mayor (longitud), en tanto que las de rodillos presionan desde los extremos del eje menor (espesor). La longitud de los granos varía más que su espesor; además, la superficie de los discos no es elástica como la de los rodillos. Si las diferencias de longitud son muy grandes, los granos más largos se rompen y los cortos salen incólumes. Si la holgura entre los discos no está correctamente ajustada o si, a consecuencia del desgaste, no es uniforme, o la máquina recibe grano con demasiada velocidad, la acción abrasiva resultante sobre los granos lleva a la eliminación de grandes cantidades de salvado.

Cuando se descascarilla el arroz con una máquina de rodillos de goma, el salvado separado en el proceso de blanqueo subsiguiente es más rico en aceite que el obtenido con una máquina de discos de piedra (véase el cuadro 11).

La eficiencia de la descascarilladora afecta también a las propiedades del salvado. Ninguna máquina descascarilla el 100% del palay en un solo paso. Además, si la descascarilladora está desgastada, mal ajustada, o el arroz es de tamaño heterogéneo, el porcentaje de vestidos es alto. A menos que la separadora de palay se maneje con todo rigor (lo que en este caso supondría muy bajo rendimiento), resultará perjudicado el arroz descascarado que entra en las blanqueadoras.

CUADRO 11. EFECTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DESCASCARILLADORA SOBRE EL CONTENIDO DE ACEITE DEL SALVADO DE BLANQUEADORAS

<i>Tipo de descascarilladoras</i>	<i>Contenido de aceite (porcentaje)</i>
De disco abrasivo	15-17
De rodillos de goma	18-20

Fuente: Aggarwal y Sarda [75].

El tamaño medio de los granos de palay rechazados por la separadora es sensiblemente menor que el del que entra en las descascarilladoras, y es precisamente esta diferencia la que justifica que salgan vestidos. La instalación de una descascarilladora "de retorno", dedicada exclusivamente para el rechazo de la separadora y específicamente ajustada al tamaño medio de los granos, es una buena solución, que facilita el trabajo de velar por que no entre en las blanqueadoras arroz palay.

Como ya se ha señalado, las separadoras de palay pueden trabajar, con aceptable rendimiento industrial al 100% de su eficacia separadora. Éste es un hecho que debe tenerse en cuenta cuando se desea obtener un salvado de alta calidad.

También merecen mención las máquinas deschinadoras. Éstas se pueden instalar antes que las descascarilladoras o antes que las blanqueadoras. Las piedras o terrones de tierra de tamaño parecido al grano de arroz se han de eliminar antes del blanqueo, pues en éste se pueden desintegrar e incorporarse definitivamente al salvado.

Las blanqueadoras tienen una influencia decisiva sobre las características del salvado. En este sentido tienen particularmente interés el tipo de la máquina, el número de pasos y grado del esmeril y el tamaño de la malla. Las variables principales en las condiciones de trabajo son la homogeneidad y el grado de elaboración, y la posible utilización de polvos para el pulido del arroz.

Las blanqueadoras de fricción producen un salvado diferente del que se obtiene con máquinas de abrasión. El salvado producido por las primeras es de mayor tamaño y está algo enredado o rizado (véase el cuadro 12); de ordinario, contiene más grasa (véase el cuadro 13).

El blanqueo en una sola etapa produce salvado con menos grasa y más materias extractivas libres de nitrógeno (MELN) que el producido en varias etapas. En primer lugar, la separación de las capas externas del grano es más irregular y la penetración más profunda; segundo, el porcentaje de medianos es menor y se incorpora al salvado una mayor proporción del endospermo amiláceo. El tamaño de los orificios de la rejilla de la blanqueadora no varía mucho de unas máquinas a otras, pero el desgaste por el uso y, en ocasiones, el ajuste incorrecto son causa de resultados adversos. La presencia de medianos y aun de granos enteros en el salvado suele considerarse resultado de un desperfecto de la rejilla. Si no se repara el defecto, se observará que la calidad del salvado va empeorando progresivamente, con un correspondiente efecto en el rendimiento del arroz elaborado. El cuadro 14 indica esos efectos en un molino de conos. La fracción de 841 μm contiene gran abundancia de

CUADRO 12. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA DE DIFERENTES TIPOS DE SALVADO PROCEDENTES DE BLANQUEADORAS

Tamiz US Núm.	Luz (micrómetros)	Fracción de salvado retenido por el tamiz (porcentaje)			
		Máquinas de fricción ^a	Máquinas de abrasión ^b		Salvado con germen
			Salvado sin germen		
			Valores extremos ^c	Media ^c	
20	841	4,4-16,0	0,2-0,4	0,3	18,3
30	595	12,0-28,0	1,8-3,8	2,9	9,7
50	297	42,0-62,0	14,9-21,1	19,1	20,3
80	177	2,0-16,0	22,9-29,6	25,0	18,1
100	149	0,5-2,0	3,2-5,6	4,1	4,4
>100	<149	—	43,0-53,8	48,6	29,2

^aDatos adaptados de Mihara [76].

^bDatos de molinos españoles.

^cDatos de cuatro molinos.

CUADRO 13. COMPOSICIÓN MEDIA DE SALVADOS PROCEDENTES DE BLANQUEADORAS DE FRICCIÓN Y DE ABRASIÓN

Constituyente	Máquinas de fricción ^a	Máquinas de abrasión ^b
Humedad	11-13	12-14
Proteínas	14-16	13-16
Grasa	18-21	14-16 ^c
Fibra	8-10	9-10
Cenizas	9-12	8-9
MELN	33-36	45-50

^aDatos sobre molinos japoneses, tomados de Mihara [76].

^bDatos sobre molinos españoles, tomados de Primo y otros [74].

^cNo son infrecuentes los niveles del 19%.

CUADRO 14. INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE QUEBRADOS SOBRE EL CONTENIDO DE ACEITE DEL SALVADO COMERCIAL DE UN MOLINO DE CONOS ABRASIVOS

US tamiz Núm.	Tamiz	Fracción de salvado retenido (porcentaje, base seca)	Contenido de aceite de la fracción (porcentaje, base seca)
	Luz (micrómetros)		
20	841	16,78 ^a	5,96
30	595	13,24 ^a	12,77
50	297	28,22	} 18,34
80	177	10,31	
100	149	11,04	
>100	<149	20,41	
	Total	100,00	15,35

^aUsualmente menos de un 5%. El elevado porcentaje de estos tamaños responde a la presencia de quebrados menudos.

quebrados muy menudos, por empleo provisional de una rejilla defectuosa. Su influencia sobre el contenido de aceite del salvado total es bien visible.

El número de etapas de blanqueo y el tipo de blanqueadora utilizada pueden afectar a la temperatura del salvado recién producido. El blanqueo en varias etapas, utilizando máquinas con inyección o aspiración de aire, da salvado de temperatura más baja, lo cual reduce la velocidad de alteración enzimática.

El grado de elaboración tiene un efecto particularmente notable en las propiedades del salvado, pero la causa final de esta influencia es la distribución de los constituyentes químicos en el grano de arroz, que ya se ha tratado.

En algunos países se utiliza carbonato cálcico en el proceso del blanqueo del arroz. Este material, de tamaño de partícula inferior a $74 \mu\text{m}$, actúa como abrasivo y contribuye a un acabado atractivo del arroz blanco. Se emplea en proporciones muy variables (del 0,5% al 2%, referido a arroz palay) según la clase de arroz y la máquina utilizada. Pero el carbonato cálcico no sólo facilita el blanqueo, sino que modifica la composición del salvado. Su utilización a una concentración del 0,5% en arroz descascarado representa una concentración de carbonato en el salvado del 10%, si el grado de elaboración es del 5%. Esto afecta a dos características del salvado: la acidez valorable y la relación calcio y fósforo; en el primer caso, el carbonato actúa como neutralizante y en el segundo caso tiene un efecto benéfico directo, ya que la relación calcio y fósforo es aproximadamente 1:10, cuando para fines de nutrición animal debe ser más próxima a 1:1.

Referencias

1. N. Purakam y otros, "Estimation and analysis of rice milling rate in Thailand", Informe presentado al Consejo Nacional de Investigaciones de Tailandia, 1976.
2. H. Ospina, "Economic study on the extraction of oil from rice bran", *IIT Tecnología* (Bogotá), vol. 3, No. 12 (1961), pp. 17-31.
3. J. L. Jaramillo, "Oil from rice polishings", *Arroz* (Colombia), vol. 14, No. 151 (1965), pp. 10-11.
4. E. G. Vargas y M. R. Murillo, "Composición química de subproductos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo utilizados en Costa Rica", *Agronomía Costarricense*, vol. 2, No. 1 (1978), pp. 9-15.
5. R. M. Saunders y otros, "A 1978 survey of rice postharvest losses during threshing, drying, parboiling, milling and the potential for reducing such losses in developing countries", *Rice Postharvest Losses in Developing Countries* (Albany, California, United States Department of Agriculture, 1980).
6. M. Rivero, "Evaluación de la calidad de los arroces cultivados en España" (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1969), resultados no publicados.
7. S. Barber y C. Benedito de Barber, "Una aproximación a la medida objetiva del grado de elaboración del arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 17, No. 2 (1977), pp. 223-224.

8. H. G. R. Reddy, F. M. Gariboldi y Y. Joko, *Report of the Expert Study Group on the Rice Bran Oil Industry* (Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente y Consejo Asiático de Desarrollo Industrial, 1970).
9. L. G. Elias y R. Bressant, "Use of Central American food resources for the improvement of animal industry: V. Chemical composition of some by-products derived from the cereal industry: wheat, rice and corn", *Turrialba*, vol. 20, No. 2 (1970), pp. 166-170.
10. D. D. Brown, "Rice industry in India: increasing mill out-turn of rice", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, No. 4 (1965), pp. 88-90.
11. M. M. Chakrabarty, D. Bhattacharya y R. S. Vaidyanathan, "Some studies in rice bran oil refining", paper prepared for the Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 25 noviembre 1977.
12. S. N. Raghvendra Rao, M. N. Narayana y H. S. R. Desikachar, "Pattern of change in silica, ash, crude fibre, whiteness and bran pigmentation with progressive polish in rice varieties", *Journal of Food Science and Technology*, No. 9, 1972, pp. 51-53.
13. R. P. Kachru y F. Eghtedari, "Modernization of rice processing industry in Iran" (Shiraz University, College of Agriculture, 1977).
14. T. Kwon y J. Jo, "An assessment of rice processing and storage in the Republic of Korea", *Rice Report*, S. Barber y H. S. R. Mitsuda, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1975).
15. G. W. Arnott y H. K. Lim, "Animal feeding stuffs in Malaysia: 2. Quality of rice bran and polishings", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 45, No. 4 (1966), pp. 387-403.
16. T. K. Van, "Quality testing of rice in Malaysia with particular reference to milling and cooking", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 43, No. 1 (1960), pp. 19-27.
17. M. L. Berberan, "Industrialization of rice and its products", *Revue de l'agriculture* (Mozambique), vol. 5, No. 56 (1963), pp. 9-11 y 46-48.
18. S. Maqsood Ali, S. Abdul Haq y A. Hameed Khan, "Investigations on by-products of the rice milling industry: I. Minerals and vitamins B and E in the various rice fractions", *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, No. 1, 1958, pp. 231-233.
19. S. A. Khan, "PCSIR's program for utilization of by-products of the rice milling industry", *Pakistan Journal of Science*, vol. 31, Nos. 3-6 (1979), pp. 143-149.
20. J. W. Hunnell y J. F. Nowlin, "Solvent extractive rice milling", *Rice Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), pp. 201-214.
21. M. J. Guerra y W. G. Jaffe, "Nutritional experiments with rice bran", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 25, No. 4 (1975), pp. 401-417.
22. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), pp. 215-263.
23. J. T. Hogan y H. J. Deobald, "Measurement of the degree of milling of rice—a review", *Rice Journal*, vol. 68, No. 10 (1965), p. 10.
24. S. Barber y C. Benedito de Barber, "An approach to the objective measurement of the degree of milling", *RPEC Reporter*, vol. 2, No. 2 (1976), pp. 1-8.
25. S. Barber y C. Benedito de Barber, "Outlook for rice milling quality evaluation systems", *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality* (Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, 1979), pp. 209-222.

26. M. C. Kik, "Determining the degree of milling by photoelectric means", *Rice Journal*, vol. 54, No. 12 (1951), pp. 18-22.
27. H. S. R. Desikachar, "Determination of the degree of polishing in rice: I. Some methods for comparison of the degree of milling", *Cereal Chemistry*, vol. 32, 1955, pp. 71-77.
28. L. Borasio, "Metodo macrocolorimetrico per valutare i piu finiti gradi di lavorazione dei risi lavorati", *Annali (Vercelli)*, vol. 3, No. 51 (1955).
29. Intergovernmental Group on Rice, "Proposed definitions of the terms used in rice trade (annex to revised model system)", *Comments on the Proposals for a Revised Model System of Grading Rice in International Trade* (Roma, FAO, 1971) (CCP:RI/GS 72/2).
30. Intergovernmental Group on Rice, *Degree of Milling of Rice: The Standard Method Adopted by the Food Agency, Government of Japan* (Roma, FAO, 1972) (COP:RI/CS C.R.S.1).
31. K. R. Bhattacharya y C. M. Sowbhagya, "A colorimetric bran pigment method for determining the degree of milling of rice", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 23, No. 2 (1972), pp. 161-169.
32. H. S. Autrey y otros, "Effects of milling conditions on breakage of rice grains", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 3, No. 7 (1965), pp. 593-599.
33. C. A. Watson, E. Dikeman y R. A. Stermer, "A note on surface lipid content and scanning electron microscopy of milled rice as related to degree of milling", *Cereal Chemistry*, No. 52, 1975, p. 742.
34. P. Feillet, "Note sur une méthode de contrôle du degré d'usage du riz", *Bull. Riziculteurs de France*, No. 129, 1970, pp. 17-21.
35. B. S. Miller y otros, "A rapid, objective method to measure the degree of milling of rice", *Cereal Chemistry*, vol. 56, No. 3 (1979), pp. 172-180.
36. E. Primo y otros, "Factores de calidad del arroz: XIII. Determinación del grado óptimo de elaboración", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 4, No. 2 (1964), pp. 238-245.
37. H. S. R. Desikachar, "Determination of the degree of polishing in rice: II. Determination of thiamine and phosphorus for processing control", *Cereal Chemistry*, vol. 32, No. 1 (1955), pp. 78-80.
38. L. Borasio, "L'apparecchio fotoelettrico 'Ricetester' per il controllo delle caratteristiche ottiche", *Il riso*, vol. 11, No. 7 (1962), pp. 23-39.
39. Y. Pomeranz, R. A. Stermer y R. Dikeman, "NMR-oil content as an index of degree of rice milling", *Cereal Chemistry*, No. 52, 1975, p. 849.
40. G. Blet, "Le contrôle photométrique industriel: Application au blanchiment du riz", *Mesures Regulation Automatisme*, No. 189, 1953, p. 82-84.
41. A. Angladette, "Note au sujet du contrôle photoélectrique du blanchiment des riz", *Riz et Riziculture*, No. 4, 1957, pp. 139-143.
42. R. M. Johnson, "Light-reflectance meter measures degree of milling and parboiling of parboiled rice", *Cereal Chemistry*, No. 42, 1965, pp. 167-175.
43. Shams-Ud-Din y K. R. Bhattacharya, "On the meaning of the degree of milling of rice", *Journal of Food Technology*, vol. 13, No. 2 (1978), pp. 99-105.
44. R. A. Sterner, "An instrument for objective measurement of degree of milling and colour of milled rice", *Cereal Chemistry*, No. 45, 1968, pp. 358-364.

45. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, "Rice testing methods and equipment", *Agricultural Services Bulletin*, No. 18, 1973.
46. D. F. Houston, E. A. McComb y E. B. Kester, "Effect of bran damage on development of free fatty acids during storage of brown rice", *Rice Journal*, vol. 55, No. 2 (1952), p. 17.
47. A. N. Srirangarajan y otros, "Note on variations in residual bran in individual rice grains from batches polished to different degrees", *Cereal Chemistry*, vol. 38, No. 4 (1961), pp. 391-392.
48. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, "Terminología del arroz", *Terminology Bulletin*, No. 26, 1974.
49. L. Borasio y F. Gariboldi, *Glosario ilustrado de máquinas para la elaboración del arroz* (Roma, FAO, 1957).
50. P. D. Limcangco-Lopez, F. S. Achacoso y L. S. Castillo, "The chemical composition of rice and corn by-products: I. Proximate composition and minerals", *Philippine Agriculturist*, vol. 46, No. 5 (1962), pp. 324-342.
51. B. D. Webb, "Rice quality and grades", *Rice: Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (Nueva York, Avi Publishing, 1980), cap. 15, pp. 543-565.
52. T. Srinivas y H. S. Desikachar, "Removal of bran and aleurone layers at different points on the surface of rice grain during progressive polishing", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 11, No. 2 (1974), pp. 83-84.
53. S. Manoharkumar y otros, "Relationship of the coarseness of rice (*Oryza sativa*) varieties to the thickness of bran and aleurone layers", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 5, No. 4 (1968), pp. 193-194.
54. J. Cho, "The anatomical observation of the embryo in rice", *Botanical Magazine*, vol. 52, No. 622 (1938), pp. 520-533.
55. S. Barber, *Basic Studies on Ageing of Milled Rice and Application to Discriminating Quality Factors*, Final Report, Project No. E-25-AMS-(9) (Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Foreign Research and Technical Program Division, 1969).
56. K. Kumaresan, U. S. Sree Ramulu y U. S. Ramulu, "Factors influencing the quantity and quality of rice bran oil. III. Parboiling", *Riso*, vol. 24, No. 7 (1978), pp. 341-344.
57. B. D. Webb y D. L. Calderwood, "Relationship of moisture content to degree of milling in rice", *Cereal Food World*, No. 22, 1977, p. 484.
58. Y. Koga, "Drying, husking and milling of rice in Japan: rice milling", *Farming Japan*, agosto 1969, pp. 25-40.
59. M. C. Kik, "Nutritive studies of rice", *Arkansas Agricultural Experimental Station Bulletin*, No. 508 (Fayetteville, Universidad de Arkansas, 1951).
60. D. B. Bechtel y Y. Pomeranz, "Implications of the rice kernel structure in storage, marketing, and processing: a review", *Journal of Food Science*, vol. 43, No. 5 (1978), pp. 1538-1542.
61. M. Kanda, H. Ikehashi y R. Ito, "Evaluation of brown rice character through milling tests of samples partitioned according to grain trait", *Agricultural Technologist* (Tokio), vol. 24, No. 4 (1969), pp. 24-27.
62. J. J. C. Hinton, "Parboiling treatment of rice", *Nature*, vol. 162, No. 4128 (1948), pp. 913-915.

63. B. S. Vasan y otros, "Effect of processing on the movement of oil in the rice kernel and its relation to the oil content of paddy and the yield of oil from rice bran", Documento presentado al Seminario Interregional ONUDI/FAO/CEPALO sobre la elaboración industrial del arroz, celebrado en Madrás del 11 al 16 de octubre de 1971.
64. R. Chandrasekaran y P. Pillaiyar, "Processing methods. India", en *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua and M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Centre, 1976), pp. 335-339.
65. R. K. Mukherjee y M. Bhattacharjee, "Distribution of oil in the bran layers of slender, medium and short grain varieties of rice, and effect of parboiling", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 55, No. 5 (1978), pp. 463-464.
66. D. G. Rowlands y F. E. Clements, "The degradation of malathion in rice brans", *Journal of Stored Products Research*, vol. 1, No. 1 (1965), pp. 101-103.
67. H. W. Schroeder, R. A. Boller y H. Hein, "Reduction in aflatoxin contamination of rice by milling procedures", *Cereal Chemistry*, vol. 45, noviembre 1968, pp. 574-580.
68. F. Gariboldi, "Rice milling equipment: Operation and maintenance", *Agricultural Services Bulletin*, No. 22, 1974.
69. H. Van Ruiten, "Milling: precleaning", *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Centre, 1976), pp. 207-216.
70. J. B. Shamsudin, *Quality of Rice Bran: Main Consideration in the Establishment of Bran Oil Extraction Plant* (Kuala Lumpur, Ministry of Agriculture and Co-operatives, 1968).
71. J. A. Siriwardene, "Analytical data on rice bran processed in Ceylon", *Ceylon Veterinary Journal*, vol. 17, No. 3 (1969), pp. 73-76.
72. L. Borasio, "Proposal to the classification and commercial evaluation of rice milling by-products", *Risicoltura*, vol. 36, No. 1 (1948), pp. 4-8.
73. M. Leonzio, "Analytical research on the principal constituents of the by-products of rice", *Riso*, vol. 14, No. 4 (1965), pp. 331-344.
74. E. Primo y otros, "Chemical composition of rice: V. By-products obtained at the different steps of the milling diagram", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 10, No. 2 (1970), pp. 244-257.
75. V. S. Aggarwall y P. S. Sarda, "Modernization of the rice milling industry", Documento presentado al Seminario Interregional ONUDI/FAO/CEPALO sobre la elaboración industrial del arroz, celebrado en Madrás del 11 al 16 de octubre de 1971.
76. S. Mihara, "Nakataki water process for separating rice bran components", *Chemical Economy and Engineering Review*, vol. 2, No. 9 (1970), pp. 36-38 y 42.

V. Tecnología de la estabilización del salvado de arroz

Introducción

En el capítulo III ha quedado bien establecido que los objetivos fundamentales de la estabilización son: *a)* destruir enzimas, microorganismos e insectos (causas principales de la alteración del salvado), reduciendo su actividad a niveles seguros, y *b)* preservar al máximo los componentes valiosos del salvado, principalmente aceite, proteínas, vitaminas y otros nutrientes. Se ha reconocido también que los medios conocidos para alcanzar el primer objetivo son contrarios al segundo, por lo que la única alternativa válida es una solución de transacción, siempre que el riesgo de alteración no sobrepase niveles mínimos exigibles a escala industrial.

Ahora bien, en general, los trabajos de investigación y desarrollo para la búsqueda de procedimientos de estabilización se han orientado en gran medida hacia el objetivo parcial de frenar el desarrollo de ácidos grasos libres (AGL). Es necesario proceder ahora a una revisión del considerable trabajo realizado en esa esfera y evaluar los resultados alcanzados a la luz de nuevos criterios de evaluación existentes. Por consiguiente, en las secciones que vienen a continuación se clasifica la información disponible sobre la base de los medios utilizados para frenar la actividad enzimática y otras causas de alteración. En primer lugar, se revisan los procedimientos que utilizan agentes químicos. A continuación se tratan los procedimientos físicos, analizando primero aquellos basados en la refrigeración, las atmósferas inertes y la irradiación. Por último, se estudian, en extensión y en profundidad, los procedimientos que emplean el calor, analizándose por separado las condiciones en que se desarrollan los procesos y el equipo necesario.

Métodos de estabilización

Los métodos de estabilización investigados hasta ahora pueden clasificarse en dos grandes grupos: químicos y físicos. Los últimos se pueden subdividir en varios tipos: almacenamiento en frío, almacenamiento en atmósferas inertes, irradiación y estabilización por el calor.

Estabilización química

Desikachar [1] ha señalado que las condiciones requeridas para inactivar la lipasa aislada y purificada difieren de las necesarias para lograr el mismo resultado *in situ* en el salvado. Ésta no es una circunstancia particular del salvado, sino que es general para la mayoría de los enzimas en tejidos vegetales. Se han estudiado los efectos de muy diversos productos químicos con el fin de averiguar sus posibilidades para estabilizar el salvado de arroz (véase el cuadro 1).

A pesar de algunos resultados aparentemente esperanzadores, los métodos químicos no han sido satisfactorios. Los productos ensayados no poseen capacidad suficiente para inactivar la lipasa. A esta circunstancia, que en cualquier caso excluye la utilización de métodos químicos, deben añadirse otras consideraciones de carácter toxicológico, nutritivo y económico. De todos los productos químicos ensayados, el SO_2 es el que ha mostrado mayor capacidad para inactivar la lipasa. Según una patente japonesa de 1919 [2], la lipasa del salvado de arroz se destruye tratando el subproducto con un 5%-15% de SO_2 durante 5 a 10 horas en un recipiente cerrado y secándolo al sol. El tratamiento del salvado o del germen comercial en una atmósfera de SO_2 a la temperatura ambiente, durante siete horas y media [1] o 15 horas [3], seguido de aireación para eliminar el gas retenido, no da, sin embargo, resultados satisfactorios. Es necesario prolongar durante días la permanencia del subproducto en la atmósfera de anhídrido sulfuroso para frenar la formación de AGL [3].

Recientemente se ha utilizado el metabisulfito sódico como fuente de anhídrido sulfuroso¹. Mezclado directamente con el salvado, en la proporción —considerada óptima— del 2% en peso, se dice que impide el desarrollo de AGL. En ensayos de laboratorio, la mezcla de salvado y metabisulfito, envasada en frascos de vidrio cerrados mostró una conservación satisfactoria. Un lote de 25 kg, envasado en sacos de yute y almacenado durante 30 días, resultó igualmente satisfactorio: el contenido de ácidos grasos del aceite sólo aumentó en dicho período del 2,2% al 3,5%. Según los autores [12], el tratamiento no reduce el rendimiento en aceite, y el aceite crudo se puede someter a los procesos de refinación usuales para obtener aceite comestible. Otros autores [3] han detectado una notable disminución del índice de yodo de los aceites correspondientes en lotes de salvado y de germen conservados en atmósfera de SO_2 durante 70 días a temperatura ambiente. En el salvado tratado, el índice de yodo descendió de 102,8 a 75,8 y en el germen, de 104,8 a 71,5. El anhídrido sulfuroso se ha utilizado en el tratamiento de cereales y productos de cereales, tales como la maceración del maíz en la fabricación de almidón, la protección de la harina de trigo contra microorganismos, la prevención del desarrollo de mohos y bacterias en el ensilaje de maíz, etc., si bien en algunos casos su uso en alimentos está prohibido. El anhídrido sulfuroso reacciona con varios componentes valiosos del salvado. Destruye la molécula de tiamina escindiéndola en dos partes, una de las cuales es un ácido

¹Las formas usualmente empleadas en tecnología alimentaria son: dióxido de azufre gaseoso (SO_2) y las sales sódicas y potásicas del sulfito (SO_3^-), del bisulfito (HSO_3^-) y del metabisulfito (S_2O_5^-).

CUADRO 1. COMPUESTOS QUÍMICOS ENSAYADOS PARA ESTABILIZAR EL SALVADO DE ARROZ

Compuesto químico	Fórmula	Tratamiento	Eficacia	Fuente
Ácido acético	CH ₃ COOH	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Ácido clorhídrico (gas)	HCl	15 minutos corrientes, más 15 horas	-	Gómez Fabra y Primo [3]
Ácido húmico		Solución acuosa al 0,01%	+	Gómez Fabra y Primo [3]
Acrilonitrilo	CH ₂ CHCN	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Alcohol etílico	CH ₃ CH ₂ OH	Corriente a 100° C durante 5 minutos	-	Gómez Fabra y Primo [3]
Alcohol metílico	CH ₃ OH	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Amoniaco (gas)	NH ₃	Tratamiento con 15 minutos de corriente y 50 horas	-	Gómez Fabra y Primo [3]
Anidrido sulfuroso (gas)	SO ₂	(a) Tratamiento durante 15 horas en atmósfera fría de SO ₂ y airear	-	Gómez Fabra y Primo [3]
		(b) Permanencia en atmósfera de SO ₂	+	Gómez Fabra y Primo [3]
		(c) Tratamiento durante 1,5 horas en corriente de SO ₂ , mantener durante 6 horas y airear	-	Adachi y Futsuhara [4]
		(d) Tratar con 5% a 10% SO ₂ durante 5 a 10 horas y secar al sol	+	Loeb y Morris [5]
		(e) Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
2-Coloetanol ^a	CH ₂ ClCH ₂ OH	0,31%	-	Loeb, Morris y Dollear [6]
Cloropicrina ^b	CCl ₃ NO ₂	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Dibromuro de etileno	CH ₂ BrCH ₂ Br	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
1,3-Dimetil-4,6-bis (clorometil) benzeno	1,3(CH ₂ Cl) ₂ -4,6- -(CH ₂ Cl) ₂ C ₆ H ₂	0,03%	-	Loeb, Morris y Dollear [6]
Disulfuro de carbono	CS ₂	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]

Formaldehído	CH ₂ O	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Furfural	C ₄ H ₂ OCHO	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Hexano	CH ₂ (CH ₂) ₄ CH ₃	Condiciones no especificadas	-	Applied Scientific Research Corporation of Thailand [7]
Polvos de blanquear ^c		(a) Empapar con solución acuosa al 4% y secar al sol	-	Hermans y Ratanapunvorakul [8]
		(b) 3%-10% en agua, seguido de secado al sol	-	Loeb y Morris [5]
Yoduro de potasio	KI	5% y 10% en peso de salvado	-	Panduranga Rao, Ahmed y Rao [9]
Propilenglicol, dipropionato	CH ₂ CH(C ₂ H ₅ COO)- -CH ₂ (C ₂ H ₅ COO)	0,19%	-	Loeb, Morris y Dollear [6]
Propionaldehído	CH ₃ CH ₂ CHO	Condiciones no especificadas	-	Desikachar [1]
Bromuro sódico	NaBr	5%, 10% y 20% en peso de salvado	-	Panduranga Rao, Ahmed y Rao [9]
Cianuro sódico	NaCN	0,03%	-	Loeb, Morris y Dollear [6]
Cloruro sódico	NaCl	5% y 10% en peso de salvado	-	Hermans y Ratanapunvorakul [8]
Cromato sódico	Na ₂ CrO ₄	0,1% en peso de arroz palay, 72 horas	-	Chowdhary y Mukherjee [10]
Fluoruro sódico	NaF	5%, 10% y 20% en peso de salvado	-	Panduranga Rao, Ahmed y Rao [9]
Fluoruro sódico	NaF	Mantener en solución acuosa al 5% (10% en peso de salvado) y secar en estufa a 105° C	-	Filho, Germany y Melo [11]
Metabisulfito sódico	Na ₂ S ₂ O ₅	2% en peso de salvado	+	Azeemoddin y otros [12]
Topanol OC (antioxidante)	..	0,5% a 1,0%	-	Arno't y Lim [13]
Topanol OF (antioxidante)	.	0,5% a 1,0%	-	Arnott y Lim [13]

^aO también etilenclorhidrina, alcohol 2-cloroetilico.

^bO también tricloronitrometano.

^cLlamada también hipoclorito cálcico (Merck).

sulfónico. En forma de sulfito reacciona con los disulfuros como la cisteína, para producir tioles y sulfonatos. En harina de trigo, esta reacción disminuye la fuerza panadera; en las proteínas del salvado estos efectos no parecen haber sido evaluados. El anhídrido sulfuroso reacciona lentamente con los azúcares formando las denominadas combinaciones bisulfíticas; la reacción es reversible, liberándose SO_2 en condiciones favorables. El tratamiento con SO_2 puede causar la corrosión del equipo, cosa que debe evitarse. Además, el producto tratado con SO_2 requiere un tratamiento complementario para eliminar el gas residual, lo cual presenta sus propios problemas. De no procederse a este tratamiento, el continuo desprendimiento de SO_2 crea una atmósfera tóxica y molesta, que puede dar lugar a muchos problemas. El empleo de envases por recipientes herméticos, por otra parte, parece presentar también muchos inconvenientes.

Estabilización física

Los métodos de estabilización física son los siguientes: a) almacenaje a temperaturas bajas; b) almacenaje en atmósferas inertes; c) irradiación y d) estabilización por el calor. Los tres primeros métodos se tratan someramente en los párrafos que vienen a continuación; en cambio, la estabilización por el calor, que tiene un interés práctico considerable y acerca de la cual existe un gran volumen de información, se trata en una sección por separado.

Almacenaje en frío

Ya se ha observado que la conservación del salvado a temperaturas próximas a 0°C (de $+3^\circ\text{C}$ a $+5^\circ\text{C}$) [6, 14, 15] y $-3,3^\circ\text{C}$ [16] reduce la velocidad de hidrólisis, pero no la anula. Cuando el salvado vuelve a alcanzar la temperatura ambiente, se reanuda la actividad enzimática original. Debe señalarse que los datos disponibles sobre los efectos del frío en la actividad enzimática del salvado se refieren a pequeñas muestras y ensayos de laboratorio. La situación es muy diferente cuando se trata de lotes industriales; por ejemplo, cuando se tratan cientos de sacos. Teniendo en cuenta la baja conductividad del calor que tiene el salvado, a menos que se utilice un sistema de transferencia de calor muy eficaz, se necesita mucho tiempo para que el subproducto alcance la temperatura de almacenamiento en frío requerida, período durante el cual la alteración puede alcanzar niveles relativamente elevados. Estos resultados y consideraciones de orden económico descartan el empleo de la refrigeración como solución industrial práctica al problema de la estabilización del salvado.

A nivel de laboratorio puede ser de interés señalar que la conservación del salvado en un vaso al vacío a -70°C permite mantener el nivel de AGL sin cambio alguno durante 15 días [17]. Roseman y otros [18] dicen haber conservado durante ocho meses muestras de salvado sin cambio en el porcentaje de AGL, secándolas previamente al 2% de humedad en una estufa de ventilación forzada, a 85°C durante tres horas y almacenándolas en envases herméticos a -22°C . Tanto las muestras conservadas a -70°C como las almacenadas a -22°C mostraron actividad enzimática cuando se volvieron a mantener a temperaturas y humedad ambiente.

Conservación en atmósferas inertes

Hay poca información sobre el comportamiento del salvado en atmósferas inertes. La supresión del oxígeno puede reducir el crecimiento de mohos, la proliferación de insectos y las reacciones oxidativas, pero no es de esperar que destruya la actividad lipolítica. Efectivamente, hay antecedentes de que el salvado, envasado en atmósferas de nitrógeno y almacenado a temperatura ambiente (20°-25°C), desarrolla AGL: en un caso alrededor del 40% en 23 días [6].

El envasado del salvado en atmósfera de dióxido de carbono tampoco ha dado resultados satisfactorios [6]. En el almacenamiento a temperatura ambiente se han registrado valores del 40% de AGL en tres semanas. En cambio, el CO₂ se ha ensayado con éxito para la conservación del arroz elaborado, preservándolo de los insectos y de los mohos. En general, los insectos no sobreviven a concentraciones de oxígeno ni al aire intergranular inferiores al 2% en volumen. Tampoco resisten niveles de CO₂ superiores al 35% en atmósferas ricas en O₂ (15%-21%) [19]. La técnica CEM (siglas en inglés de método de intercambio de bióxido de carbono) combina estos principios con la capacidad del arroz de absorber reversiblemente cantidades elevadas de CO₂ (a 20°C, el grano elaborado absorbe unos 200 µl por gramo en 24 horas) [20, 21, 22]. En el proceso, el grano en atmósfera de CO₂ se envasa en plástico termosoldable de baja permeabilidad, que se cierra herméticamente. El arroz absorbe el CO₂ y el envase queda como al vacío, con la protección interior del CO₂. El salvado tiene una capacidad de absorción más baja que el arroz elaborado (109 µl por gramo a 25°C en 24 horas) [23], pero es suficiente para el proceso CEM. Por otra parte, la absorción del gas no sólo se debe a la condensación capilar en zonas porosas, sino a la absorción por los compuestos nitrogenados, particularmente las proteínas. Sin embargo, la proteína enzimática no parece resultar afectada. La interacción entre proteína y CO₂ depende más de la absorción física que de la reacción química o quimisorción.

Irradiación

Se ha ensayado la irradiación como medio potencial de estabilizar el salvado de arroz. La información disponible data de principios del decenio de 1960. En un caso [17], el salvado se trató con rayos gamma. Las pruebas se realizaron en un equipo con fuentes de Co⁶⁰ de 500 curies, sometiendo las muestras de salvado (de 100 gramos) a tratamientos de 225.000 rads por hora. Las dosis ensayadas, que variaron de 2×10^6 a 12×10^6 rads, resultaron inefectivas para impedir el aumento del contenido de AGL durante el almacenamiento posterior a 20°C. La irradiación (dosis de 2×10^6 rads) no produjo, por sí misma, aumento de la acidez. A resultados opuestos se llegó en otro caso [24], en el que la irradiación por rayos gamma se realizó empleando una unidad de Co⁶⁰ de 1.000 curies, sometiendo las muestras de salvado a tratamientos de 102.300 rads por hora, de diversa duración, con dosis resultantes que variaron desde 1×10^5 a $1,2 \times 10^6$ rads. Los efectos de los tratamientos se evaluaron mezclando el salvado tratado con aceite vegetal neutro (aceite de semilla de algodón), en la proporción de 1 a 10 en peso,

incubando la mezcla a 35°C y determinando el contenido de AGL en función del tiempo de incubación. El hecho de que el nivel de AGL se mantuviese constante e igual al del salvado inicial, a lo largo de seis semanas de incubación, indujo a los autores a deducir que la dosis más elevada ($1,2 \times 10^6$ rads) había inactivado completamente la lipasa. La irradiación a las dosis ensayadas no produjo cambios ni en el contenido de ácidos grasos ni en el índice de yodo del aceite.

La irradiación con plasma gas se ha aplicado al arroz descascarado y al salvado con el fin de frenar el desarrollo de AGL del aceite del salvado, pero los resultados no fueron satisfactorios [18, 25, 26]. El arroz descascarado (muestras de 30 g), irradiado durante 15 minutos a 30mA de intensidad y a 2 mm de mercurio, envasado en bolsas de papel kraft y almacenado a 23°C y humedad relativa del 50%, se deterioró menos que el arroz no tratado, pero el contenido en AGL del salvado separado de él aumentó del 3,1% al 6,3% en seis días. El salvado (muestras de 10 g), previamente secado en estufa durante tres horas a 85°C hasta alcanzar el 2% de humedad e irradiado siete minutos a 50 mA o cinco minutos a 100 mA de intensidad, a 2 mm de mercurio, también se deterioró en pocos días almacenado a 23°C en atmósferas del 75% y 92% de humedad relativa. La irradiación a 100 mA y 2 mm de mercurio durante cinco minutos produjo notables modificaciones en los lípidos del salvado. El rendimiento en aceite extraíble con éter de petróleo descendió casi a la mitad, el índice de yodo disminuyó de 101 a 70 y el peso molecular medio aumentó casi al doble (de 765 a 1.243).

La técnica de irradiación tiene también graves limitaciones de orden técnico y económico. Es tan compleja, las instalaciones son tan grandes y los costos de inversión tan elevados, que no son compatibles con los recursos técnicos y económicos para la producción y comercialización del salvado.

La estabilización por calor: técnica muy aceptada

A la luz de los conocimientos actuales, la solución a la estabilización del salvado debe buscarse en el tratamiento térmico. Ya en 1903, Browne demostró que calentando el salvado, inmediatamente después de la molienda, hasta 99°C, se retardaba considerablemente la alteración hidrolítica [27]. Actualmente existen varias alternativas de proceso y de equipo para estabilizar el salvado de arroz, pero el progreso alcanzado desde los trabajos de Browne no es muy grande, considerando el tiempo transcurrido y particularmente si se tiene en cuenta los grandes esfuerzos realizados en los últimos 30 años. Falta encontrar todavía soluciones a diversas exigencias de orden económico y funcional para que se pueda adoptar esta tecnología a gran escala.

Los procesos térmicos de estabilización pueden dividirse en dos grandes grupos: a) los que no añaden agua (en forma líquida o vapor) al salvado en ninguna etapa, y b) los que añaden agua (en forma líquida o vapor) al salvado en alguna de sus etapas. Esta clasificación parece más conveniente que la que se hace con frecuencia entre el tratamiento con calor "húmedo" y con calor "seco", por cuanto es difícil definir con precisión los términos húmedo y seco

en relación con el tratamiento del salvado y aplicarlos acertadamente a los distintos procesos conocidos. Por otra parte, la adición de agua al salvado —común a una serie de métodos— crea una condición característica, diferencial, al reducir la termorresistencia de enzimas y microorganismos.

Estabilización por calor sin adición de agua

La aportación de calor al salvado se puede hacer por diversos medios: manteniendo el subproducto en una atmósfera caliente (estufa o mufla); poniéndolo en contacto directo con una corriente de aire caliente; transmitiéndole calor a través de las paredes de un recipiente abierto (transportador de tornillo, por ejemplo), o cerrado herméticamente; sometándolo a fricción (como en el caso de los extrusionadores); utilizando radiaciones infrarrojas, etc. Todos estos métodos hacen que la temperatura se eleve a determinados niveles durante periodos específicos.

En el cuadro 2 se resumen las condiciones recomendadas por diversos autores para la estabilización del salvado por tratamiento térmico sin adición de agua. Resulta evidente inmediatamente que hay valores muy dispares, difícilmente conciliables. Son ejemplos los procesos A-2 y A-5 (105°C durante tres horas frente a 80°C durante media hora) y B-1 y B-2 (350°C durante 10 minutos frente a 200°C durante 10 minutos). Lamentablemente, la información publicada sobre los procesos estudiados es incompleta (en parte, porque no era posible comprobar todos los parámetros que intervenían). La casi totalidad de los estudios utiliza como criterio único de medida en la eficacia de la estabilización el incremento de AGL durante el almacenamiento. Este índice depende también de factores ajenos a la eficacia del tratamiento térmico, como son, por ejemplo, la contaminación posterior con microorganismos productores de lipasa y la absorción de humedad durante el almacenamiento. Por otra parte, muchos de los trabajos publicados no indican las condiciones precisas de almacenamiento (temperatura, contenido de humedad y de humedad relativa, o si el salvado está almacenado al aire o en envases permeables), ni tampoco las características del salvado inmediatamente después del tratamiento (actividad lipásica residual, flora microbiana productora de lipasas, contenido de humedad). Si se tiene en cuenta que la conservación del salvado depende de todos estos parámetros, es evidente la dificultad de hacer un estudio comparativo de los datos recomendados (que se resumen en el cuadro 2) y de la eficacia de los tratamientos indicados por los diversos autores. Hay no obstante unos cuantos puntos que pueden ser de interés para determinar la eficacia de los diversos procesos y condiciones enumerados en el cuadro 2.

En este sentido, son básicos los trabajos de West y Cruz [29] sobre los efectos del tratamiento térmico del salvado en estufa eléctrica, ensayando diversas condiciones de tiempo y temperatura. El tratamiento térmico comporta la reducción drástica de la humedad del salvado, de lo que resulta una disminución de la actividad enzimática. Para determinar los efectos del tratamiento térmico, teniendo en cuenta la diferencia entre la humedad producida y la inactivación enzimática real, diseñaron y llevaron a cabo el

CUADRO 2. DIFERENTES TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO SIN ADICIÓN DE AGUA

Grupo	Temperatura (°C)	Tiempo	Tipo de tratamiento y contenido final de humedad (porcentaje)	Observaciones	Fuente
A-1	110	2 h	3,7	Sin que absorba humedad	Loeb, Morris y Dollear [6], Pe [28]
A-2	105	3 h	En estufa, agitación continua: ≈ 0	Sin que absorba humedad	West y Cruz [29], Arnott y Lim [13]
A-3	105	1 h	..	—	Jaganmohan y otros [30]
A-4	98 \pm 2	30 min	30 min de enfriamiento hermético: 0,75	En envases herméticos	Instituto de Investigaciones Tecnológicas (Colombia) [31]
A-5	80 \pm 2	30 min	30 min enfriamiento hermético: 2,2	En envases herméticos	Instituto de Investigaciones Tecnológicas (Colombia) [31]
B-1	350	10 min	Calentado en mufla, sobre bandeja de aluminio: 1,95	Sin protección de humedad	Sidhom, El-Tabey Shehata y Mohaseb [32]
B-2	200	10 min	Secado en bandejas en capas de 6-8 mm	Secado. El salvado chamuscado a 160° C durante 25 min y a 200° C durante 15 min	Arnott y Lim [15]
B-3	110	20 min	—	Actividad lipásica residual igual a cero	Srimani y otros [33, 34]
B-4	120	15 min	Infrarrojos: 1,0	—	Gómez y Primo [3]
B-5	120	5 min	—	Actividad lipásica residual baja	Ramkrishniah, Sawarkar y Sen [35]
B-6	(P+T+C) ^a	30 min	6-7	Aumento gradual de AGL	Viraktamath y Desikachar [36] y Ramanathan, Krishna y Sen [37]
B-7	(P+T+C) ^a	45 min	7-8	Aumento gradual de AGL	Pillaiyar, Yusuff y Narayanasamy [38]
B-8	110-120	1 seg por ciclo	Número de ciclos 1-3: humedad no especificada	Aumento de AGL	Khem Chand y Gupta [39, 40]
B-9	155	18 seg en extrusionador	..	Actividad peroxidásica residual 3,1% en extrusionador Bonnot	Cheigh [41]
	130	18 seg en extrusionador	..	Actividad peroxidásica residual 20,8% en MFM-KIST	
B-10	132	No indicado (en extrusionador)	6	Actividad peroxidásica residual 30% No aumentan los AGL	Lin y Cater [42]

^aP = precalentamiento desde temperatura ambiente a 110°-115° C (unos 15-20 minutos); T = tratamiento a 110°-115° C durante 5 minutos; C = enfriamiento de 110°-115° C hasta presión atmosférica y descarga del producto.

experimento siguiente: una parte de la muestra tratada se colocó en contenedores herméticos, y otra parte en frascos de vidrio estériles tapados con algodón estéril. En esas condiciones el salvado podía reabsorber humedad, al tiempo que quedaba protegido de la contaminación microbiana exterior. Si los enzimas habían sido realmente inactivados por el tratamiento, el contenido de AGL no debía aumentar cuando el salvado reabsorbiera la humedad perdida. Si, por el contrario, los enzimas no habían sido inactivados realmente, sino frenada su actividad por falta de agua, el salvado no mostraría cambios en el contenido de AGL mientras se mantuviera envasado en recipientes herméticos, pero recuperaría su actividad enzimática tan pronto como la humedad retornara a los niveles usuales. Los resultados de este experimento indicaron que la actividad enzimática no se destruye totalmente con tratamientos de tres a cuatro horas a temperaturas entre 100°C y 120°C, ya que aumentaba el contenido de AGL cuando se reabsorbía la humedad (5,5%-6,5%). Ahora bien, si el salvado tratado no reabsorbía la humedad (es decir, si el grado de absorción era inferior al 1%), el contenido de AGL no aumentaba. Teniendo en cuenta que las temperaturas superiores a 105°C durante largos períodos del tratamiento oscurecen el color del salvado, los autores recomendaron que el salvado se tratase a 105°C durante tres horas y se conservara luego en recipientes herméticos.

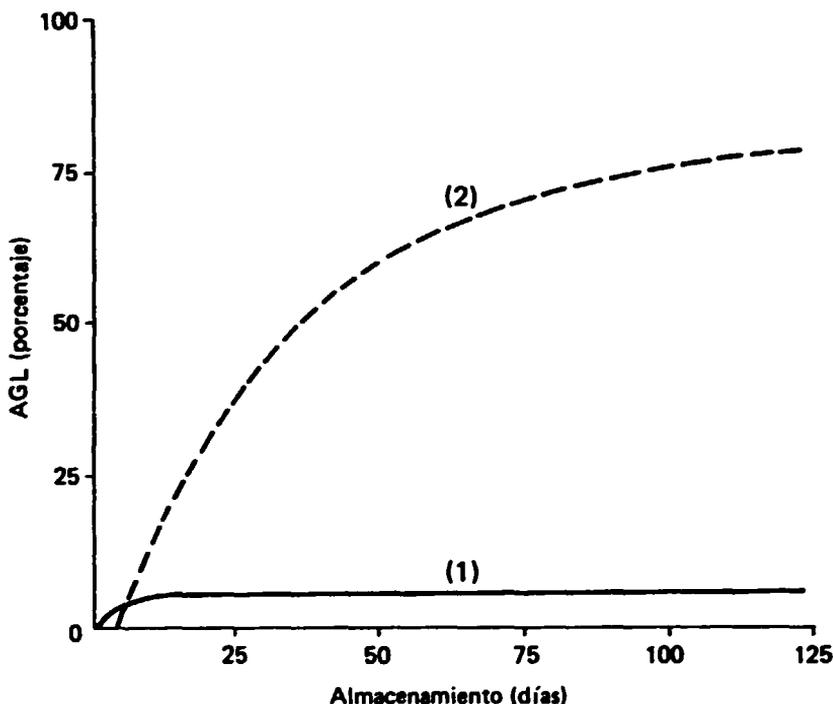
Leob, Morris y Dollear [6] llegaron a las mismas conclusiones utilizando procedimientos semejantes al de West y Cruz, en un trabajo que también se puede considerar fundamental. Los autores observaron que el salvado crudo tratado a 110°C durante dos horas, con humedad resultante del 3,7%, podía conservarse durante más de dos meses a 25°C sin que aumentase el contenido de AGL, a condición de que estuviese guardado en un recipiente hermético, pero que se registraba un rápido aumento de la acidez si se restablecía el contenido de humedad original (12,9%) mediante la adición de agua (véase la figura 1).

Los procesos de estabilización térmicos que no añaden agua pueden reducir o anular la actividad enzimática no sólo por rebajar la humedad, sino también por inactivar realmente el enzima. Sin embargo, sin la adición de agua, los enzimas son más resistentes y requieren condiciones más severas para que este método tenga efectos significativos.

A condición de que la humedad del salvado tratado se mantenga suficientemente baja, el tratamiento de estabilización será aparentemente satisfactorio. Los niveles de humedad recomendados para evitar un aumento de los AGL varían entre el 3% y el 6% [6, 28, 29, 43, 44]. Probablemente sea ésta la causa de la disparidad que se observa en las condiciones enumeradas en el cuadro 2 y la dificultad de conciliarlas.

Las condiciones necesarias para los procesos del grupo B enumerados en el cuadro 2 difieren de las correspondientes al grupo A. Se emplean temperaturas más elevadas durante períodos más breves. La reducción del tiempo de tratamiento no sólo se consigue utilizando temperaturas más elevadas, como en el proceso B-1, que trabaja a temperatura de 350°C durante 10 minutos [32], sino también: a) aumentando la velocidad de transmisión de calor (con lo que el salvado alcanza antes la temperatura de régimen), como en el proceso B-4,

Figura 1. Cambios del contenido de AGL durante el almacenamiento de salvado tratado durante dos horas a 110°C



Clave:

- 1) Muestra almacenada con la humedad resultante del tratamiento (3,7%)
- 2) Muestra almacenada después de añadirle agua para reconstituir la humedad del salvado sin tratar.

Fuente: Loeb, Morris y Dollear [6].

que usa rayos infrarrojos a 120°C durante 15 minutos [3], y b) aumentando la velocidad de secado [45], como en el proceso B-5, empleando una temperatura de 120°C durante cinco minutos, y en el proceso B-8, que utiliza una temperatura de 120°C durante tres ciclos a un segundo por ciclo [39, 40].

En experimentos realizados por Srimani y otros [33, 34, 46], el salvado se trató a 100°C, 110°C y 120°C durante 10, 15 y 20 minutos, respectivamente, en un pequeño recipiente provisto de un agitador lento, todo ello sumergido en un baño de aceite termostataado. La eficacia de los tratamientos se evaluó determinando la actividad lipásica residual. Los resultados (véase el cuadro 3) indican la necesidad de calentar el salvado durante 20 minutos por lo menos para destruir la lipasa. Estos resultados parecen contradecir las conclusiones de West y Cruz [29] y Loeb, Morris y Dollear [6], que, tras haber tratado el

CUADRO 3. CONDICIONES PARA INACTIVAR LA LIPASA DEL SALVADO POR TRATAMIENTO TÉRMICO SIN ADICIÓN DE AGUA

<i>Tratamiento</i>		
<i>Temperatura (grados centígrados)</i>	<i>Tiempo (minutos)</i>	<i>Actividad lipásica residual^a</i>
		1.04 (salvado original)
100	10	0.90
100	15	0.34
100	20	0.14
110	10	0.97
110	15	0.20
110	20	0
120	5	0.97
120	10	0.41
120	15	0.14

Fuente: Srimani, Chattopadhyay y Bose [46].

^aMicroequivalentes de ácido producido por minuto por centímetro cúbico de solución de enzima.

salvado durante tres y dos horas respectivamente a 110°C, todavía detectaron actividad lipolítica.

Debe señalarse que cuando se utilizan altas temperaturas existe el riesgo de chamuscar el salvado y, en consecuencia, que el aceite tome un color oscuro permanente. Esto puede ocurrir cuando el tratamiento se realiza durante un segundo a 250°C [45], durante 15 minutos a 200°C o durante 25 minutos a 160°C [13] y durante varias horas a 105°C [29]. Se ha señalado que el calentamiento prolongado a altas temperaturas disminuye la calidad del aceite (la decoloración se hace difícil) y, como el salvado se quema a temperaturas superiores a 120°C y el aceite desprende olor a quemado, se recomienda no pasar de 110°C [33, 34]. Otro inconveniente de calentar a altas temperaturas durante tiempo prolongado es que el aceite del salvado inicia la alteración por vía oxidativa. Si el salvado tratado no se enfría, existe el riesgo de combustión espontánea durante el almacenamiento.

Hay que señalar también que, siempre que el proceso dé como resultado la desnaturalización enzimática, la aplicación de altas temperaturas durante períodos muy breves, particularmente al salvado con contenido de humedad bajo, proporciona un medio muy favorable para la regeneración.

Tipos de estabilizadores en uso

En el estudio que West y Cruz hicieron en 1933 [29], se decía que la Oficina de Ciencias de Filipinas había instalado un "cocedor" para estabilizar salvado. El aparato tenía la forma de un tambor, de 100 cm de diámetro y 40 cm de altura. Fondo y paredes estaban rodeados por una camisa de vapor, y un agitador, ubicado cerca del fondo, servía para remover el salvado durante el tratamiento. En el mismo trabajo se incluye un procedimiento casero, sencillo y rudimentario, para estabilizar salvado, que se conservará en buenas condiciones durante una semana o más. El procedimiento consiste en calentar el

salvado, recién obtenido, en una sartén, sobre un fuego bajo, agitando continuamente por espacio de una hora y a continuación envasar el producto en un bote o frasco de vidrio, herméticamente cerrado. En los 50 años transcurridos desde la publicación de West y Cruz se ha desarrollado una variedad de aparatos especialmente diseñados para estabilizar salvado por procesos térmicos que no adicionan agua, al tiempo que se han ensayado otros dispositivos ya existentes para otros fines. Todos esos tipos pueden clasificarse en cuatro grupos de aparatos básicos, a saber: transportador o tambor abierto, tambor rotario cerrado, lecho fluido y extrusionador.

Estabilizadores basados en un transportador o un tambor abierto

Pe [28] habla de una planta instalada en un molino de Birmania con capacidad para cinco toneladas al día. Está constituida por un secadero, provisto de un transportador de paletas o de tornillo con camisa de vapor, en el que el salvado, en capa de poco espesor, circula durante 90 a 120 minutos y sale con una temperatura no superior a 110°C y un contenido de humedad de un 4% aproximadamente. El estudio de Pe no indica ni el tiempo de residencia ni el tiempo necesario para adquirir la temperatura de régimen. A la salida, el salvado se enfría hasta 80°C y se envasa en sacos impermeables. La vida de almacenamiento del producto así tratado se cifraba en tres o cuatro meses por lo menos si no había infestación por insectos. En la fecha de la publicación (1971), la unidad estabilizadora descrita todavía no se había aplicado comercialmente².

Se ha informado de que en la India [47] se ha diseñado un estabilizador consistente en un transportador de tornillo, con paletas de mezcla, provisto de una camisa por la que circula aceite como fluido de calefacción. El empleo de aceite permite alcanzar fácilmente temperaturas superiores a los 100°C y recircular el fluido de calefacción con la consiguiente economía de combustible. No obstante, este modelo particular debe presentar algunos problemas porque todavía no se ha introducido en la industria.

También se ha hablado [48] de un estabilizador experimental continuo, con capacidad para 8 a 16 kg/h, en el que los gases producidos por la combustión de cascarilla se utilizan para el calentamiento indirecto del salvado. Consta de un transportador de tornillos sin fin, movido por un motor de 1 hp. El transportador se aloja en una zanja subterránea de mampostería que comunica el quemador de cascarilla con la chimenea. Los gases de combustión circulan por el espacio libre entre la zanja y las paredes del transportador, con lo que calienta el salvado.

Se han realizado también pruebas de estabilización con un equipo deshidratador de forraje, consistente en un cilindro rotatorio en el que el salvado y el aire caliente circulan en paralelo. Con temperaturas de tratamiento de 110°C y 120°C y un tiempo de residencia de unos 8 minutos, es posible reducir la humedad inicial del 9,8% al 1,5%. No obstante, el tratamiento no evita la formación de AGL cuando el salvado se almacena en sacos de yute y en condiciones ambientales (temperatura media de 29°C y humedad relativa de 73%).

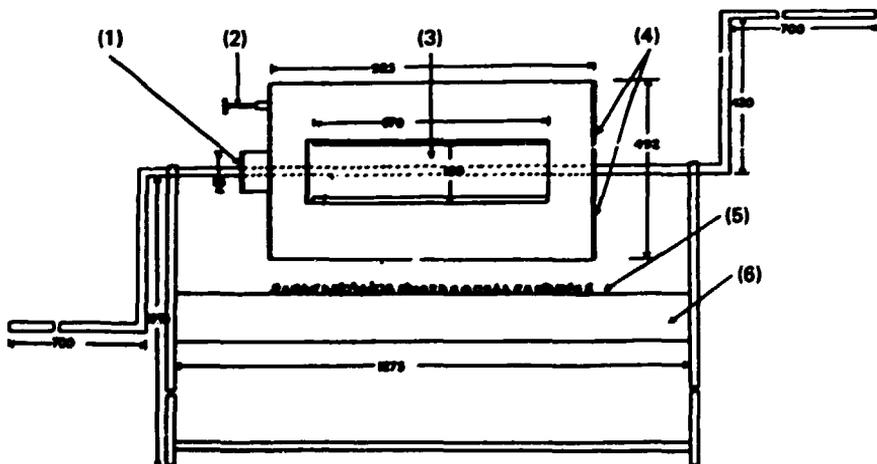
Kuppuswami [49] ha hablado de un estabilizador para utilizar en pequeños molinos rurales, que ha sido diseñado, construido y ensayado en la

²Recientemente se ha instalado en Birmania un gran número de unidades de estabilización a escala industrial, un tanto diferente del tipo expuesto.

India. La unidad, que tiene capacidad tan solo de 5 kg, consiste en un cilindro metálico, dotado de un eje central que sirve de apoyo y se utiliza para hacer rotar manualmente el tambor. El eje tiene brazos con paletas que, al rotar, mueven el salvado. El cilindro se coloca sobre dos o tres pequeños hornos que pueden quemar cascarilla de arroz. Según Kuppuswami, se han alcanzado niveles de estabilización satisfactorios manteniendo temperaturas próximas a los 100°C durante periodos de tiempo suficientemente largos.

Una idea análoga se ha puesto en práctica a mayor escala [30] con un sencillo estabilizador manual portátil, que funciona por cargas, y con capacidad para 75 kg. El estabilizador consiste en un tambor de plancha de acero galvanizado con un eje central, apoyado en dos soportes, y dotado de una manivela para que el tambor gire manualmente (véase la figura 2). El tambor tiene una boca rectangular, para la carga y la descarga, y lugar para un termómetro que se utiliza para controlar la temperatura del salvado. En uno de los lados, una lumbrera permite el escape del vapor y gases volátiles producidos durante el tratamiento. Sobre una parrilla, colocada a pocos centímetros debajo del tambor se quema cascarilla de arroz, leña, o cualquier residuo agroindustrial adecuado, para calentar el salvado contenido en el tambor. Para llevar a cabo la operación, el salvado, una vez cargado en el tambor, se calienta durante media hora a una hora a temperaturas de 90° a 105°C y luego se descarga y se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente, momento en el cual está dispuesto para su ensacado y almacenado. El salvado empieza

Figura 2. Estabilizador de funcionamiento manual



Clave:

- 1) Lumbrera para salida del vapor
- 2) Termómetro
- 3) Puerta de la boca de carga
- 4) Orificios para la entrada de aire
- 5) Parrilla
- 6) Cenicero

Fuente: Jaganmohan y otros [30].

teniendo un contenido de humedad del 10%, que luego se reduce al 5%. La reducción de las condiciones de tratamiento a niveles menos severos (0,5 horas a 90°C) no reduce, al parecer, su eficacia. El aumento en el porcentaje de AGL después de una semana de almacenamiento (condiciones no especificadas) es insignificante, pero la actividad lipásica no se anula. Las pérdidas de refinación del aceite extraído del salvado original y del salvado tratado almacenado una semana son comparables, como también lo es el color de los aceites correspondientes una vez neutralizados y blanqueados (véase el cuadro 4).

CUADRO 4 EFECTOS QUE EJERCE EN EL COLOR DEL ACEITE EL TRATAMIENTO DEL SALVADO EN EL ESTABILIZADOR MANUAL^a

Salvado	Color Lovibond ^b (célula de 24 cm)		
	Amarillo	Rojo	Amarillo + 5 rojo
Lote original núm. 1	9,5	0,9	14,0
Lote núm. 1 tratado durante una hora a 105° C y almacenado durante siete días	11	1,5	18,5
Lote original núm. 2	3,5	0,4	5,5
Lote núm. 2 tratado durante una hora a 90° C y almacenado durante siete días	3,0	0,5	5,5

^aVéase Jaganmohan y otros [30].

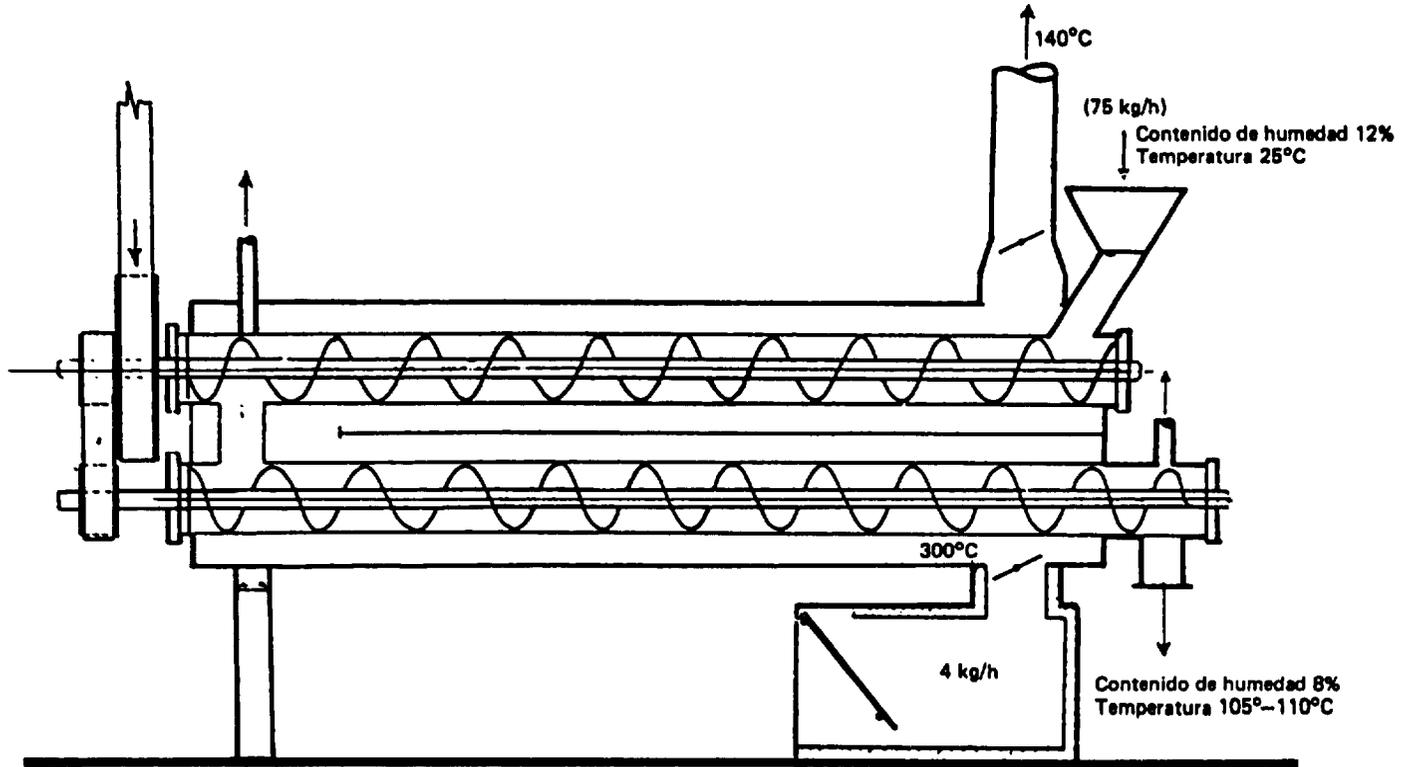
^bAceite neutralizado y blanqueado según métodos prescritos por la American Oil Chemists Society.

La idea de combinar la unidad estabilizadora y una fuente de energía basada en la combustión de cascarilla de arroz es muy atractiva. De hecho, ha sido recomendada por la ONUDI [50, 51]. La figura 3 muestra el esquema de un estabilizador diseñado con tal fin [52], que, sin embargo, no llegó a construirse. El diseño incluye dos transportadores de tornillo, de 22,8 cm de diámetro, con una longitud total de 3,8 m, dotados con camisa de calefacción. La potencia total máxima es de 4,5 hp. Los gases de combustión circulan por la camisa en dirección opuesta a la del salvado que circula por los transportadores. Unas lumbreras permiten eliminar el vapor de agua desprendido por el salvado. Dando por supuesta una entrada de 75 kg/h de salvado, a 25°C y un 12% de humedad, el producto tratado saldría a 105-110°C con un contenido de humedad del 8%, y un tiempo de retención de 20 minutos. La fuente de energía consumiría unos 4 kg/h de cascarilla. El diagrama de flujo se resume en la figura 4. El salvado tratado debe enfriarse hasta 70°C antes de envasarlo en sacos de arpillera.

Salgado de Oliveira [52] ha diseñado una planta estabilizadora con enfriador de banda incorporado (véase la figura 5)³. El cuerpo inactivador es un tambor metálico, con camisa de vapor, dispuesto horizontalmente; el eje que lo atraviesa, solidario al tambor, está movido por un motor adecuado. La

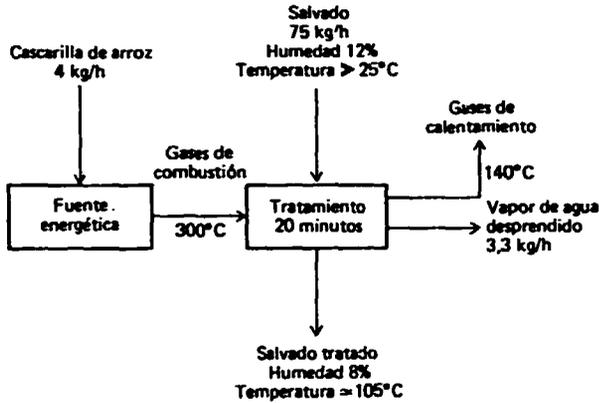
³No se tienen noticias de que se haya construido esta unidad.

Figura 3. Estabilizador que utiliza calor indirecto de gases producidos por la combustión de cascarilla



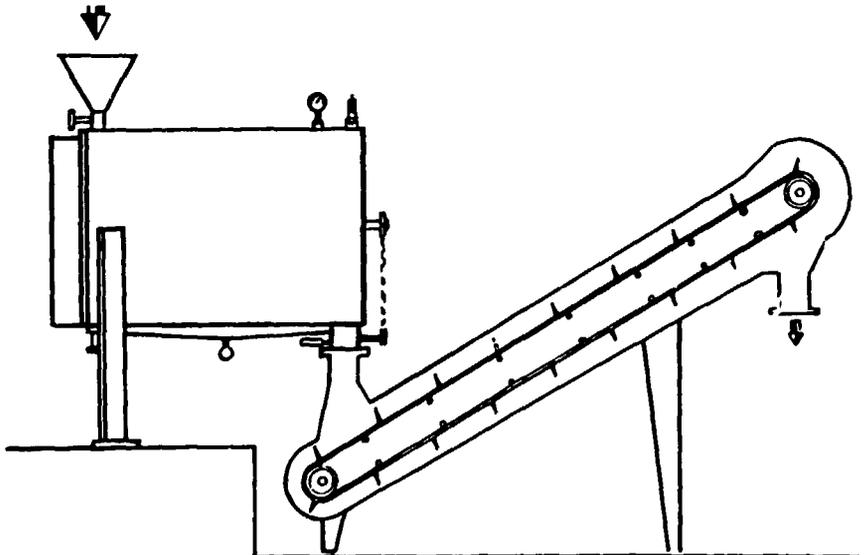
Fuente: Applied Scientific Research Corporation de Tailandia [52].

Figura 4. Diagrama de flujo de un proceso de estabilización que utiliza calor indirecto de gases producidos por la combustión de cascarilla



Fuente: Applied Scientific Research Corporation de Tailandia [52].

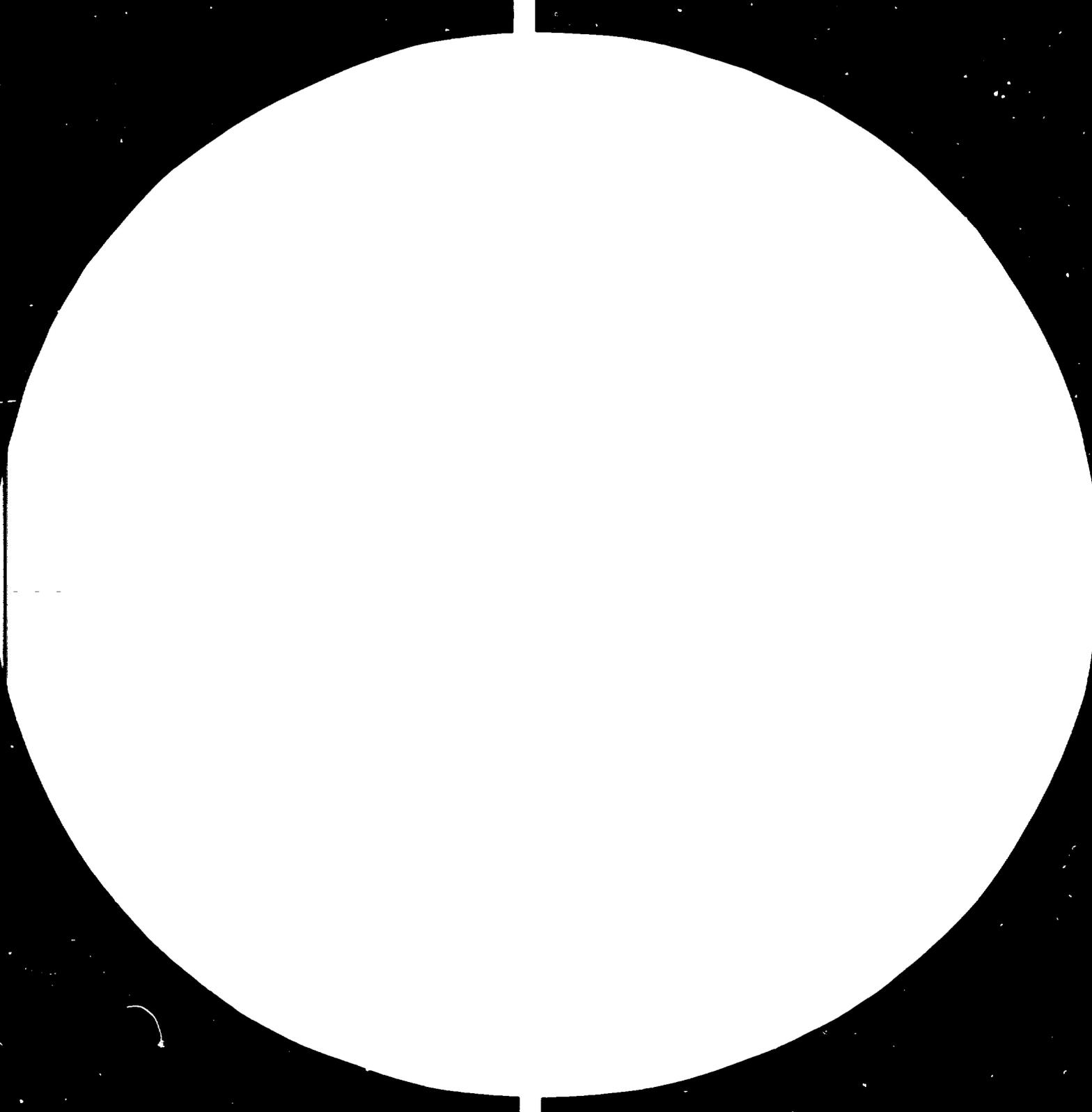
Figura 5. Inactivador de salvado combinado con enfriador

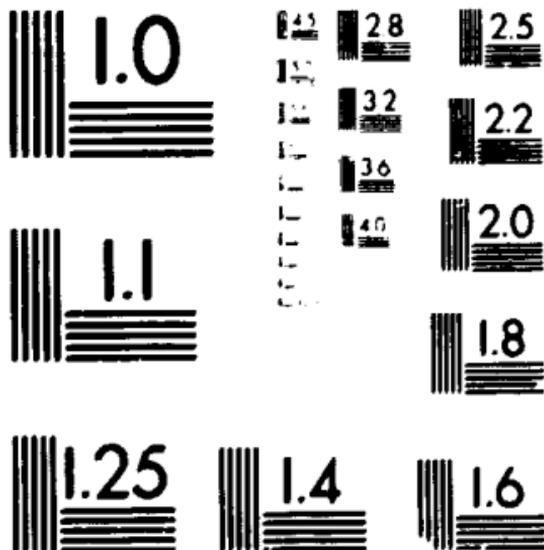


Fuente: Salgado de Oliveira [53].

unidad está diseñada para trabajar en forma continua. El tambor tiene en su interior un transportador de cinta que mezcla y al propio tiempo hace circular el salvado hacia el extremo de salida. El vapor desprendido por el salvado al calentarse (la temperatura es de 105-110°C) sale libremente por la válvula de evacuación. El salvado tratado se descarga directamente sobre el enfriador, que trabaja por convección natural o, todavía mejor, con un pequeño ventilador.

89 07 31





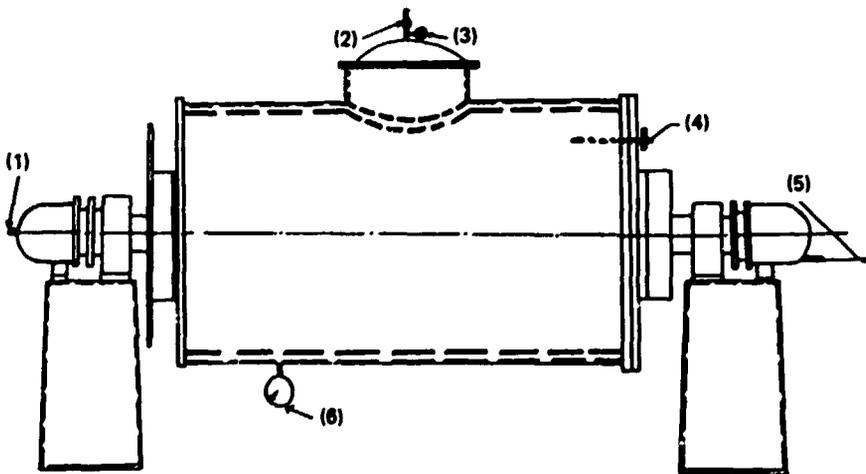
MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

Estabilizadores basados en un tambor cerrado

Viraktamath y Desikachar [36] han publicado los resultados de sus experimentos de estabilización empleando un tambor rotatorio, calentado por resistencias eléctricas. El aparato está provisto de una tapa de cierre hermético y dispositivos para controlar la temperatura y la presión, así como una válvula de seguridad y de evacuación de vapor. El tambor se cargó con 20 a 25 kg de salvado, se procedió a cerrar la tapa dejando abierta la válvula de evacuación de vapor y se elevó la temperatura. La válvula se mantuvo abierta durante 2 minutos una vez que empezó a salir el vapor, con objeto de purgar el aire, y luego se cerró, continuando el tratamiento hasta que el termómetro indicó que el salvado estaba a temperatura de 110 a 115°C. Se mantuvo esa temperatura durante 5 minutos y luego se abrió la válvula hasta reducir a 0 la presión excesiva. Una vez abierta la tapa, se sacó el salvado y se dejó enfriar. El contenido de AGL del salvado, empaquetado en sacos de tela y almacenado a 37°C y una humedad relativa del 70%, sólo aumentó entre un 4% y un 10% en 120 días, siendo éste el único criterio de evaluación utilizado.

La idea básica de calentar el salvado en un recipiente cerrado ha dado lugar a varias soluciones alternativas posteriores. Una de ellas (véase la figura 6) [37] consiste en un cilindro metálico horizontal, con camisa de vapor o dos ejes concéntricos huecos para la calefacción con vapor a presión. La boca, para la carga y descarga del salvado, va provista de tapa apropiada para el cierre hermético, con válvula de evacuación de vapor. El aparato incluye

Figura 6. Estabilizador del Instituto Central de Investigaciones Tecnológicas Alimentarias (Mysore)



Clave:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1) Entrada de vapor | 4) Termómetro |
| 2) Válvula de purga | 5) Condensado |
| 3) Manómetro de presión interior | 6) Manómetro de presión interior |

Fuente: Ramanathan, Krishna y Sen [37].

indicadores de temperatura y presión y válvulas de seguridad. El cilindro gira a 8 rpm, impulsado por un motor de 5 hp. La operación es por cargas de 200-350 kg⁴. La operación es idéntica a la descrita para el estabilizador anterior. Las condiciones de tratamiento son algo más suaves (5 minutos a 100°C, en lugar de estar a 110-115°C), pero la operación es completa, sin incluir el enfriamiento posterior, continúa requiriendo unos 30 minutos. El salvado pierde 4 a 5 unidades por ciento de humedad. Los datos publicados indican que después de 60 días de almacenamiento (en condiciones no especificadas), el nivel de AGL del salvado estabilizado era del 4%, en tanto que el del salvado original había sido del 2,8%. La humedad del salvado estabilizado al principio del almacenamiento fue del 4,3% y aumentó a 5,5% en el plazo de un mes.

Lakshminarayan [54] describe brevemente una unidad análoga, para la que da los siguientes datos: a) capacidad, 0,8 m³, que pueden alojarse unos 240 kg de salvado; b) espesor de la plancha del tambor, 6 mm; c) velocidad de rotación, 10 rpm; d) potencia del motor, 5 hp; e) presión en el tambor interior, 5 psi para el salvado crudo y 2,5 psi para el salvado sancochado; f) consumo de vapor por carga, 30 kg a 40 psi, y g) tiempo requerido para la operación total, 45 minutos.

Pillaiyar, Yusuff y Narayanasamy [38] han diseñado, construido y experimentado un estabilizador basado también en un tambor cerrado, horizontal, rotatorio (8 a 10 rpm), con camisa de calefacción, que trabaja con aire caliente como fluido de calefacción indirecta (véase la figura 7). Un conducto central⁵, que atraviesa horizontalmente el tambor interior y al que van soldadas unas pletinas metálicas, contribuye a una mejor transmisión del calor. Las pletinas favorecen la mezcla homogénea del producto y evitan la formación de apelmazamientos a los que el salvado tiene tendencia manifiesta. En lugar de utilizar cojinetes de bola, que se estropean a altas temperaturas, emplean rodillos guía. El aparato tiene una boca para la carga y descarga, con tapa de cierre hermético, y va provisto de dispositivos de control de temperatura y de presión, así como de válvulas de evacuación de vapor y de seguridad. Lleva también una válvula de mariposa para regular la entrada de aire caliente. El aparato, que puede funcionar con cualquier fuente de aire caliente, se ha ensayado con éxito a base de un quemador de cascarilla fabricado en la India y un ventilador de 12,75 m³/min con motor de 1 hp⁶. El estabilizador carga unos 150 kg de salvado, dejando libre de 1/8 a 1/4 del volumen del tambor interior para facilitar la mezcla durante la rotación. La operación comprende cargar el producto, cerrar la tapa herméticamente, comenzar la rotación, calentar manteniendo abierta la válvula de purga hasta que el salvado alcance 90°C y luego cerrar la válvula y continuar el calentamiento hasta los 105°C manteniendo esa temperatura durante 5 minutos, para luego abrir la válvula de evacuación hasta reducir a 0 la presión interior, abrir la boca de carga para sacar el salvado y dejar que éste se enfríe antes de meterlo en sacos. Para una carga de 150 kg de salvado, y con una temperatura de entrada del aire de 240°C a 260°C, se tarda entre 45 y 50 minutos en alcanzar los 105°C, funcionando el aparato continuamente. La

⁴Los autores disponen de información técnica sobre unidades de 500 kg de capacidad [37].

⁵Otras soluciones alternativas pueden llevar tres conductos de este tipo.

⁶En lugar del ventilador, una chimenea de 9 m de altura por 20 cm de diámetro proporciona la corriente de aire necesaria para el quemador.

pérdida de humedad durante el tratamiento es del orden de 2,5 a 4,0 unidades por 100. La capacidad de almacenamiento de las partidas de salvado tratado, con un contenido de humedad final del 6% aproximadamente, es satisfactorio; el contenido de AGL (única característica medida) apenas aumentó en tres o cuatro meses de almacenamiento en condiciones no especificadas.

El estabilizador que se ilustra en la figura 8 presenta la novedad de incorporar una bomba de vacío que acelera la eliminación de la humedad del salvado. No se tienen noticias de su aplicación industrial.

Estabilizadores de lecho fluidificado en corriente de aire caliente

El hecho de que la actividad enzimática disminuya considerablemente cuando la humedad del salvado se reduce a niveles muy bajos (1% a 3%) sugiere la posibilidad de estabilizar el producto mediante el secado. Para alcanzar niveles tan bajos de humedad sin emplear tiempos de tratamiento prolongados ni temperaturas elevadas, que puedan dañar al salvado, algunos investigadores han explorado la posibilidad de secar el salvado en un lecho fluidificado. Esto no significa que, en diferentes condiciones de tratamiento, el grado de estabilización alcanzado no se deba en parte a la reducción del contenido de humedad y en parte a la inactivación real por desnaturalización del enzima.

Srinivasa Rao y otros, por ejemplo, han estudiado en planta piloto la estabilización del salvado en un secadero de transporte neumático [45]. La característica sobresaliente de este equipo es el tiempo extraordinariamente corto de contacto entre el salvado y el aire caliente que sirve para secarlo. El equipo utilizado se esquematiza en la figura 9. Consiste en un ventilador centrífugo de 170 m³/h que impulsa aire a 457 mm de presión para pasar por un orificio, un calentador eléctrico de 12 kW y un inyector. El salvado se incorpora a la corriente de aire caliente a través del inyector. Salvado y aire circulan por una columna de 75 mm de diámetro y 7,75 m de altura, protegida con aislamiento térmico. El salvado secado se separa en un ciclón. Los datos de rendimiento de este tipo de secador son los siguientes.

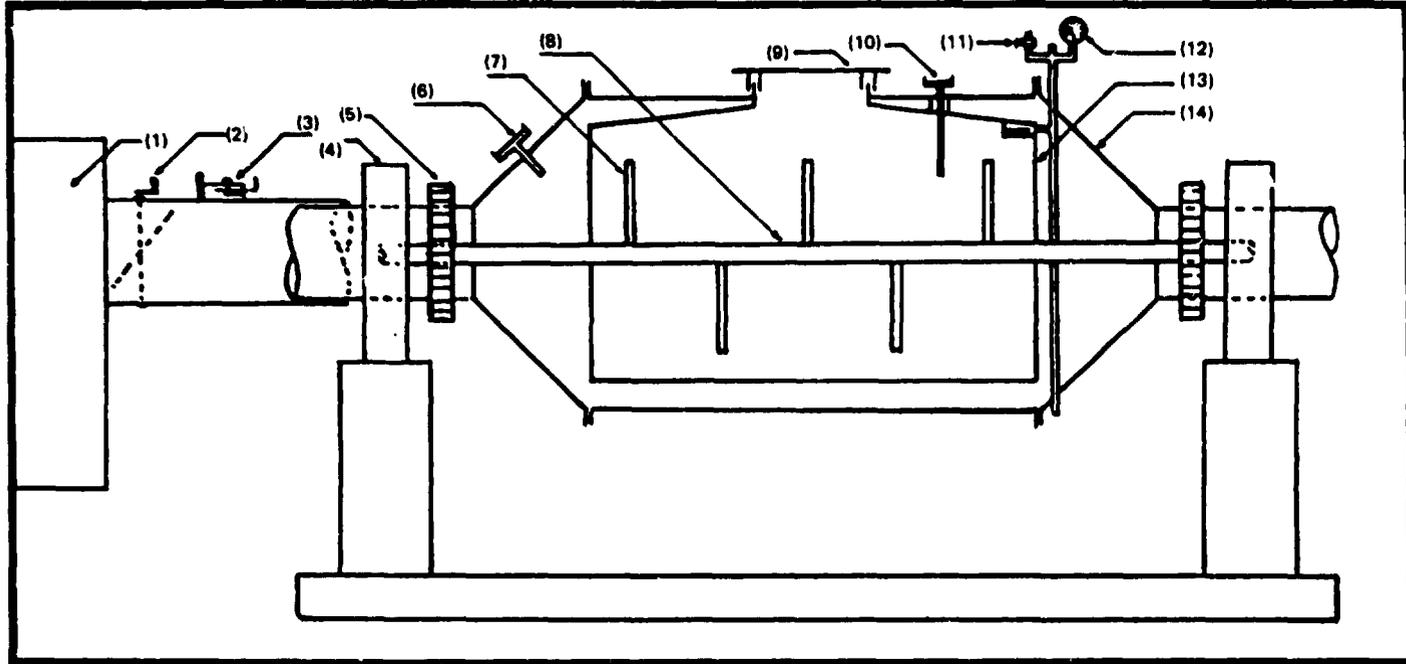
Capacidad	54,4 kg de producto húmedo por hora
Capacidad de evaporación	3,63 kg de agua por hora
Humedad inicial del salvado (base seca)	10,1%
Humedad final del salvado (base seca)	2,76%
Temperatura del aire a la entrada	196°C
Temperatura del aire a la salida	111°C
Caudal de aire a la temperatura de entrada	189 m ³ /h
Relación aire/salvado	2,62
Temperatura del salvado a la entrada	27°C
Temperatura del salvado a la salida	75°C
Número de unidades de transferencia	0,981
Altura de columna	7,75 m
Altura de unidades de transferencia	7,93 m
Diámetro de la columna	75 mm
Tipo de energía utilizada	Electricidad
Consumo de energía	3,321 kW h/kg de agua evaporada

Figura 7. Estabilizador de aire caliente combinado con quemador de cascarilla

A. *Fotografías de la planta piloto*



B. Diagrama del estabilizador

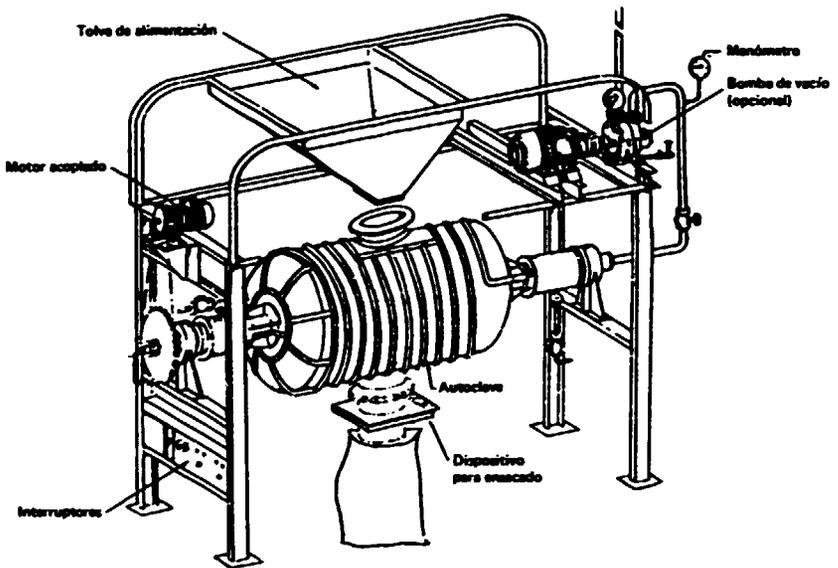


Clave:

- | | | | | |
|------------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1) Quemador | 4) Rodillo guía | 7) Hojas | 9) Tapa | 12) Manómetro |
| 2) Válvula de mariposa | 5) Rueda dentada | 8) Conducto interior de aire caliente | 10) Termómetro | 13) Tambor interior |
| 3) Válvula corrediza | 6) Termómetro | | 11) Válvula de aire | 14) Tambor exterior |

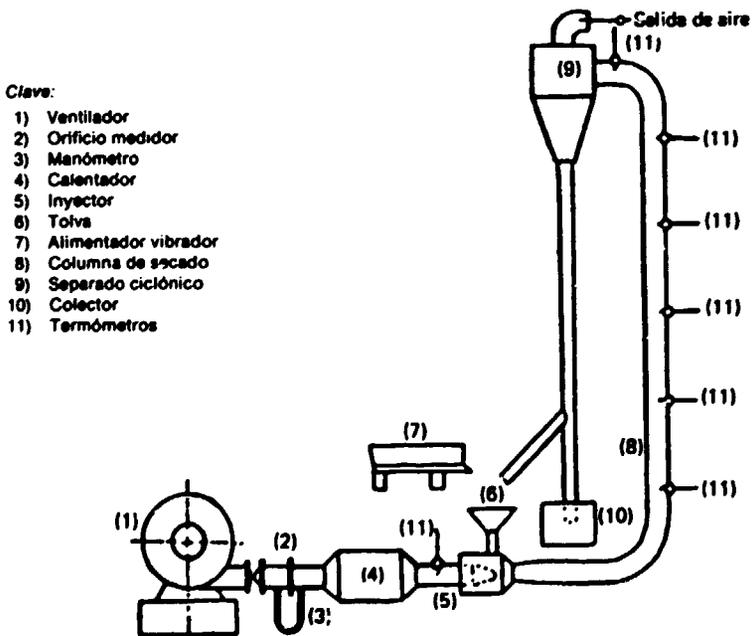
Fuente: Pillaiyar, Yusuff y Narayanasamy [38].

Figura 8. Estabilizador de salvado



Fuente: Servotech. Eng. PVT. Ltd.

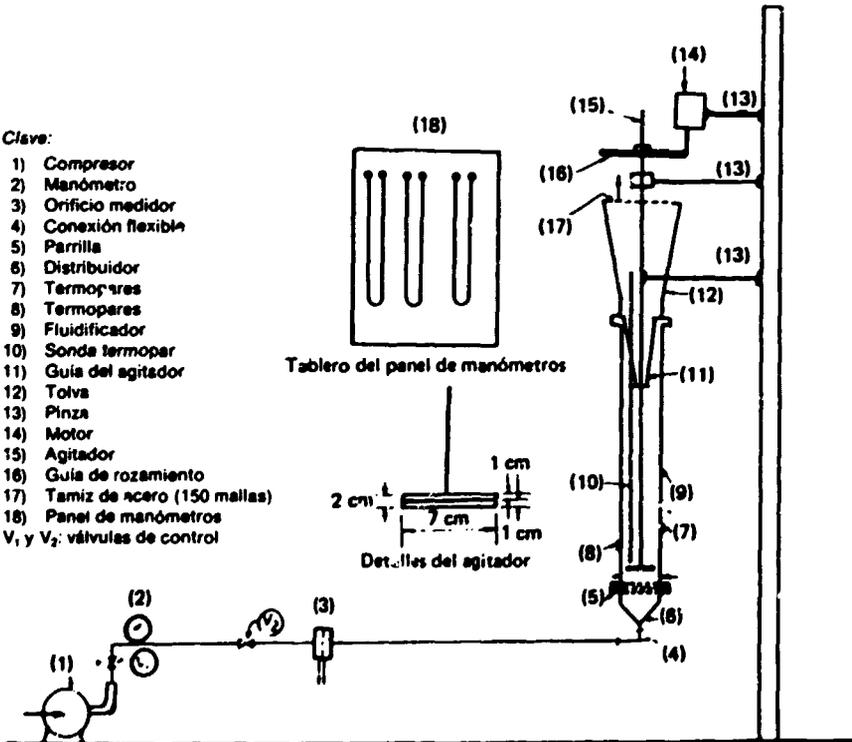
Figura 9. Secador de transporte neumático



Fuente: Srinivasa Rao y otros [45].

El salvado posee unas características poco adecuadas para la fluidificación; por ejemplo, tiene tendencia a formar "canales" durante la operación. La consecuencia inmediata de ello es que la temperatura en el lecho no es homogénea y los efectos del tratamiento tampoco. Para evitar este inconveniente, Ramkrishniah, Sawarkar y Sen [35] utilizaron un agitador de pequeña velocidad que rompe los canales formados y mejora la fluidificación. El equipo utilizado se esquematiza en la figura 10. Consiste esencialmente en una columna de acero inoxidable de 7,5 cm de diámetro y 90 cm de altura, provista de un calefactor tubular eléctrico, una rejilla de 150 mallas, que hace de distribuidor al pie de la columna, un agitador de pala de 7 cm de longitud por 0,5 cm de espesor colocado a 1 cm por encima del distribuidor y una pequeña tolva. Para una velocidad del agitador de 60 rpm, la velocidad del aire requerida para la fluidificación de 250 g de salvado fue de 3,85 m³/h. El equipo se ensayó con diferentes condiciones de tiempo (2 a 10 minutos) y temperaturas (105°C y 120°C). La eficacia del tratamiento, en función del aumento de los AGL (único criterio utilizado) durante el almacenamiento (en condiciones no especificadas), es, según parece, satisfactoria.

Figura 10. Dispositivo de lecho fluidificado con agitación para estabilizar salvado de arroz



Fuente: Ramkrishniah, Sawarkar y Sen [35].

La baja conductividad del salvado y la heterogeneidad de tamaño y forma de las partículas hacen difícil lograr el calentamiento uniforme de una partida. Para solucionar este problema, que parece común a la mayoría de los métodos convencionales de estabilización que comportan tratamiento térmico. Kem Chand y Gupta y Bal, Sawarkar y Bhati [39, 40, 55] han utilizado un método para transferir calor en lecho fluidificado de fase densa y fase diluida combinadas. Las partículas de la fase densa (constituidas por arena) son de tal naturaleza que no pueden ser transportadas por la corriente de aire, sino que permanecen en estado de circulación constante en la zona de transferencia de calor. Las partículas de la fase diluida (constituidas por salvado) y, por ello, transportadas por la corriente de aire pasan a través de la fase densa donde se calientan uniformemente. Este sistema presenta varias ventajas: a) el coeficiente de transferencia de calor es de 3,5 a 7 veces mayor que el de una columna de lecho fijo; b) las partículas tienen mayor oportunidad para alcanzar una temperatura uniforme; c) el tiempo de tratamiento es más corto y por tanto también la longitud necesaria de la columna, y d) la capacidad del equipo se puede aumentar fácilmente sin modificar sus dimensiones, simplemente aumentando la cantidad de aire y las calorías suministradas. El estabilizador de la figura 11 fue diseñado y fabricado de acuerdo con estos principios; consiste en una columna de 5 cm de diámetro y 1,8 m de altura, provista de resistencias eléctricas para la calefacción⁷. Un ventilador proporciona aire a una presión máxima de 5 cm de caudal de agua, regulado por una válvula de mariposa, según necesidades; el flujo de aire se hace uniforme mediante un tubo Venturi con reducción de 5 cm a 2,5 cm. Un ciclón separa el salvado a la salida de la columna. Se utiliza arena de 0,5 a 1 mm de diámetro, que se carga por la parte superior y la velocidad del aire se ajusta para mantener estable la zona densa. El salvado se carga por la parte inferior de la columna, a través de una pequeña tolva en la zona de succión del ventilador. El tiempo de retención del salvado en la columna es de 30 a 70 segundos. Según los autores, con una columna de 5 cm de diámetro y 150 cm de altura, partículas de arena de 0,4 a 0,5 mm de diámetro y velocidad del aire de 3 m/seg, trabajando en proceso continuo, el estabilizador puede elevar la temperatura del salvado de 25°C a 120°C en un solo paso, con una capacidad de 0,72 kg de salvado por minuto. Según los autores, en la operación no se produce arrastre de arena que perjudique la calidad del salvado; el contenido de AGL del salvado tratado a 150°C y almacenado en condiciones no especificadas durante un ciclo de cuatro semanas aumentó del 3,3% al 5%. Éste fue el único parámetro evaluado. Los autores recomiendan tres pasos, a 150°C, para lograr una estabilización más eficaz.

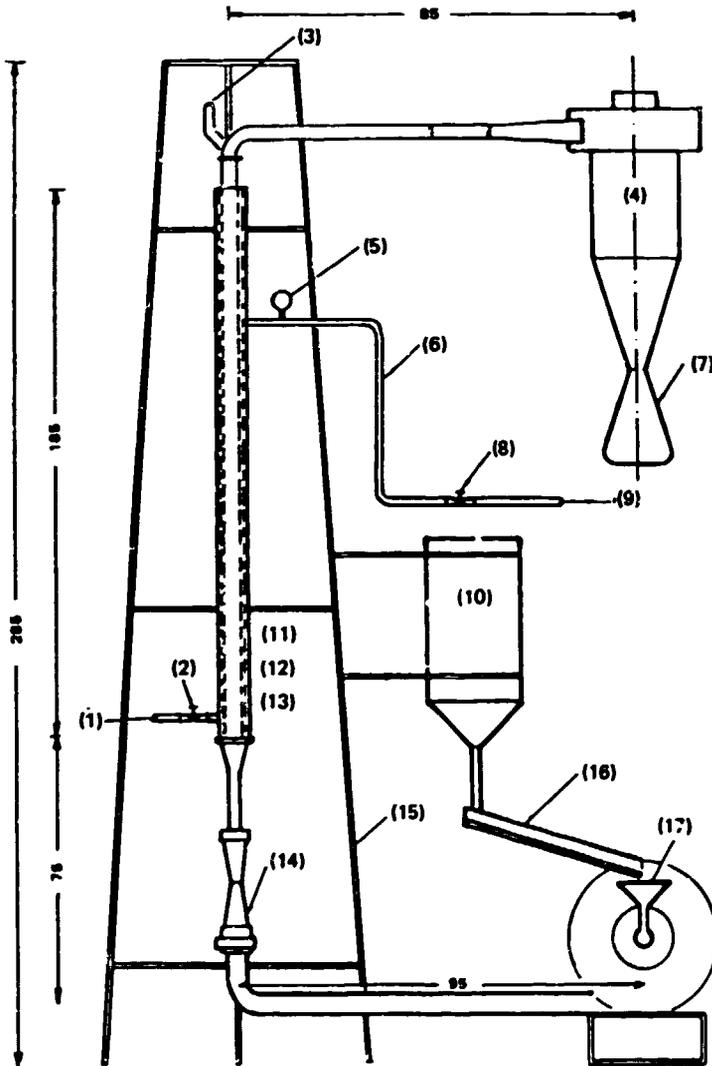
Extrusionadores

El extrusionador transforma la energía mecánica de un tornillo de presión en calor mediante fricción y el cizallamiento que ocurre cuando un producto granular es comprimido y forzado a través de un orificio. Consiste esencialmente en un tornillo, una carcasa, una hilera o matriz, un dispositivo de alimentación, una unidad de energía y un juego de transmisión, con los correspondientes mecanismos de control.

Williams y Baer [56] utilizaron una máquina de este tipo, fabricada en los Estados Unidos, para estabilizar salvado, si bien con adición de agua.

⁷Se emplearon 12 calefactores de 1.000 vatios cada uno.

Figura 11. Estabilizador de lecho fluidificado de fases combinadas*



Ciave:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1) Condensador | 10) Tolva para el salvado |
| 2) Válvula | 11) Recubrimiento de amianto |
| 3) Dispositivo para entrada de arena | 12) Tubo para el vapor |
| 4) Separador ciclónico | 13) Tubo de hierro galvanizado |
| 5) Manómetro | 14) Tubo Venturi |
| 6) Tubo flexible para el vapor | 15) Soporte |
| 7) Saco esterilizado | 16) Alimentador por vibración |
| 8) Válvula de seguridad | 17) Abertura de alimentación en el lado de la succión |
| 9) Vapor de la caldera | |

Fuente: Kem Chand y Gupta [39, 40] y Bai, Savarkar y Bhati [53].

*No está a escala, dimensiones en centímetros.

Posteriormente, Viraktamath y Desikachar [36] emplearon con el mismo fin una prensa "expeller", de fabricación japonesa, y más recientemente varios investigadores (Lin y Cater [42]; Pablo y Sangalang [57]; Mukhopadhyay [58], Bhumiratana [59]; Harper y otros [60]; Sayre [61] y Enochian y otros [62]) han explorado las posibilidades del Brady Crop Cooker, fabricado en los Estados Unidos de América, en tanto que Cheigh y otros, del Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología (KIST), han experimentado con el extrusionador MFM-KIST, fabricado por el propio Instituto a partir de un diseño original de la Meals for Millions Foundation (MFM) de los Estados Unidos [41, 63]. Cheigh también ensayó un extrusionador Bonnot de laboratorio [41]. Aunque hay algunos otros tipos más o menos análogos de extrusionadores, no parecen haber sido utilizados para la estabilización del salvado.

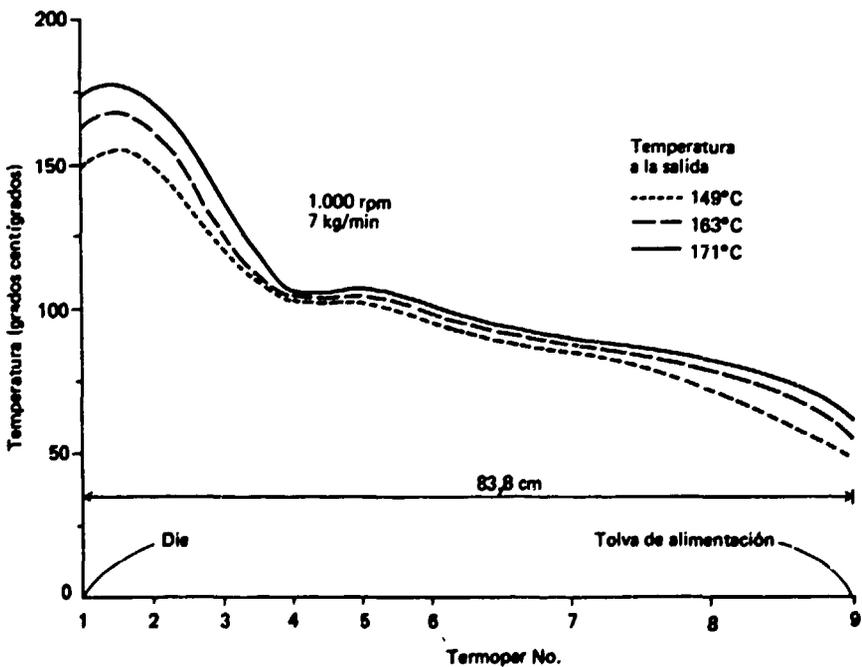
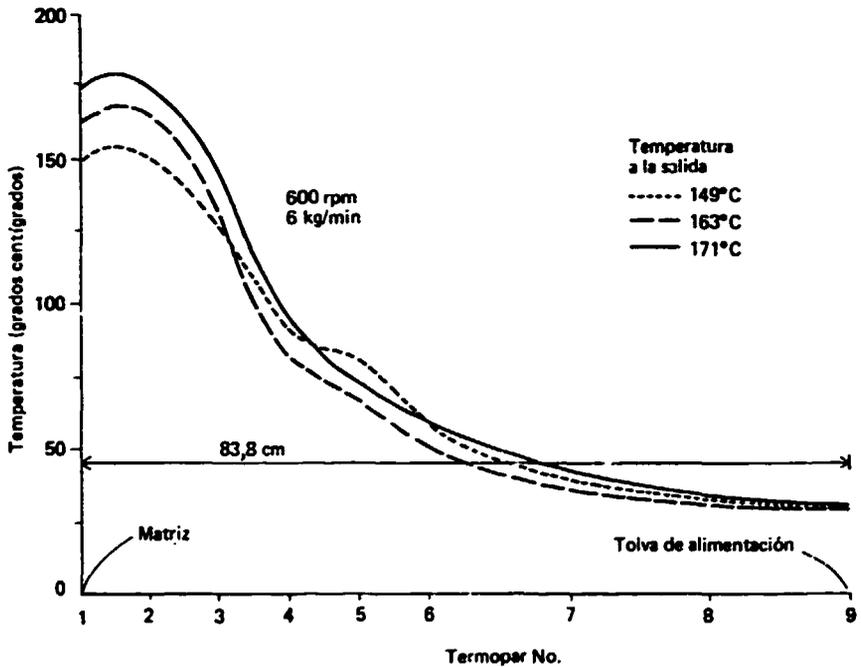
Desde hace años, se vienen utilizando ampliamente los extrusionadores para la preparación de alimentos precocidos a base de mezclas de cereales y leguminosas o semillas oleaginosas. Algunas de las funciones que desempeñan son igualmente válidas para su aplicación al salvado; por ejemplo, la inactivación térmica de enzimas y de inhibidores de enzimas de acción fisiológica, la destrucción de microorganismos e insectos para lograr un producto higiénico, y la prolongada conservación de los extrusionados obtenidos, dado su bajo contenido de humedad. Los extrusionadores trabajan a temperaturas que van entre 80°C y 155°C, si bien las temperaturas más adecuadas parecen situarse en torno a 110°C [36]. Debe señalarse, no obstante, que el tiempo de residencia es muy corto y que el producto recorre la mayor parte de su trayecto a lo largo del tornillo antes de alcanzar la temperatura máxima, estando expuesto a las temperaturas más altas solamente en un tramo muy corto del extrusionador (véase la figura 12). A pesar de ello, los efectos sobre los enzimas del salvado pueden ser importantes. Cheigh [41] logró reducir la actividad peroxidásica del salvado al 3,1% del valor original, con un tiempo de residencia de 18 segundos y temperatura (a la salida) de 155°C en un extrusionador de laboratorio, y al 20,8%, en el mismo tiempo, a 130°C en un extrusionador MFM-KIST (véase *infra*) de 100 kg/h de capacidad (cuadro 5).

La caída de presión que experimenta el salvado a la descarga del extrusionador, junto con la elevada temperatura que posee, provoca una pérdida de humedad por evaporación súbita del agua. Lin y Cater [42] han evaluado dichas pérdidas en función de la temperatura del salvado a la salida del extrusionador (véase la figura 13). Cheigh [41] ha publicado datos relativos a un extrusionador Bonnot de laboratorio (véase el cuadro 6).

El extrusionador Brady 206 Crop Cooker tiene un tornillo extrusor de 15 cm de diámetro y 1 m de longitud^a conectado directamente al eje de un tractor agrícola que le comunica el movimiento. La máquina incluye un sistema hidráulico de aceite con bomba hidráulica, depósito de aceite, válvula de control y motor hidráulico. El motor gira una pequeña rosca que dosifica el producto desde la tolva de alimentación hasta la entrada del extrusionador. Con la válvula de control se puede variar la velocidad de la rosca dosificadora desde 0 a 50 rpm, regulando el volumen de producto que es alimentado a la máquina. La válvula ayuda a controlar la temperatura de tratamiento y la capacidad de carga, dependiendo de la potencia del tractor. El producto es

^aEl tornillo extrusor mide 12,7 cm de diámetro y 86,4 cm de longitud. Tiene un paso constante de 3,81 cm y encaja en una camisa provista de tres "barras de ruptura" [64].

Figura 12. Extrusor de bajo costo: perfil de temperaturas



Fuente: Harper y otros [60].

CUADRO 5. EXTRUSIONADORES: EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y DEL TIEMPO DE RESIDENCIA SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y LA ACTIVIDAD PEROXIDÁSICA DEL SALVADO DE ARROZ

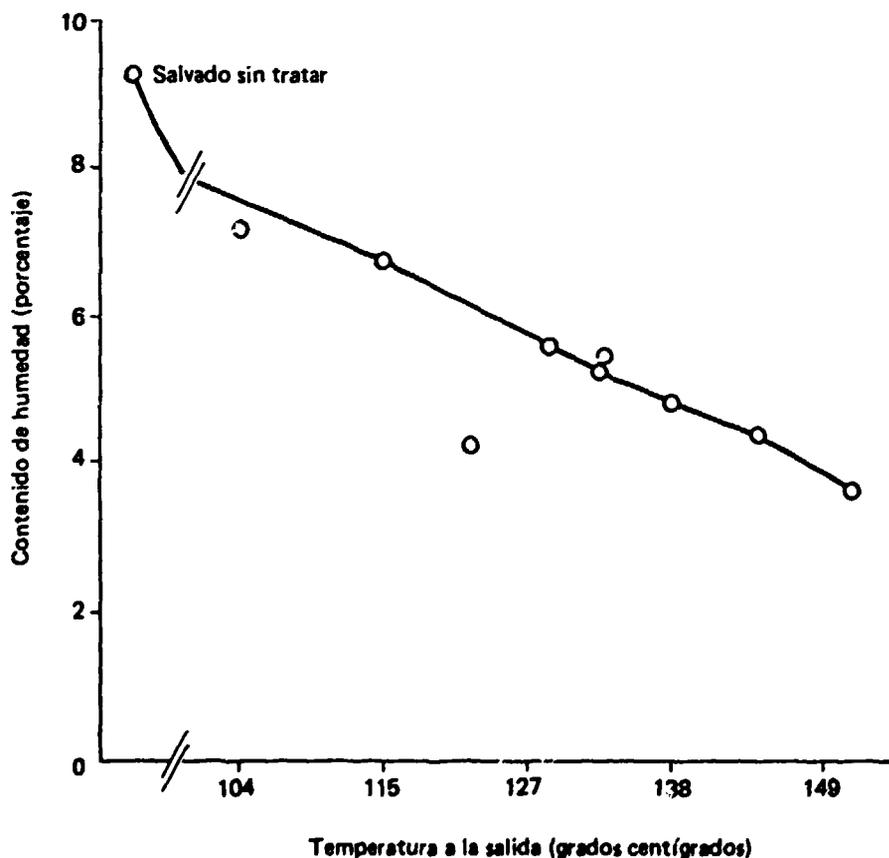
Tipo de extrusor	Temperatura de salida (grados centígrados)	Tiempo (segundos)	Contenido de humedad (porcentaje) ^a	Actividad peroxidásica residual (porcentaje) ^b
Bonnot	121	18	9,2	45,1
Bonnot	138	14	8,5	23,1
Bonnot	155	18	7,0	3,1
MFM-KIST	130	18	8,1	20,8

Fuente: Cheigh [41].

^aContenido de humedad original 11,1%.

^bActividad peroxidásica original 100%.

Figura 13. Extrusor. pérdidas de humedad del salvado de arroz a diferentes temperaturas



Fuente: Lin y Cater [42].

CUADRO 6. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN, TEMPERATURA DE TRATAMIENTO Y CONSUMO DE ENERGÍA DURANTE LA EXTRUSIÓN DE SALVADO DE ARROZ

<i>Producción (kilogramos por hora)</i>	<i>Temperatura a la salida (grados centígrados)</i>	<i>Consumo específico de energía (kilovatios hora por kilogramo)</i>
110	146	0,040
145	140	0,038
167	133	0,037
188	131	0,038

Nota: El salvado se obtuvo por extrusión a través de una matriz de 4 mm.

forzado de un extremo a otro del tornillo extrusionador por el rotor, y gira a 500-1.200 rpm, según la potencia del tractor. La temperatura del producto se eleva notoriamente en las proximidades del extremo de descarga. Éste consiste en un cono de 16 cm de diámetro que casa con una cazoleta fija, ambos recambiables. La holgura entre el cono giratorio y la cazoleta fija se puede variar, para modificar la temperatura de extrusión. La forma del extrusionado no viene determinada por la periferia del cono giratorio. Algunas de estas unidades trabajan con un motor eléctrico de 100 hp y otras con unidades diesel, pero la mayoría, como ya se ha indicado, están acopladas a tractores de 65 a 130 hp [65]. Actualmente hay algunos modelos de 30 hp.

Las piezas que más se desgastan son el cono y la cazoleta. La vida de estas piezas no parece haber sido determinada para el salvado, pero es bien conocido el poder abrasivo de este subproducto, especialmente en estado seco. Por lo que respecta a otros productos, en particular granos de cereales, leguminosas y semillas, y teniendo en cuenta el contenido y tipo de impurezas, la vida de esas piezas puede variar desde 10 toneladas hasta más de 500. La presencia de polvo, suciedad y arena acelera el desgaste. El rotor también sufre desgaste [65]. En algunas máquinas análogas es aconsejable instalar un separador magnético para eliminar impurezas metálicas antes de que entren en el tornillo extrusor.

En el modelo Brady 206 hay dos dispositivos de control que regulan la temperatura del extrusor. El primero es la manivela de ajuste del cono, que regula la abertura de descarga e incide sobre el tiempo de residencia y el insumo de energía. El segundo control regula la alimentación de producto al extrusionador [64].

El tipo de extrusionador descrito es de fácil manejo. Una vez en marcha, basta alimentar la máquina con salvado y regular la salida. Con objeto de asegurarse de que se han alcanzado las condiciones de régimen de trabajo, hay que pasar una cierta cantidad de producto a través de la máquina a efectos de precalentamiento. Para parar la máquina, se abre hasta el máximo el cono de salida, dejando descender la temperatura sin que se cierre la alimentación de salvado. No se necesita desmontar el extrusor a efectos de limpieza, pero debe cuidarse de que no quede dentro de la máquina ningún salvado [64].

Se dedica considerable atención al mejoramiento del extrusionador Brady 206. Jackson [66] ha señalado la necesidad de modificar algunas características de la máquina para facilitar su mantenimiento en condiciones higiénicas, evitar

la obturación de la zona entre la rosca de alimentación y el tornillo extrusor y reducir el desgaste de este último. El Brady 205 fue diseñado en un principio para trabajar en forma intermitente en las granjas agrícolas. Para su adaptación al trabajo continuo en condiciones industriales, Harper y otros [60] han recomendado varias modificaciones, por ejemplo, en el sistema de lubricación y el de transmisión. Por su parte, Smith, Kellerby y Tribelhorn han recomendado la utilización de materiales más resistentes para la rosca del tornillo y el cono que regula la descarga [67].

Mukhopadhyay [58] dice haber estabilizado salvado de arroz sancochado con resultados satisfactorios utilizando el Brady 206 a temperaturas a la salida de 104° a 149°C. El único criterio aplicado fue la tasa de formación de AGL, la cual se mantuvo por debajo del 0,5% cuando el salvado se almacenó durante un mes a temperatura no especificada. Durante ese tiempo el contenido de humedad se situó entre el 3,5% y el 5,5%. Bhumiratana [59] dice haber llegado a resultados análogos tratando el salvado a temperaturas entre 77°C y 110°C, pero tampoco en este caso especificó las condiciones en que se almacenó el salvado.

Trabajando en Filipinas con el mismo tipo de máquina, Harper y otros [60] elaboraron tres tipos comerciales de salvado sin dificultad alguna. Esos tres tipos eran: el común o basto, que es una mezcla de salvado, cascarilla y residuos de la molienda; el tipo medio, que contiene una pequeña proporción de cascarilla, y el tipo fino, sin cascarilla, de tamaño de partícula entre 60 y 80 mallas (250 a 177 μm). El salvado se trató a varias temperaturas (desde 138° a 171°C), a razón de 295 kg/h. Las temperaturas más altas requirieron trabajar con muy poca holgura en la boca de descarga, lo que causó atascamiento en la alimentación. La adición de un 1% de agua (no se indica la humedad del salvado) facilitó la operación pero impidió rebasar los 141°C. No se dan datos de los efectos del tratamiento sobre la estabilidad del salvado. Los autores señalaron el efecto abrasivo del salvado sobre el tornillo extrusor, que quedó muy pulido después de la operación. El salvado extrusionado tenía forma de plaquetas de unos 6 mm de diámetro.

Lin y Cater [42], trabajando con un extrusionador movido por un tractor de 100 hp, trataron salvado de 9,3% de humedad y 18,8% de contenido de aceite a varias temperaturas desde 104° a 152°C y evaluaron los efectos determinando la actividad peroxidásica residual y el aumento de AGL durante el almacenamiento en condiciones bien determinadas. Las muestras tratadas a 122°C o más, envasadas en bolsas impermeables de polietileno, no mostraron aumento alguno de AGL en los 23 días de almacenamiento hermético a temperatura ambiente (23° a 28°C), durante los cuales mantuvieron su contenido de humedad por debajo del 6%. El almacenamiento subsiguiente del salvado, por un período de cuatro días adicionales, a 35°C y 100% de humedad relativa, en recipientes abiertos, produjo un aumento de los AGL en las muestras tratadas a temperaturas inferiores a 132°C, pero no en aquellas tratadas a una temperatura superior. No se dan datos para un almacenamiento más prolongado. Durante los cuatro días extra, la humedad de las muestras ascendió hasta el 12,0% o 12,5%. La actividad residual de peroxidasa del salvado extrusionado a 132°C fue del orden del 30% (véase la figura 14).

En una investigación posterior, Pablo y Sangalang [57] confirmaron que cuando se extrusiona salvado a 138°C la humedad disminuye del 11,9% al

5,54% y que el producto tratado, con esta humedad, envasado en bolsas de polietileno a 22°C durante 80 días, no muestra aumento de AGL.

El extrusionador MFM-KIST [41] consiste en un tornillo de presión de 63,5 mm de diámetro, de paso de rosca constante. La carcasa del tornillo está dividida en tres secciones y carece de dispositivos de enfriamiento o calefacción. La superficie interior de la carcasa tiene cuatro rebordes o pestañas que corren paralelos al eje longitudinal. El extrusionador está movido por un motor de 30 hp y está dotado de una caja de cambios de tres velocidades. Las características técnicas de la máquina [41] son las siguientes:

Motor principal	1.750 rpm, 22 kW (30hp)
Motor de alimentador de salvado	1.710 rpm, 1,5kW (2 hp)
Corriente eléctrica	220 V, trifásica, 60 Hz
Transmisión	(1) 1:11,5 (2) 1:6,5 (3) 1:4,0
Velocidad del eje de tornillo	(1) 150 rpm (2) 273 rpm (3) 430 rpm
Diámetro del tornillo	63,5 mm
Capacidad de producción máxima	80 a 100 kg/h
Longitud × altura × anchura	200 × 200 × 190 cm

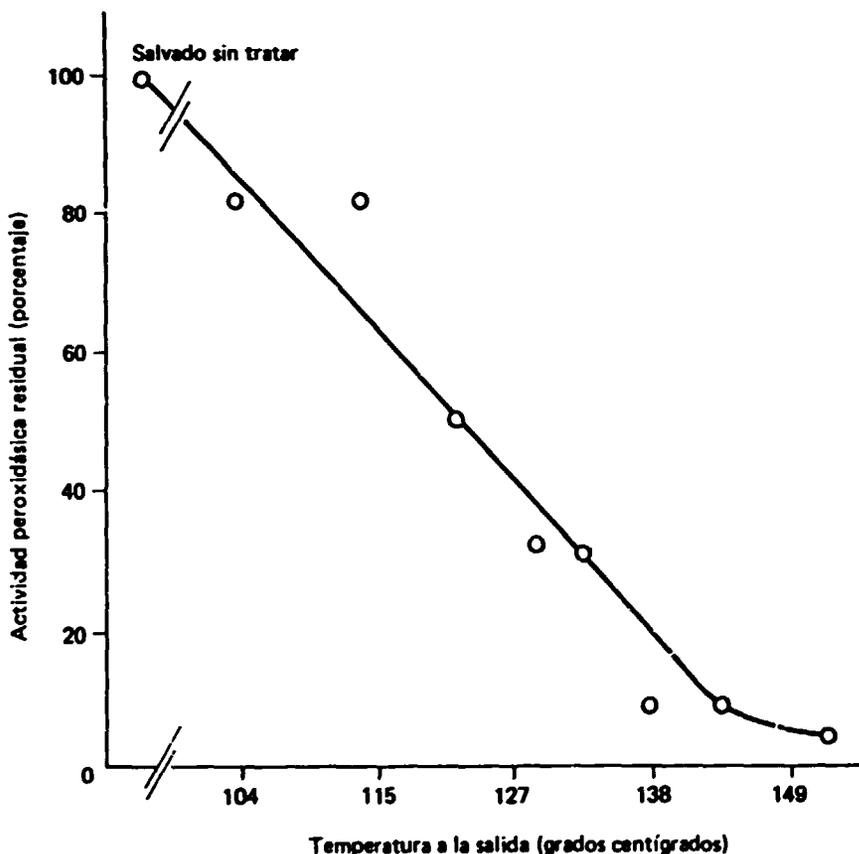
El tratamiento de salvado de arroz a 130°C y 18 segundos de tiempo total de retención, sin adición de agua, redujo la actividad de peroxidasa al 23% del valor inicial. Sin embargo, el salvado tratado, con 8,1% de humedad residual (11,1% en el salvado sin tratar), envasado en sacos de algodón y almacenado a 30°C y 87% de humedad relativa, duplicó en menos de tres semanas el contenido de AGL que originalmente era del 8%.

Un modelo diferente (KIST-EO 3030-100), con capacidad para 150 kg/h, tiene un tornillo de 100 mm de diámetro, que gira a 600-1.000 rpm movido por un motor de 30 hp en una carcasa con cuatro ranuras paralelas. No requiere la adición de agua para extrusionar el salvado. El consumo de energía, en función de la capacidad de producción y de la temperatura de extrusión, cuando el salvado sale de la máquina, aparece en el cuadro 6. La temperatura disminuye cuando aumenta la producción y el consumo energético aumenta cuando aumenta la temperatura. La extrusión reduce el contenido de humedad del salvado del 13,8% al 6%-9% según la temperatura del tratamiento, y ejerce un notable efecto inactivador sobre la peroxidasa. A 130°C la peroxidasa residual es el 16% de la inicial y el salvado así tratado mostró considerable reducción en su tendencia a la formación de AGL. Sin embargo, en dos semanas de almacenamiento a 32°C y 75% de humedad relativa, el contenido de AGL aumentó del 9% al 14% aproximadamente. También se dijo que eran favorables otras características del salvado extruido utilizado para la extracción de aceite (que se trata en otro lugar).

Estabilización térmica con adición de agua

Algunos procesos de estabilización comprenden la adición de agua al salvado, generalmente en forma de vapor. El vapor actúa con un doble papel:

Figura 14. Extrusionador: inactivación de la peroxidasa a diferentes temperaturas



Fuente: Lin y Cater [42].

a) como medio de calefacción, de elevado coeficiente de transferencia de calor y b) como medio de aumentar la actividad del agua del salvado y reducir la termorresistencia de los enzimas y microorganismos que contiene. No siempre se han tenido en cuenta estos dos aspectos cuando se ha utilizado vapor. Consecuencia de ello ha sido que, en muchos casos, mientras se lograba una transferencia de calor rápida y una homogeneidad de temperatura aceptable, la hidratación era lenta y la distribución de la humedad heterogénea, por lo que se han obtenido resultados muy diferentes en tratamientos que entrañaban una relación análoga de tiempo y temperatura.

Parece lógico clasificar los procesos desarrollados distinguiendo aquellos que procuran una mezcla íntima de salvado y vapor de otros que no persiguen tal fin.

Un caso particular lo constituyen aquellos procesos que tratan el salvado en el propio grano, ya sea en cáscara o descascarillado.

Clasificación de procesos

Por consiguiente, en las secciones que siguen se clasifican en tres tipos los procesos basados en el tratamiento con vapor: directo: a) estabilización del salvado en el mismo grano, antes de la molienda; b) estabilización del salvado en lecho fijo, y c) estabilización del salvado en lecho móvil. En este último caso es conveniente distinguir los procesos a presión normal de aquellos que utilizan extrusionadores.

Estabilización del salvado en el mismo grano, antes de la molienda, por tratamiento con vapor directo

Roberts y otros [68] y Jouston, Hunter y Kester [69] dicen que el tratamiento del arroz cáscara, recientemente cosechado, con vapor a 100°C, durante un minuto, era suficiente para impedir el desarrollo de AGL en el arroz descascarado con 13% de humedad, en 15 días de almacenamiento a 25°C. La actividad de la lipasa, aunque no la determinaron exactamente, se reducía de manera notable. Viraktamath y Lesikachar [34] obtuvieron resultados semejantes no sólo con arroz palay recientemente cosechado, y un 20% de humedad, sino también con palay de 12% a 14% de humedad. Ninguno de los autores citados lograron frenar totalmente el desarrollo de AGL cuando el almacenamiento se prolongó más de 10 ó 15 días. No obstante, con cinco y diez minutos de tratamiento el aumento de AGL en 80 días a 37°C fue insignificante.

Se ha demostrado que con los numerosos medios de sancochar el arroz [70, 71] se destruyen los enzimas. El grado de inactivación depende de las condiciones del proceso, particularmente en el tratamiento con vapor. Nawab y Ojha [72] han señalado que, generalmente, los diferentes métodos de sancochar arroz utilizan vapor saturado a 1-5 kg/cm² para el tratamiento de palay macerado y que los tiempos de tratamiento varían desde los 2-3 minutos para las cargas de pequeño tamaño, a los 20-30 minutos para las de gran tamaño. Teniendo en cuenta el elevado contenido de agua del arroz en el momento del tratamiento con vapor, probablemente bastarían los dos o tres minutos a una temperatura real de 100°C para inactivar la mayor parte, si no la totalidad, de la actividad enzimática del grano. Viraktamath y Desikachar [36] determinaron los efectos de diferentes métodos de sancochar empleando las condiciones que se especifican en el cuadro 7. El salvado obtenido de los arroces sancochados resultó razonablemente estable. Su contenido en AGL (única característica evaluada) se mantuvo entre el 3% y el 5% durante 50 días de almacenamiento a 37°C (no se indica la humedad). A resultados similares llegaron Iengar y otros [73] con salvado de 8% de humedad, envasado en frascos de vidrio, procedente de arroces sancochados preparados por diferentes procesos (cuadro 7). Cabe señalar que el salvado procedente del sancochado a presión (cuadro 7, proceso No. 7) resultó comparativamente más estable.

En la práctica industrial, y desde luego en general, los resultados obtenidos no suelen ser tan satisfactorios, aunque, con los modernos métodos de sancochar, el salvado con un 14% de humedad puede mantenerse en ocasiones durante 15 días, en temporada de invierno, con un 2% a un 4% de AGL [74].

Varias causas pueden contribuir a la mala conservación del salvado de arroz sancochado, siendo las más importantes de las cuales: a) un tratamiento

CUADRO 7. CONDICIONES DE ELABORACIÓN UTILIZADAS PARA SANCOCHAR ARROZ, ESPECIFICADAS EN ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DEL SALVADO

Proceso No.	Maceración	Duración del tratamiento con vapor
1	En frío, 72 horas	10 minutos, a presión atmosférica
2	En frío, 72 horas	No especificado ^a
3	En frío, 72 horas, 0,1% de dicromato potásico	No especificado ^a
4	A 45°-50° C, 24 horas	10 minutos, a presión atmosférica
5	A 70° C, 3-3,5 horas	10 minutos, a presión atmosférica
6	A 70° C, 3-3,5 horas	No especificado ^a
7	10 minutos con vapor a presión atmosférica	20 minutos a 0,356 kg/cm ² , seguido de 5 minutos a 1,758 kg/cm ²

Fuente: Procesos núms. 1, 4 y 5, Viraktamath y Desikachar [36]; procesos núms. 2, 3, 6 y 7, Iengar y otros [73].

^aProbablemente hasta la apertura de las glumas.

térmico insuficiente, en el que no se alcanza la relación conveniente de tiempo y temperatura (en ocasiones, el tiempo de inyección de vapor es muy corto), o porque el tratamiento con vapor es heterogéneo y no alcanza por igual a todos los granos de arroz; b) mantenimiento del arroz cáscara sancochado en condiciones que favorecen la contaminación y el desarrollo de microorganismos productores de lipasa, cosa que puede ocurrir durante el secado y durante el almacenamiento; y c) contaminación del salvado por microorganismos productores de lipasa y desarrollo de los mismos en condiciones favorables. Viraktamath y Desikachar [36] han informado de un caso concreto de almacenamiento de salvado estabilizado por tratamiento térmico en recipiente cerrado, sin adición de agua, en el que la infestación por insectos fue la causa responsable del incremento de AGL.

Debe señalarse que la estabilización del salvado ni siquiera se considera como un fin secundario del proceso de sancochar arroz, por lo que las condiciones de tratamiento resultan con frecuencia insuficientes o inadecuadas. No parecería demasiado complicado adaptar esas condiciones con objeto de inactivar el salvado y evitar recontaminaciones, y así facilitar en gran medida el almacenamiento.

Estabilización del salvado por tratamiento con vapor directo en lecho fijo

Las condiciones encontradas por diversos autores para estabilizar el salvado con vapor, en lecho fijo, difieren considerablemente (cuadro 8). Mientras en unos casos se consiguen resultados satisfactorios empleando tratamientos de 100° a 105°C durante 10 a 15 minutos, en otros se requiere 118°C y 30 minutos o 134°C y una hora. La aparente divergencia de los resultados se debe probablemente a las causas enumeradas en el apartado anterior. Aquí puede tener gran influencia el contenido de humedad del salvado durante el tratamiento térmico. La falta de datos sobre parámetros tan importantes impide interpretar los resultados.

Estabilización del salvado por tratamiento con vapor directo en lecho móvil

Los procesos que utilizan el tratamiento con vapor directo para estabilizar el salvado lo hacen añadiendo agua al salvado ya sea a la presión normal o a

CUADRO 8. CONDICIONES RECOMENDADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ POR TRATAMIENTO CON VAPOR DIRECTO EN LECHO FIJO

Tratamiento en autoclave					
Temperatura (grados centígrados)	Tiempo	Lecho de salvado	Observaciones	Almacenamiento	Referencia
121	2 h	Sobre bandejas	Secado adicional 1 hora a 60°C	A 21°C no aumentan los AGL: Tras 41 días con un contenido de humedad del 13,7% Después de 13 días con un contenido de humedad del 14,6% Después de 7 días con un contenido de humedad del 26,4%	Loeb y Mayne [43]
134	1 h	Sobre bandejas	Humedad inicial 11,30%	Contenido de humedad 11,11% En bolsas de polietileno a temperatura ambiente: no aumentan los AGL después de 50 días	Sidhom, El-Tabey Shehata y Mohasseb [32]
118	30 min			En botes de hojalata herméticos: no aumentan los AGL después de 15 días	Iengar y otros [73]
105	10 min	Capa de 3 cm	En condiciones de laboratorio	Contenido de humedad 8-10% En sacos de tela a temperatura ambiente 20°-30°C 40%-90% humedad relativa 6,5% AGL después de 50 días	Ratanapunvorakul y Hermans [75]
128	7,5 min	Capa de 3 cm	En planta piloto Secado adicional	Sacos de tela A temperatura ambiente 23°-32°C 50%-90% humedad relativa	Hermans, Pichitakul y Bhuntumkomol [76]
100 ^a	15 min	Capa de 0,5-1 cm	Secado adicional en estufa a <10% contenido de humedad	AGL <10% después de 80 días a 37°C	Viraktamath y Desikachar [36]
100	20 min	En tanque cilíndrico con fondo cónico; inyección vapor tubo central 250 kg salvado	Temperatura del salvado a la salida 95°-97°C Aumento de humedad 2%-3% Secado adicional	Contenido de humedad 6,8%, AGL =10% después de 25 días	Viraktamath [77]

^aVapor a presión atmosférica.

presión alta por medio de inyección de agua o vapor. Ambos métodos se caracterizan por realizar la mezcla íntima de vapor y salvado, que es de la máxima importancia, ya que aumenta la transferencia de calor y la velocidad de hidratación del salvado y favorece el tratamiento homogéneo de toda la masa. No es sorprendente que la mayoría de los autores hayan recomendado condiciones de elaboración muy parecidas (cuadro 9). En general, bastan unos tres minutos de tratamiento con vapor directo, a presión normal, para inactivar los enzimas del salvado. El tratamiento supone un aumento del contenido de humedad del salvado del orden de 3 a 5 unidades por ciento, que hay que contrarrestar mediante secado posterior a fin de restituir la humedad inicial. Algunos autores recomiendan que la humedad del salvado estabilizado se reduzca hasta niveles del 3% [44] o del 2% al 5% [33]. Sin embargo, si los enzimas han quedado realmente inactivados en el tratamiento (lo que se debe poner en evidencia mediante análisis químicos convenientes), tal precaución sólo comporta costos de proceso más elevados y, probablemente, deterioro adicional de los componentes valiosos del salvado. Hay que admitir que en condiciones industriales es difícil impedir la contaminación microbiológica del salvado estabilizado. Por otra parte, es evidente que cuanto menor sea la actividad del agua en el salvado, menor será el riesgo de desarrollo de los

CUADRO 9. ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ POR TRATAMIENTO CON VAPOR DIRECTO EN LECHO MÓVIL

<i>Condiciones</i>				
<i>Temperatura^a</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia</i>
100°C	15 min (por 1 t) 8 min (por 250 kg)	Temperatura del salvado a la salida 95°-97°C Aumento de H, 2-3 unidades por ciento Secado adicional	M = 6% AGL = 10% en 15 días	Viraktamath [77]
100°C	3 min	H aumenta 1,5-2 unidades por ciento Secado adicional	Inactivación total de lipasa	Srimani y otros (33, 34)
100°C ^a	4,5 min	H aumenta 3-5 unidades por ciento	Mantiene AGL a nivel aceptable al menos un mes	Bjorns y Cassidy [78]
100°C ^a	2,5 min ^b	H aumenta 7-8 unidades por ciento Secado adicional hasta H=12 por ciento	Inactivación total de peroxidasa	Barber y otro [92]
100°C	3 min	Secado adicional hasta H=3%	A H=3%, el salvado se conserva varios meses	Yokochi [44]

Nota: H = Contenido de humedad.

^aVapor a presión atmosférica.

^bPara una humedad final de 15%-16%, se recomienda 3 minutos.

microorganismos productores de lipasa que posiblemente contenga. En cualquier caso, el salvado tenderá a adquirir la humedad de equilibrio correspondiente a las condiciones ambientales y esa humedad es la que importa mantener por debajo del nivel mínimo necesario para el crecimiento rápido de microorganismos productores de lipasa. El empleo de extrusionadores con inyección de agua o vapor [11, 56] exige: a) un tiempo de residencia muy corto; b) presiones elevadas, y c) pérdida inmediata de parte del contenido del agua en la etapa de descompresión, lo que motiva la expansión del producto. Según Williams y Baer [56] las condiciones necesarias para inactivar el salvado son una humedad del salvado que ha de ser extrusionado del 27%, una temperatura interna de 115°C, una temperatura final de 82,5°C y un contenido de humedad final del 23%.

Máquinas que se utilizan

La estabilización del salvado por tratamiento del grano de arroz entero sólo se practica incidentalmente al fabricar el arroz sancochado, por lo que no se ha creado ninguna maquinaria especial para ese fin. Tampoco se ha desarrollado maquinaria específica alguna para tratar el salvado con vapor directo en lecho fijo. Generalmente, el salvado se ha calentado en autoclaves o, en plan experimental, en dispositivos diseñados para otros fines [73, 77].

Hay tres tipos fundamentales de máquina para tratar el salvado con vapor directo en lecho móvil: a) transportadores de tornillo, transportadores con paletas u otros dispositivos de mezcla; b) lecho fluidificado y c) extrusionadores. En todos los casos, el tratamiento con vapor va seguido de una etapa de secado.

Transportadores de tornillo para el tratamiento directo con vapor en lecho móvil

Para el tratamiento con vapor directo se han utilizado transportadores de tornillo [33, 77, 78, 79] o de paletas [78].

Viraktamath [77] realizó pruebas a escala industrial, empleando equipo convencional de los molinos de aceite. En un caso empleó un acondicionador de una tonelada/hora de capacidad, consistente en un tambor cilíndrico, con camisa de vapor e inyección directa de vapor, provisto de transportadores de paletas para hacer circular y al mismo tiempo mezclar el salvado. En otro caso utilizó acondicionadores semicilíndricos (1 t/h y 1/4 t/h de capacidad), equipados también con camisa de vapor e inyección directa de vapor, provistos de transportadores de paletas. Trabajando en proceso continuo, los tiempos de residencia fueron de 15 minutos en las unidades de una tonelada y de 8 minutos en la de 1/4 de tonelada. La temperatura a la salida fue de 95°-97°C en todos los casos. Durante el tratamiento la humedad aumentó en 2-3 unidades por ciento, pero se eliminó por posterior secado y enfriamiento a la sombra. El salvado, envasado en sacos de yute y almacenado en condiciones ambientales no especificadas, mostró un aumento de acidez, pero tardó más de 15 días en alcanzar el 10% de AGL.

Burns y Cassidy [78] han patentado un procedimiento para estabilizar el salvado de arroz, basado en el uso de un tornillo transportador de 30 metros de longitud, provisto de una tolva y de un pequeño tornillo para la alimentación

del material. En un primer tramo, de 6,6 metros, calorifugado, se inyecta vapor a 100 libras de presión, a través de un tubo perforado. El salvado aumenta 3-5 unidades por ciento de humedad y se somete a 100°C durante un minuto y medio. En un segundo tramo del tornillo, de 20 metros de longitud y también calorifugado, se inyecta vapor y se provee calor radiante, para mantener la temperatura del producto a 102°-104°C, con un tiempo de retención de unos 3 minutos. Por último, en el tramo final del tornillo, de unos 3,3 metros de longitud, equipado con una campana de amplio tiro para eliminar el vapor, se deja enfriar parcialmente el producto. La instalación requiere la existencia de otros dispositivos complementarios (por ejemplo, un secador) que no se describen.

Yokochi [79, 80] ha diseñado una instalación para estabilizar salvado (véanse las figuras 15 y 16) que tiene las características siguientes: *a*) sistema de alimentación dotado de elevador de cangilones, tolva y tornillo de carga; *b*) cocedor horizontal, con camisa de vapor e inyección directa de vapor, provisto de un sistema agitador; *c*) secadero horizontal, con camisa de vapor, provisto de agitador; *d*) secadero/enfriador horizontal, con camisa de vapor, provisto de agitador; *e*) transportador neumático con ciclón separador y tolva; *f*) sistemas de transmisión, y *g*) sistemas de control. El salvado se trata durante tres minutos en el cocedor y luego se seca para reducir su humedad del 14% al 3%, a cuyo nivel se debe almacenar.

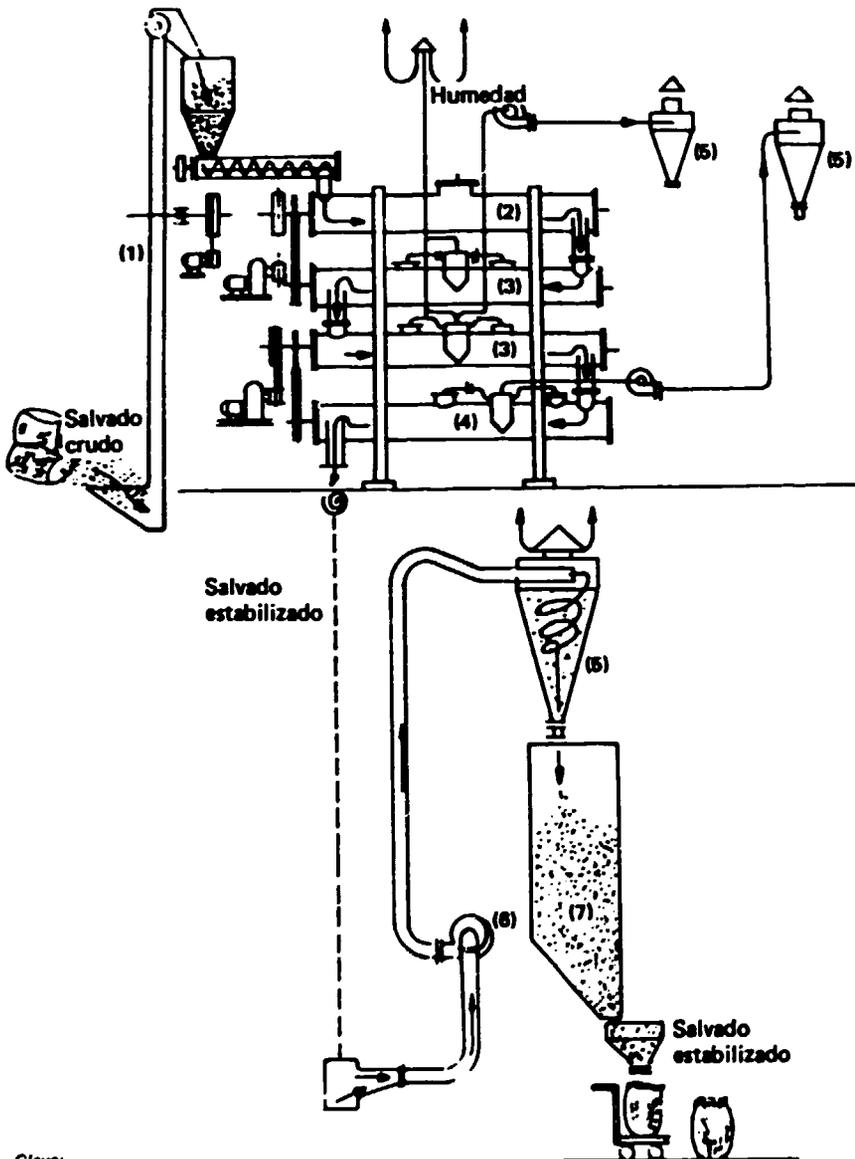
El diseño de la figura 17 ofrece una solución alternativa. El sistema está compuesto de: *a*) un cocedor con inyección directa de vapor y un transportador, con tiempo de retención de 5 minutos y temperatura de salida de 110°C; *b*) una granuladora; *c*) un elevador, y *d*) un secadero de columna con cámara de enfriamiento [81].

Dispositivos para tratamiento con vapor directo en lecho fluidificado

Sólo se tiene referencia de una máquina que cumpla las especificaciones de tratamiento del salvado con vapor directo en lecho fluidificado. Se trata de la unidad estabilizadora desarrollada por el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valencia³. La característica distintiva de la máquina es que humidifica y calienta, de forma homogénea y casi instantánea, cada una de las partículas discretas que constituyen el salvado, manteniéndolas constantemente en lecho fluidificado. De este modo, en condiciones apropiadas de tiempo, temperatura y humedad, fácilmente regulables, se consigue la inactivación rápida y total de los enzimas de todas y cada una de las partículas de salvado. La instalación consta esencialmente de un cuerpo desactivador, un cuerpo de secado y un cuerpo de enfriamiento, aparte de elementos de control y otros dispositivos auxiliares, además de dispositivos optativos (véanse las figuras 18 y 19). La unidad inactivadora está constituida por una tolva dosificadora y el inactivador propiamente dicho, con lecho fluidificado. La tolva puede cargarse por un sistema neumático o de otro tipo. Puede actuar también de depósito regulador de la alimentación cuando la corriente de salvado procede directamente de los conos de blanqueo. El inactivador lleva un sistema de inyección de vapor y un sistema mecánico agitador para la fluidificación. También puede incluir un segundo cuerpo, de retención,

³Patronato Juan de la Cierva de Investigación Científica y Técnica, patente española No. 401.681, de 16 de mayo de 1974.

Figura 15. Estabilizador con vapor directo, dotado de secador y enfriador

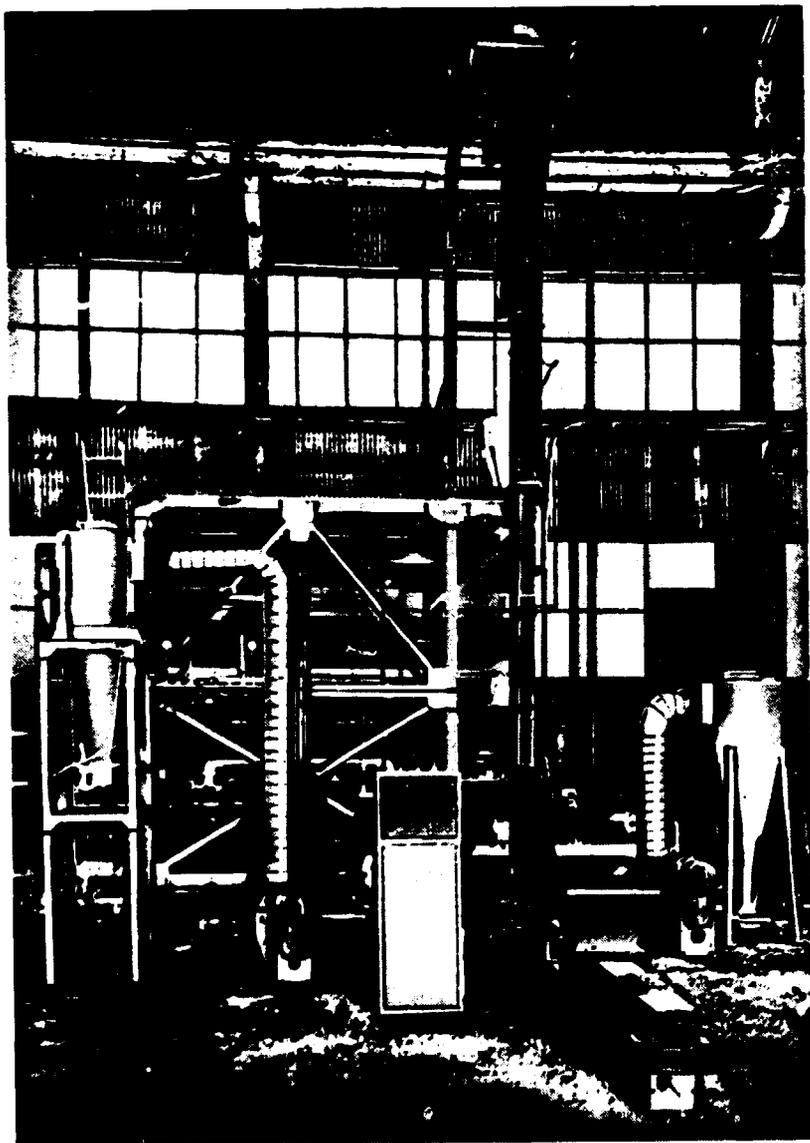


Clave:

- 1) Elevador
- 2) Cocedor de vapor
- 3) Secador
- 4) Enfriador
- 5) Ciclón
- 6) Ventilador
- 7) Silo

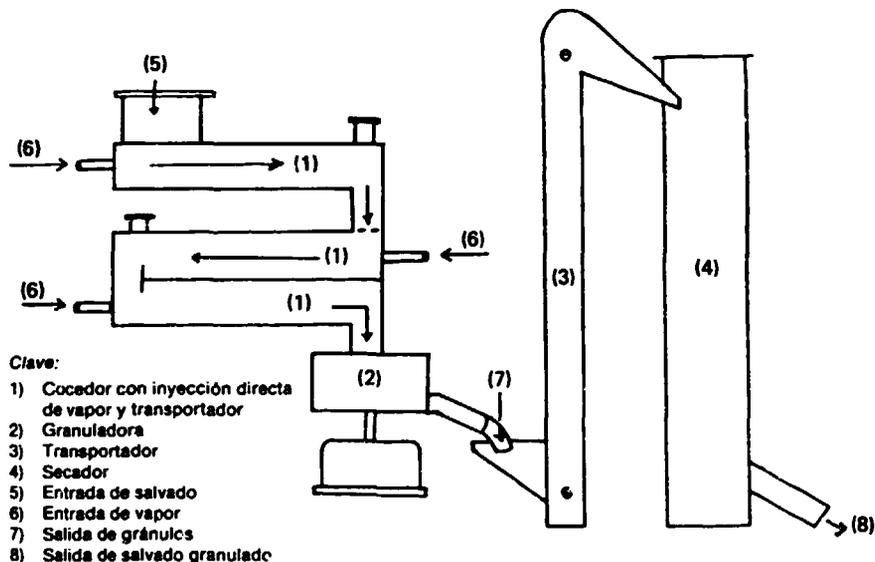
Fuente: Yolochi [79].

Figura 16. Planta de estabilización de salvado en período de montaje



Fuente: K. Yokochi (80).

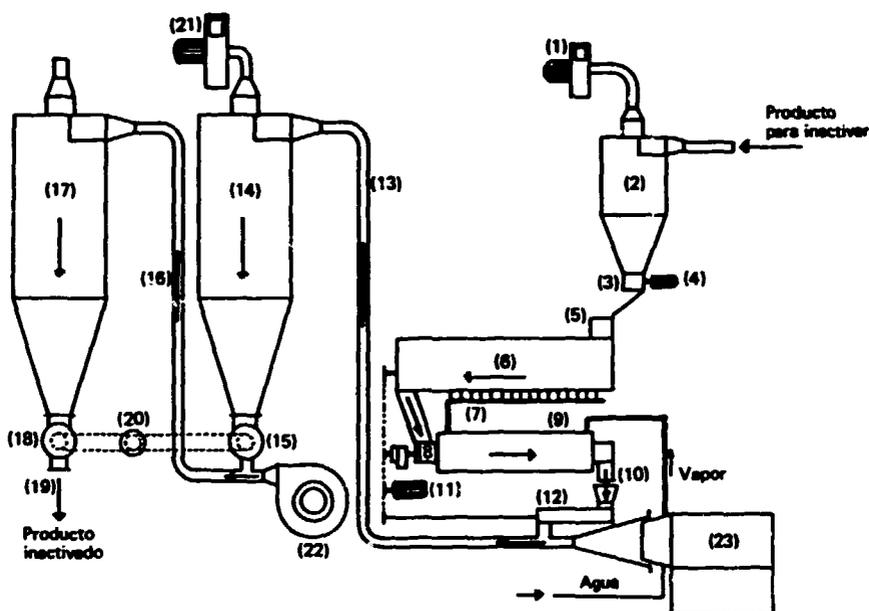
Figura 17. Otro tipo de estabilizador



Fuente: Banarjee [81].

consistente en un tornillo transportador con camisa de vapor, para combinar el tiempo del tratamiento con la capacidad de alimentación. El conjunto de secado y enfriamiento está formado por tuberías y ciclón de secado, tubería y ciclón de enfriado, válvulas de estrella en salidas de ciclones, ventiladores y circuitos de secado y enfriamiento y el accionamiento por los motores eléctricos necesarios. La figura 18 indica cómo funciona la instalación. El ciclón de alimentación (2) recibe el salvado y lo dosifica continuamente al cuerpo inactivador (6); en éste, el salvado recibe la inyección directa de vapor que, junto con el sistema mecánico de agitación, mantiene el producto en perfecta fluidificación durante 2½ minutos, a unos 100°C y una humedad superior en 4 ó 5 unidades por ciento a la inicial. El salvado es extraído, ya inactivado, de forma continua por el tornillo sin fin para su secado. Si la planta incluye la unidad de retención opcional (camisa de vapor) (9), la velocidad de alimentación y el tiempo de retención en cada fase se ajustan convenientemente. A la salida del inactivador, el salvado es descargado en el secador, donde es arrastrado por la corriente de aire que produce el ventilador (21), junto con el vapor y el equipo de aire caliente (23). En el ciclón (15), se separa el polvo ya seco y se extrae por su parte inferior. A continuación, el ventilador (22) impulsa el salvado seco por la tubería (16), enfriándolo, para después recogerlo en el ciclón (17), desde donde es extraído para almacenar, en sacos o a granel, en condiciones de humedad y temperatura similares a las de entrada. La figura 20 ilustra la variación del tiempo nominal de residencia y la retención de salvado en el inactivador en función del flujo de producto. Es de señalar que el tiempo de residencia no varía linealmente con la inversa del flujo; el peso de material que se retiene aumenta apreciablemente con el flujo. Consiguientemente, el

Figura 18. Estabilizador desarrollado por el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), que utiliza vapor directo en lecho fluidificado, con secador y enfriador



Clave:

- | | |
|---|--|
| 1) Ventilador alimentador | 13) Conducción de secado |
| 2) Ciclón de alimentación | 14) Ciclón de secado |
| 3) Válvulas descarga ciclón | 15) Válvula de descarga ciclón |
| 4) Motor válvula | 16) Conducción de anfriado |
| 5) Tolva | 17) Ciclón de anfriado |
| 6) Cuerpo de inactivación | 18) Válvula de descarga ciclón |
| 7) Tubo distribuido de vapor | 19) Salida producto inactivado |
| 8) Tornillo transportador | 20) Motor para válvulas de ciclones de enfriamiento y secado |
| 9) Camisa de vapor | 21) Ventilador de secado |
| 10) Tolva | 22) Ventilador de anfriado |
| 11) Unidad de inactivación: motor y transportadores de tornillo | 23) Equipo para la producción de vapor y aire caliente |
| 12) Tornillo transportador | |

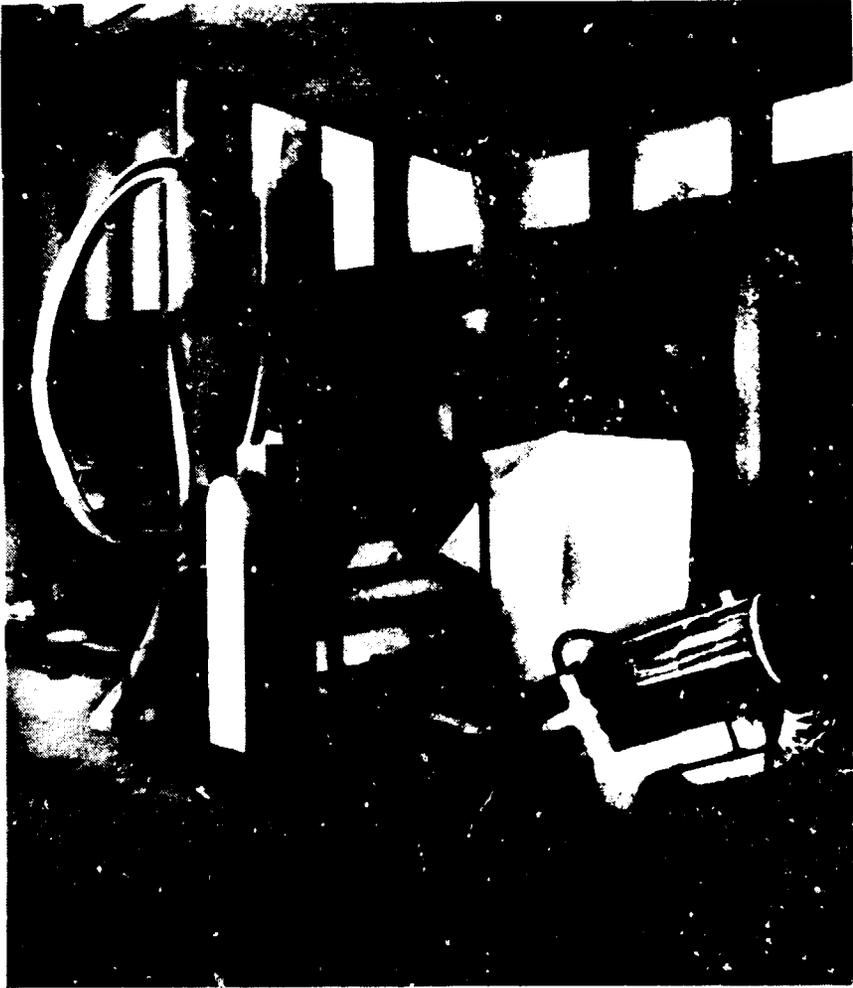
tiempo de residencia es mayor para flujos más altos, lo que amplía el intervalo operativo de la máquina: 155 segundos fueron suficientes para destruir totalmente la actividad peroxidásica del salvado.

El cuadro 10 da los detalles de funcionamiento de un prototipo industrial con capacidad de 500 kg/h.

Extrusionadores que utilizan inyección de agua o de vapor

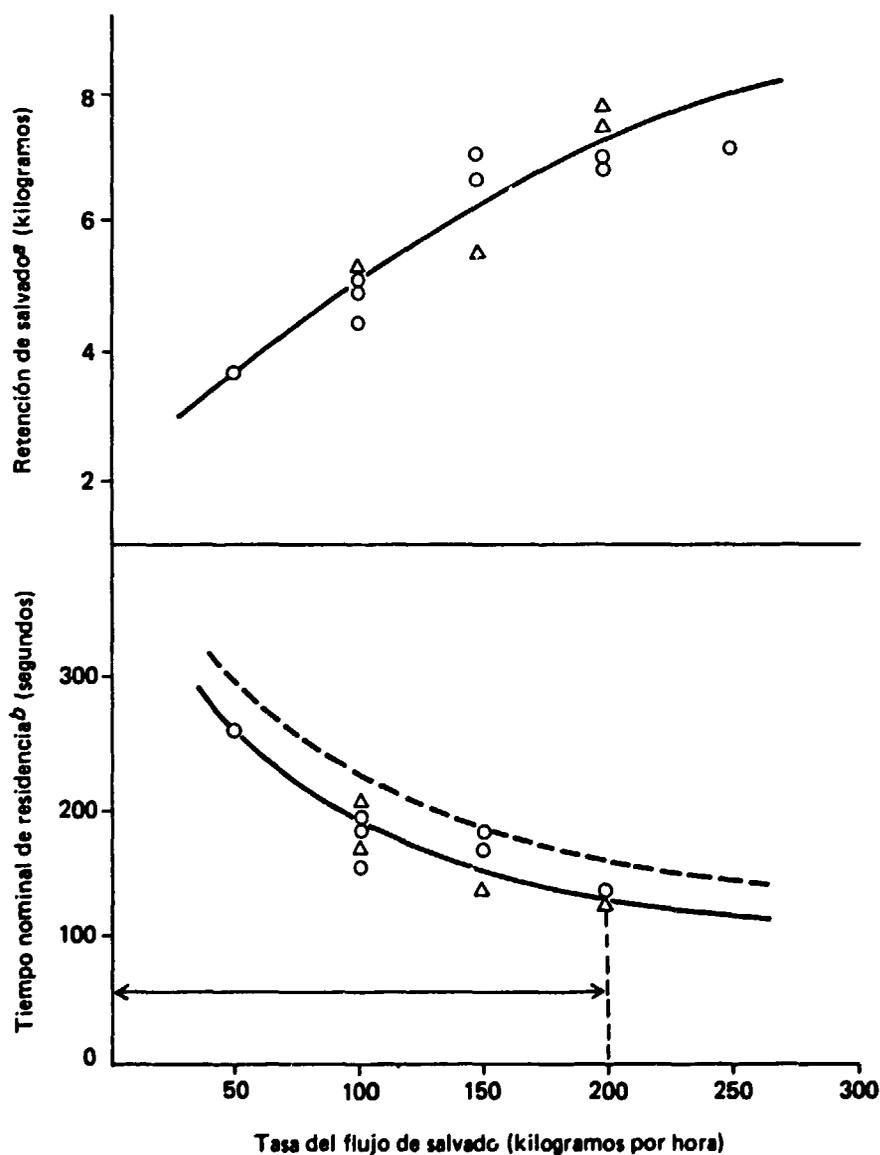
Además de los extrusionadores comentados anteriormente, hay otros tipos equipados con dispositivos para inyectar vapor o agua directamente a la masa de material que se transporta bajo presión. Williams y Baer [56] han utilizado uno de estos aparatos, un modelo piloto del extrusionador "Expander", para

Figura 19. Estabilizador IATA



estabilizar salvado. La máquina tenía un diámetro interno de unos 11,5 cm y una longitud aproximada de 1,30 metros. La matriz tenía una sola hilera de 15,88 mm y el eje giraba a 216 rpm, movido por un motor de 25 hp. El inyector de agua estaba situado a un metro de la salida y el inyector de vapor a unos 30 cm. El salvado, tal como sale del molino, entra en la máquina a través del sistema de alimentación compuesto por una tolva y un tornillo, es transportado unos 15 cm y entonces recibe una inyección de agua. Después de recorrer 75 cm más, recibe la inyección de vapor. En las condiciones utilizadas por los autores, el salvado adquiere una humedad próxima al 25% y alcanza una temperatura de unos 115°C al combinar el calor de fricción y el aporte calórico del vapor de agua inyectado. La caída de presión en la descarga provoca la rápida

Figura 20. Estabilización de salvado de arroz utilizando un prototipo industrial: retención de producto^a y tiempo nominal de residencia^b en función del flujo de salvado



Fuente: Fito y otros [83].

^aPeso del salvado retenido en el inactivador.

^bCalculado según la ecuación $DT=MF$, en donde M es el peso de salvado retenido en el inactivador (kg) y F el flujo de salvado (kg/s). El tiempo de residencia en el cuerpo de retención opcional fue de 30 s, de donde el total $DT=30+(M/F)$.

CUADRO 10. ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO UTILIZANDO UN PROTOTIPO INDUSTRIAL DEL ESTABILIZADOR IATA

Muestra No.	Condiciones del proceso			Características del salvado estabilizado		
	Flujo salvado (kg/h)	Vapor inyectado al salvado (kg/h)	Relación vapor/salvado	Humedad ^a (porcentaje, base húmeda)	Actividad de peroxidasa ^b	
					Salvado crudo	Salvado estabilizado
1	290	34	0,117	11,9	12,2	0,00
2	360	36	0,100	12,0	10,6	0,00
3	410	44	0,107	12,7	8,2	0,01
4	470	47	0,100	12,5	11,4	0,00
5	510	55	0,108	12,5	12,5	0,01

Fuente: Fito y otros [83].

^aHumedad del salvado inicial: 12,2%-13,2% base húmeda; aire de secado a 115°-120°C; flujo de aire 1.700 m³/h.

^bUnidades de absorción por grano de salvado, base húmeda, determinado por el método de Vetter, Steinberg y Nelson [82].

vaporización del agua (que se había mantenido líquida por la elevada presión en el interior de la carcasa) y la expansión del producto. El salvado puede perder hasta un 25% de su humedad, con enfriamiento instantáneo, y se seca finalmente hasta la humedad deseada en un secadero adecuado. Seguidamente se resumen los datos típicos de la estabilización de salvado con este tipo de extrusionador.

Condiciones de la alimentación

- Humedad del salvado, 9%
- Capacidad de carga, 5,8 kg/h
- Inyección de agua, 10 kg/h
- Inyección de vapor, 4,5 kg/h

Condiciones de expansión

- Humedad del salvado, 27%
- Temperatura en el interior, 115°C
- Temperatura en la descarga, 82,5°C
- Producción, 72,5 kg/h

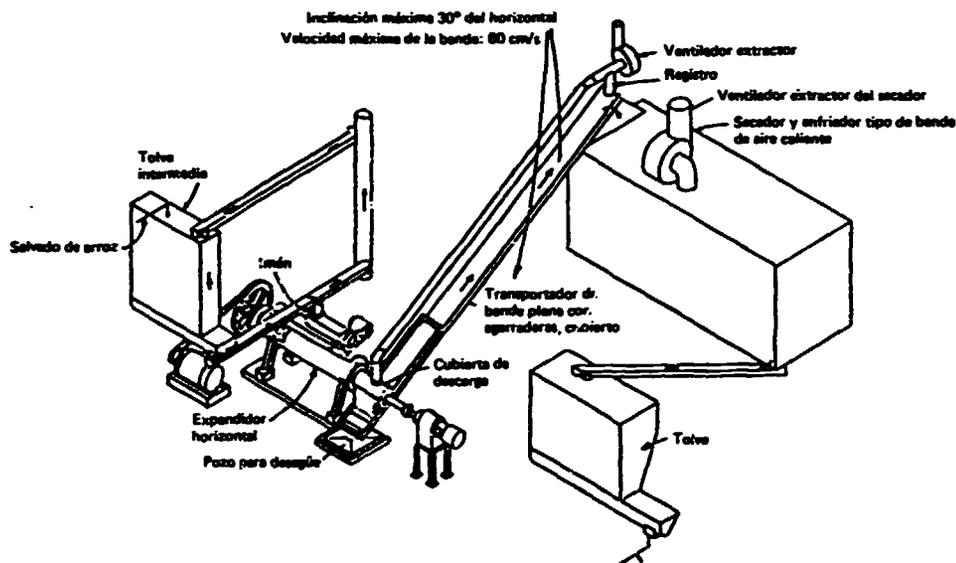
Especificaciones del producto

- Humedad del salvado, 23%
- Densidad a granel, 400 kg/m³
- Coefficiente de expansión, 1,24

La figura 21 muestra una instalación típica de esta clase. Existen plantas con capacidad de 9 a 270 toneladas por 24 horas de trabajo, o aun mayores.

Se han diseñado, construido y ensayado en plan experimental [11, 83] otros modelos, pero no hay noticias de que se hayan empleado en la industria. Filho, Germany y Melo [11] han descrito un extrusionador construido para la estabilización del salvado (véase la figura 22) que emplea también vapor de agua húmedo directo. Está constituido por un cilindro de doble pared para calefacción indirecta, de 120 cm de longitud y 11 cm de diámetro interno, con válvulas de inyección de agua y de vapor. En los puntos del eje donde la rosca se interrumpe, existen barras fijas en el cilindro para desagregar la masa. El

Figura 21. Extrusionador que utiliza inyección directa de vapor y agua caliente



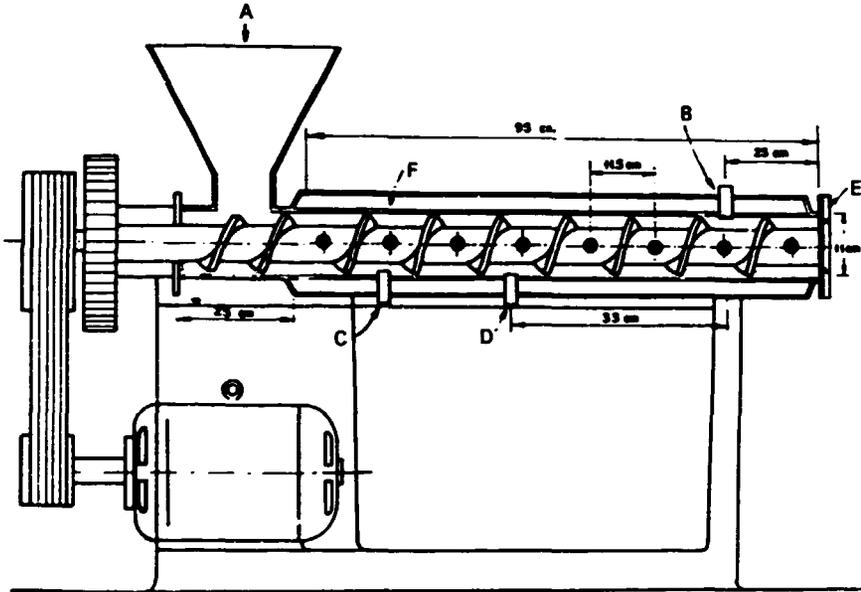
extrusionador tiene una matriz con seis hileras de 5 mm de diámetro. El eje gira a 100 rpm, accionado por un motor de 20 hp. En el experimento, la humedad inicial del salvado era del 11,7%, que se elevó al 14% para mejor funcionamiento de la máquina. La temperatura del salvado antes de salir de la máquina era de unos 100° a 110°C. A la salida, la humedad se redujo al 12%, por lo que el salvado se tuvo que secar posteriormente, hasta el 9%, para su buena conservación.

Criterios para la evaluación de los métodos de estabilización

El objetivo final de la estabilización es transformar el salvado en un producto duradero, en condiciones ambientales y de almacenamiento usuales, que conserve en la medida de lo posible las buenas cualidades del producto original. Por consiguiente, la manera más importante de evaluar los métodos de estabilización es medir la calidad del producto estabilizado y determinar en qué medida se han logrado los objetivos perseguidos en el proceso. La adaptación del método a las necesidades y disponibilidades industriales es otro criterio que puede tener una base técnica o económica. En algunos casos, los dos aspectos están íntimamente relacionados, de forma que no se puede separar el uno del otro.

El concepto de calidad abarca aspectos tales como: a) la estabilidad del salvado tratado; b) el grado de retención de las propiedades deseables del salvado sin tratar, y c) el mejoramiento de otras propiedades funcionales del salvado.

Figura 22. Extrusor experimental con inyección de vapor directa

**Clave:**

- | | |
|---------------------------|---|
| A Alimentación de salvado | D Inyección de vapor |
| B Inyección de vapor | E Placa con orificios para salida del salvado |
| C Inyección de agua | F Camisa de vapor |

Fuente: Filbo, Germany y Melo [11].

Criterios para evaluar la estabilidad del salvado tratado

Los criterios más importantes para evaluar la estabilidad del salvado tratado son: *a)* humedad y temperatura; *b)* actividad enzimática residual; *c)* recuento total de microorganismos, en especial de mohos productores de lipasa; *d)* otras causas de alteración de tipo biológico, y *e)* vida de almacenamiento.

Humedad y temperatura

Para conseguir un almacenamiento satisfactorio, la humedad y la temperatura deben mantenerse por debajo de valores críticos. Se dice que un producto se encuentra en condición "seca" o "segura" [84] cuando su contenido de humedad, teniendo en cuenta el intervalo de temperaturas más probable que se va a experimentar durante el almacenamiento y el transporte, no presente riesgo de actividad metabólica apreciable del propio grano, ni de ataque por mohos, otros microorganismos y otras plagas. El intervalo de humedad para el que el riesgo de alteración es mínimo varía según la condición

de la propia partida de salvado y depende de la temperatura y período de almacenamiento. En general, un nivel de humedad "seguro" puede admitirse que es aquel inferior al de equilibrio con una humedad relativa de 65%. Si un método de estabilización requiere que el salvado tratado tenga una humedad inferior para ser efectivo, la estabilización no será adecuada.

En una partida de salvado, los cambios periódicos en la humedad relativa de la atmósfera afectan especialmente a las capas superficiales. Si la partida es grande, la humedad relativa del aire intersticial en el interior está controlada principalmente por el contenido de humedad y la temperatura iniciales del salvado estabilizado. Los gradientes de humedad relativa y de contenido de humedad quedan determinados por las diferencias persistentes en la temperatura, entre la superficie y el interior, causadas por cambios en la temperatura externa o calentamiento interno. La humedad se desplaza a la zona más fría y eleva el contenido de humedad del salvado en aquella parte.

La existencia de temperaturas elevadas en el salvado tratado puede conducir a reacciones oxidativas de las grasas durante el almacenamiento, y si el salvado se almacena sin enfriar hay riesgo de combustión espontánea. Además, si el enfriamiento tiene lugar rápidamente, sin ventilación, la humedad relativa del aire intersticial aumenta peligrosamente.

Así pues, para resumir, la temperatura del salvado al final del proceso de estabilización debe aproximarse lo más posible a la temperatura ambiente y el contenido de humedad debe ser un tanto inferior al de equilibrio con el 65% de humedad relativa a la temperatura ambiente. De otro modo, el salvado debe someterse a etapas adicionales de secado o enfriamiento, que deberán integrarse en el proceso general de estabilización para que éste sea aceptable.

Actividad enzimática residual

En un salvado adecuadamente estabilizado, la actividad de la lipasa ha de ser nula. Esa condición, siendo necesaria, tal vez no sea suficiente, pues otros enzimas perjudiciales pueden quedar con niveles de actividad operativos. Como se ha indicado en otra parte, la peroxidasa es el más resistente de los enzimas vegetales conocidos. Por consiguiente, la determinación de la actividad peroxidásica es un buen índice de la inactivación del salvado. Si la actividad peroxidásica es nula, las demás, incluida la lipásica, lo serán también.

Los métodos para determinar la lipasa en el salvado consisten en valorar la acidez desarrollada cuando el salvado, o mejor un extracto acuoso del mismo, se deja actuar sobre aceite o un éster de ácido graso, en condiciones controladas. En un método [85] el salvado se desengrasa con hexano a 25°C, se extrae luego con agua destilada, y una parte alícuota del extracto, una vez centrifugado, se hace reaccionar con Tween 20¹⁰ a pH 7,2; el pH se reajusta periódicamente con álcali durante 30 minutos y del volumen consumido se calcula la actividad de la lipasa. La actividad se expresa en unidades de lipasa por kilogramo de salvado, siendo una unidad la cantidad de lipasa que cataliza la formación de un miliequivalente de ácido por minuto. En otro método [46],

¹⁰Éster soluble del ácido láurico y sorbitan polioxi-etileno. El uso de este sustrato soluble en agua evita dificultades que suelen presentar otros métodos que emplean sistemas agua-aceite, pues el grado de dispersión del sustrato es un factor importante.

basado en el procedimiento de San Clemente y Vadhera [86], el extracto que contiene el enzima se prepara directamente del salvado sin desengrasar, por agitación energética con agua a 4°C; una parte alícuota del extracto, una vez centrifugado, se hace actuar sobre una emulsión acuosa de aceite de oliva refinado a pH 8 y 35°C. Los ácidos grasos así liberados se valoran con álcali, previo ajuste del pH a 8,6, en la muestra y en un blanco. La actividad de la lipasa se expresa como microequivalentes de ácido producidos por minuto por centímetro cúbico de solución de enzima.

Para la determinación de la actividad de la peroxidasa da buenos resultados el método de Vetter, Steinberg y Nelson [82]. Se basa en la determinación colorimétrica del color desarrollado por la *o*-fenilendiamina oxidada por el enzima en presencia del peróxido de hidrógeno. Se prepara un extracto acuoso del enzima, por extracción por tampón fosfato-citrato, y a una parte alícuota del filtrado se adiciona *o*-fenilendiamina y agua oxigenada, dejando que reaccione durante 5 minutos a 25°C. La reacción se interrumpe con bisulfito y la absorción de la muestra se mide frente a un blanco. Con el salvado no se presenta interferencia del almidón, por lo que las soluciones son perfectamente claras y así se simplifica el ensayo.

La curva de absorción del colorante oxidado presenta un máximo de 430 nm. El color desarrollado por la *o*-fenilendiamina oxidada cumple la ley de Beer-Lambert. La actividad peroxidásica se expresa en unidades de absorción por gramo de salvado. Una simplificación de este método, en el que la medida espectrofotométrica se sustituye por la comparación visual de la muestra y el blanco en tubos Nessler, permite la detección rápida de peroxidasa en el salvado. Como se puede distinguir fácilmente entre salvado con actividad y salvado inactivado, este método es muy conveniente para el control de la estabilización en pleno proceso industrial.

Importa mucho señalar que la determinación de los AGL del salvado durante el almacenamiento no es una medida adecuada de la efectividad del proceso de estabilización. En primer lugar, exige un tiempo muy prolongado. En segundo, el desarrollo de los AGL depende de otros muchos factores, parte de los cuales son ajenos y posteriores al proceso de estabilización. El contenido de AGL es, en cambio, un buen índice de la idoneidad o adecuación de las condiciones de almacenamiento.

Recuento total de microorganismos y de mohos productores de lipasa

Se dispone de muy poca información sobre la destrucción paralela de actividades enzimáticas y microorganismos y, en particular, sobre la flora típica del salvado que puede encontrarse en diferentes zonas arroceras y sobre la identidad e incidencia de los mohos productores de lipasa, la resistencia térmica de sus esporas, etc. No obstante, en las condiciones en que se destruye la peroxidasa en el salvado, la microflora se reduce a niveles tan bajos que no implican riesgo de alteración, en tanto que las condiciones de humedad y temperatura se mantienen dentro de límites seguros.

La determinación en el salvado estabilizado del recuento microbiano, especialmente de mohos, es muy útil en la evaluación de un método de estabilización en condiciones locales determinadas, al menos hasta que se haya obtenido alguna familiaridad con la microflora peculiar de la zona.

Otras causas biológicas de alteración

La alteración del salvado puede ser causada también por otros organismos vivos, los más importantes de los cuales son los insectos y los ácaros. Sin embargo, las condiciones necesarias para la inactivación de la peroxidasa, en particular por tratamiento térmico, sobrepasa los niveles de resistencia de cualquiera de las formas vegetativas de estos organismos. Estas causas biológicas pueden adquirir especial significación cuando se empleen agentes destructores específicos para los enzimas del salvado, por lo que se debería tener en cuenta su posible presencia en tales circunstancias.

Vida de almacenamiento

Los criterios para evaluar los procesos de estabilización no son independientes unos de otros, sino que están estrechamente interrelacionados. Una partida industrial de salvado puede tener notable actividad lipásica residual, pero si su contenido de humedad se mantiene a un nivel bajo y no hay infestación biológica, su vida de almacenamiento puede ser larga. Por otra parte, en la práctica industrial, los factores que determinan la bondad de la estabilización pueden no alcanzar los valores extremos más favorables y seguros, sino solamente aproximarse a ellos; por ejemplo, si queda una flora microbiana residual baja pero con cierto potencial. Una combinación de circunstancias determina si los niveles residuales de microorganismos, humedad y enzimas son operativos o no y determinan la vida de almacenamiento del salvado. Por último, la utilidad del proceso depende también de si existe la posibilidad de que el salvado resulte contaminado durante operaciones subsiguientes, después de haber sido tratado para destruir las causas de la alteración. El enfriamiento de salvado tratado es una etapa de mucho riesgo. El aire es un vector propicio para la contaminación; el salvado actúa como filtro, reteniendo gran parte de los microorganismos e insectos que aquél contiene. También los cambios de temperatura y humedad relativa del ambiente desempeñan un papel importante.

La vida de almacenamiento del salvado tratado se puede predecir partiendo de los valores de las características que se especifican seguidamente (criterios a) i) — iv)), teniendo en cuenta los riesgos de recontaminación y las condiciones ambientales locales. En cualquier caso, en tanto se adquiere experiencia de la influencia de esos factores, es muy aconsejable la realización de pruebas de almacenamiento. Para tener valor, las pruebas de almacenamiento han de reunir dos condiciones: primera, que se conozcan las características que definen la estabilidad potencial del salvado estabilizado; y segunda, que todas las condiciones ambientales que determinan la vida de almacenamiento estén sometidas a control. Una tercera condición, optativa, pero vivamente recomendada es que las condiciones ensayadas simulen en lo posible las condiciones de la práctica industrial o, incluyéndolas, permitan predecir con razonable seguridad el comportamiento del salvado en las condiciones locales. La bibliografía especializada es abundantísima en ensayos de almacenamiento de salvado tratado que son de escaso valor, por no cumplir las condiciones citadas. Ha sido una práctica muy generalizada, para la evaluación de la bondad de un proceso de estabilización, la realización de un

simple ensayo de almacenamiento, en el que el desarrollo de AGL —único índice considerado— se ha seguido comparativamente en la muestra tratada y en la original. La diferencia entre ambas muestras es de escasa significación práctica y los valores que adquiere la muestra tratada dependen de factores no controlados: actividad lipásica inicial, recontaminación, aumento del contenido de humedad durante el almacenamiento, fluctuaciones de la temperatura, etc. El valor de esta información depende también del tamaño de la muestra, del tipo de envase y de las circunstancias de almacenamiento. Los resultados obtenidos con muestras de 250 gramos envasadas en saquitos de tela, conservados en las condiciones ambientales, generalmente no determinadas pero supuestamente higiénicas y ventiladas de un laboratorio, no son extrapolables a las de la práctica industrial. No permiten predecir el comportamiento de ese mismo salvado, en partidas de varias toneladas, envasado en sacos de yute, probablemente: usados, estibados en un almacén con reducida ventilación.

En resumen, las pruebas de almacenamiento, lejos de ser el procedimiento más sencillo de evaluar la bondad de un proceso de estabilización, son más bien complejas y exigen la consideración y el control de muchas variables para ser de valor. Por otra parte, su realización se recomienda vivamente para determinar la idoneidad de todo nuevo procedimiento de estabilización en condiciones locales dadas.

Para llevar a cabo ensayos de almacenamiento, se sugiere tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Características del salvado estabilizado¹¹:
 - i) Actividad lipásica residual¹²;
 - ii) Recuento de mohos;
 - iii) Presencia de insectos;
 - iv) Contenido de humedad;
 - v) Temperatura;
- b) Condiciones ambientales y medios de almacenamiento:
 - i) Humedad relativa;
 - ii) Temperatura;
 - iii) Iluminación;
 - iv) Ventilación;
 - v) Tipo de envase y estiba;
 - vi) Tamaño de la muestra;
 - vii) Características del local en que se almacena el salvado.

Criterios para la evaluación de las pérdidas de propiedades deseables del salvado durante la estabilización

Las aplicaciones inmediatas más importantes del salvado estabilizado comercial son la de servir como aceite comestible y como ingrediente de piensos. Entre sus posibilidades futuras más prometedoras figura su aplicación

¹¹La partida debe analizarse para asegurarse de que estas características son homogéneas.

¹²Se puede prescindir de esta determinación si la actividad peroxidásica es nula y no hay evidencia de lipasa de origen bacteriano más termorresistente que la peroxidasa.

en la fabricación de alimentos y probablemente también como materia prima para la obtención de algunos productos farmacéuticos. Para cada uno de estos fines el salvado posee unas cualidades naturales que importa conservar y que, por lo tanto, hay que controlar. La ausencia de toxicidad es un requisito esencial para todas las aplicaciones como alimento o como pienso.

El salvado como fuente de aceite comestible

Al evaluar las pérdidas de calidad durante la estabilización, cuando el salvado se utiliza como fuente de aceite comestible, los principales criterios que han de tenerse en cuenta son: *a)* rendimiento total en aceite; *b)* velocidad de extracción; *c)* comportamiento del aceite crudo en la refinación, particularmente por lo que respecta a la facilidad de decoloración, y *d)* tamaño de partícula.

Es muy importante conocer el rendimiento total del aceite crudo. Generalmente, antes e inmediatamente después del tratamiento de estabilización se suelen obtener valores similares.

La velocidad de extracción y el tamaño de partícula son atributos importantes y los procedimientos conocidos de estabilización implican el empleo de condiciones que pueden muy bien modificarlos positiva o negativamente. La granulación del salvado y la expansión de los gránulos en la estabilización por extrusión pueden eliminar la ulterior necesidad de peletizar para evitar el problema de finos y mejorar la velocidad de extracción.

Es también importante saber cómo se comporta el aceite durante el proceso de decoloración. Algunos métodos de estabilización, como el tratamiento térmico sin adición de agua, oscurecen el aceite. Se dice de ellos que "fijan" el color. Los pigmentos se eliminan, con relativa facilidad, por neutralización y, especialmente, por tratamientos de decoloración; sin embargo, los productos de degradación muy coloreados, que contribuyen en gran parte al oscurecimiento y al mal color, ofrecen mucha resistencia a su eliminación. Por esta razón, la característica que importa medir no es el color del aceite crudo, sino el del aceite decolorado, en condiciones que simulen las industriales. Las diferencias de color de los crudos no siempre se corresponden con las de los aceites decolorados. El aceite, una vez decolorado, debe cumplir con las mismas especificaciones de calidad que el aceite procedente de salvado crudo, sin tratar, puede cumplir si se extrae de salvado recién fabricado y se refina apropiadamente.

El color del aceite se mide, por lo general, con el tintómetro Lovibond [87], comparando el color del aceite de salvado (colocado en una columna de vidrio de 150 mm de longitud y 19 mm de diámetro, llena hasta el enrase de 133,35 mm) con el color de varios cristales patrón, graduados en tres series: amarillo, rojo y azul. Generalmente sólo se requiere una combinación de los cristales rojo y amarillo; los cristales azules sólo son necesarios si el aceite presenta tinte verdoso. Los cristales rojos están normalizados en términos de la escala cromática Priest-Gibson N. Los vidrios amarillos no están normalizados, puesto que el ojo humano sólo puede apreciar una variación relativamente grande del color amarillo y al comparar el color de la muestra del aceite sólo es necesario aproximar este color para obtener una comparación satisfactoria con los cristales rojos.

Para el aceite de salvado, como para la mayoría de los aceites, la profundidad de color se expresa satisfactoriamente en término de unidades "rojo". El sistema Lovibond de medición de color no es adecuado, sin embargo, para aceites altamente coloreados o con colores distintos del rojo y amarillo.

El color del aceite se puede medir también espectrofotométricamente y de este sistema se hace mucho uso en investigación y en el trabajo de control rutinario de la producción. La transmisión espectral del aceite a 525-550 nm no solo es más reproducible que las lecturas del rojo Lovibond, sino que suele estar relacionada con ellas. El método de la American Oil Chemists Society (AOCS) determina la absorción óptica del aceite a longitudes de onda de 460, 550, 620 y 670 nm, en células de 21,8 mm de diámetro interior. Emplea la siguiente ecuación para calcular el color fotométrico que se aproxima al color expresado en unidades rojo Lovibond:

Color fotométrico: $1,29A_{460} + 69,7A_{550} + 4,12A_{620} - 56,4A_{670}$, en donde A es la capacidad de absorción [88].

Desde el punto de vista industrial, puede ser de interés considerar algunas características adicionales del salvado estabilizado, por cuanto pueden representar aspectos negativos del proceso de estabilización. Entre ellas cabe citar la tendencia a la alteración oxidativa durante el almacenamiento y la manipulación. La estabilización bajo determinadas condiciones puede causar pérdidas importantes de tocoferoles, de capacidad antioxidante. Esta circunstancia, unida a niveles de unidad bajos y a la presencia de oxígeno en el gran volumen de aire intersuticial, favorece la alteración oxidativa de las grasas del salvado tratado. Además, en algunas máquinas la estabilización puede dar lugar a tamaños de partícula muy heterogéneos, a veces incluso a la formación de grandes apelmazamientos, que dificultan la manejabilidad del producto. En procesos que entrañen el uso de productos químicos, puede ser de interés tener en cuenta posibles efectos nocivos o molestos sobre los trabajadores que manejen el producto tratado.

El salvado utilizado como ingrediente de piensos

El valor del salvado como ingrediente de piensos reside en su valor calórico, su valor proteínico y su valor vitamínico. La importancia relativa de estos tres componentes depende de si el salvado se utiliza en la formulación de piensos compuestos, bien equilibrados nutricionalmente, o si por el contrario se emplea como componente usual de la dieta animal, no formulada científicamente, como es el caso de la alimentación rural. En el primer caso, la riqueza vitamínica no es fundamental, ya que el salvado no se utiliza en sustitución de aditivos vitamínicos; en cambio, en el segundo caso, puede ser importante si las necesidades vitamínicas diarias del animal sólo se pueden satisfacer conservando en el salvado las vitaminas. En este sentido, son importantes la tiamina y los tocoferoles. Ambos son sensibles al calor y los tratamientos térmicos severos pueden producir pérdidas importantes. La tiamina se destruye por la acción del SO_2 .

No es probable que el valor energético del salvado sufra pérdidas significativas con ninguno de los procesos de estabilización conocidos¹³.

El valor proteico del salvado depende de dos factores principales: la concentración total de proteínas y la distribución de aminoácidos que componen dichas proteínas. La proporción de la proteína ingerida que de hecho se digiere y absorbe viene determinada en gran parte por la calidad de la ración proteica, en términos de su composición en aminoácidos, pero también por la disponibilidad de los mismos. No es de esperar que los procesos de estabilización, y en particular los procesos térmicos, afecten a la concentración de proteínas del salvado ni a su composición en aminoácidos. Sin embargo, puede disminuir, en la medida de la severidad del tratamiento, la disponibilidad de algunos de los aminoácidos. La lisina disponible es un buen índice de la retención de aminoácidos durante la estabilización. La lisina es sensible a las condiciones necesarias de inactivación enzimática y, sobre todo, la lisina es un aminoácido limitante en el salvado. Además, se dispone de métodos químicos aceptables para su determinación.

La lisina disponible se puede determinar por el método directo del fluorodinitrobenceno, conocido por el método de Carpenter [90] según la modificación de Booth [91]. El procedimiento consiste en convertir los restos de lisina con grupos ϵ -amino libres de las proteínas, en derivados, 2,4-dinitrofenilados amarillos, por tratamiento con solución alcalina de 1-fluoro-2,4-dinitrobenceno (FDNB). Los derivados dinitrofenilados de otros α -aminoácidos son solubles en éter (excepto los derivados de la α -arginina), y se eliminan por extracción por este disolvente, midiéndose a continuación la tasa de absorción de la fase acuosa residual. La interferencia del dinitrofenil derivado de la α -arginina se corrige haciendo reaccionar el ϵ -dinitrofenil derivado de la lisina con metilcloroformiato (metoxi-carbonil cloruro), que da lugar a un compuesto extraíble en éter. El dinitrofenil derivado de la α -arginina queda en la fase acuosa, y vuelve a medirse la tasa de absorción. La lectura inicial menos la lectura final da la cantidad de ϵ -lisina disponible presente en el salvado.

Referencias

1. H. S. R. Desikachar, "Preservation of by-products of rice milling", *Proceedings of the International Conference on Rice By-product Utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. II, pp. 1-32.
2. K. Takahashi, *Rice Bran Oil*, Patente japonesa 35.263, 4 noviembre 1919.
3. J. L. Gómez Fabra y E. Primo Yufero, "Industrial utilization of the by-products: IX. Stabilization of the germ and the bran", *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química, Serie B: Química*, vol. 49, No. 12 (1953), pp. 804-808.

¹³Algunos autores han señalado que la extracción de grasas podría ser un medio de incrementar la estabilidad del salvado. Ahora bien, el desengrasado no se puede considerar como procedimiento de estabilización, dejando aparte el hecho de que la acidificación de la grasa residual sigue siendo un problema en el salvado desengrasado y se ha indicado la necesidad de un tratamiento térmico para frenar dicha alteración [89].

4. K. Adachi y Y. Futsuhara, "Effects of radiation on the developing rice embryos: I. Cytohistological and histological observations of irradiated embryos", *Jap. J. Breed.*, vol. 24, No. 1 (1974), pp. 31-37.
5. J. R. Loeb y N. J. Morris, *Abstract Bibliography of the Chemistry, Processing and Utilization of Rice Bran and Rice Bran Oil* (Nueva Orleans, Southern Regional Research Laboratory, Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, Agricultural Research Administration, Department of Agriculture, 1952).
6. J. R. Loeb, N. J. Morris y F. G. Dollear, "Rice bran oil extraction process", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, No. 26, 1949, pp. 738-743.
7. Applied Scientific Research Corporation of Thailand (Bangkok, 1976), resultados no publicados.
8. W. C. J. Hermans y V. Ratanapunvorakul, *Preliminary Study of Rice Bran Stabilization Methods* (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation, 1967).
9. B. P. Panduranga Rao, S. A. Ahmed y S. D. T. Rao, "Factors affecting the free fatty acid changes in rice bran", *Indian Oil and Soap Journal*, vol. 32, No. 37 (1967), pp. 203-210.
10. S. Chowdhary y R. K. Mukherjee, "Post-heating changes affecting yield and bran quality in rice", *RPEC Report*, vol. 4, No. 2 (1978), pp. 45-58.
11. F. P. Filho, C. J. Germany y G. A. Melo, "Inactivation of lipase of rice bran", *Lavoura Arrozeira*, vol. 27, No. 280 (1974), pp. 4-11.
12. G. Azeemoddin y otros, "Stabilization of rice bran with sodium metabisulfite", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 56, No. 5 (1979), p. 589.
13. G. W. Arnott y H. K. Lim, "Animal feeding stuffs in Malaysia: 2. Quality of rice bran and polishings", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 45, No. 4 (1966), pp. 387-403.
14. W. W. Meinke, B. B. Holland y W. D. Harris, "Solvent extraction of rice bran: Production of B-vitamin concentrate and oil by isopropanol extraction", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, octubre 1949, pp. 532-534.
15. E. I. Sidhom, A. M. El-Tabey Shehata y Z. S. Mohasseb, "Effect of storage conditions on the formation of fatty acids in rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, No. 1 (1975), pp. 101-107.
16. J. S. Kumar David y otros, "Quality of bran oil as influenced by the conditions of storage of rice bran", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, Nos. 3/4 (1965), pp. 113-114.
17. H. Díaz Blasco, N. Moundiroff y J. G. Gómez Artero, "Radiación del salvado de arroz con rayos gamma", *Revista Argentina Grasas Aceites*, vol. 5, No. 2 (1963), pp. 57-60.
18. A. S. Roseman y otros, "Gas plasma irradiation of rice: III. Influence on brown rice and rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 40, No. 5 (1963), pp. 568-575.
19. M. B. Hyde y N. J. Burrell, "Some recent aspects of grain storage technology", *Grain Storage*, R. N. Sinha y W. E. Muir, eds. (Nueva York, Avi Publishing, 1973), cap. 14, pp. 313-365.
20. H. Mitsuda, F. Kawai y A. Yamamoto, "Hermetic storage of cereals and legumes under the water and ground", *Memoirs College Agr. Kyoto University*, No. 100, Food Science and Technology Series, No. 1, noviembre 1971.
21. H. Mitsuda y otros, "Carbon dioxide gas absorption by cereal grains and its application to packaging", *Journal of the Japanese Society of Food and Nutrition*, No. 25, 1972, pp. 627-631.

22. H. Mitsuda y otros, "Mechanisms of carbon dioxide gas adsorption by grains and its application to skin-packaging", *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, No. 19, 1973, pp. 71-83.
23. H. Mitsuda y otros, "Carbon dioxide-protein interaction in a gas-solid phase", *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, No. 21, 1975, pp. 151-162.
24. S. I. El-Hinnawy, "The effect of gamma radiation on the activity of lipolytic enzymes and oil in rice bran", *Annals of Agricultural Sciences* (El Cairo, Universidad Ain Shams), vol. 7, No. 2 (1962), pp. 107-114.
25. A. S. Roseman y otros, "Gas plasma irradiation of rice: I. Hydration characteristics", *Cereal Chemistry*, vol. 38, No. 5 (1961), pp. 423-431.
26. J. T. Hogan y A. S. Roseman, "Gas plasma irradiation of rice: II. Effect of heat on hydration and cooking characteristics", *Cereal Chemistry*, vol. 38, No. 5 (1961), pp. 432-438.
27. C. A. Browne, Jr., "Characteristics of rice oil", *Journal of the American Chemical Society*, No. 25, 1903, pp. 948-954.
28. M. Pe, "Rice bran oil technology", documento presentado al Seminario Interregional sobre la elaboración industrial del arroz, Madrás, India, 1971.
29. P. A. West y A. O. Cruz, "Philippine rice-mill products with particular reference to the nutritive value and preservation of rice bran", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, No. 1 (1933), pp. 1-76.
30. R. S. Jaganmohan y otros, "A rice stabilizer for rice mills", *Research and Industry* (Nueva Delhi), vol. 23, No. 2 (1978), pp. 88-91.
31. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, "Production of oil from rice bran", *Arroz* (Colombia), vol. 9, No. 107 (1961), pp. 8-13.
32. E. I. Sidhom, A. H. El-Tabey Shehata y Z. S. Mohasseb, "The influence of certain heat and chemical treatments upon the formation of free fatty acids during storage of rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, No. 1 (1975), pp. 93-100.
33. B. N. Srimani y otros, *Stabilization of Rice Bran in a Closed Circuit Fluidized Bed Heat Transfer System*, Final Report of the CSIR Scheme No. 4 (14) (Jadavpur, India, Jadavpur University, 1972).
34. B. N. Srimani, P. Chattopadhyay y A. N. Bose, "Stabilization of rice bran: II. Design of a moving bed continuous rice bran drier", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977) pp. 39-48.
35. P. Ramkrishnaiah, S. K. Sawarkar y P. Sen, "Stabilization of rice bran in a stirred fluid bed", *Riso*, vol. 22, No. 2 (1973), pp. 185-190.
36. C. S. Viraktamath y H. S. R. Desikachar, "Inactivation of lipase in rice bran in Indian rice mills", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 8, No. 2 (1971), pp. 70-74.
37. P. K. Ramanathan, H. Krishna y D. P. Sen, "Stabilization of rice bran by moist heat and rice bran oil", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 noviembre 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), pp. 75-78.
38. P. Pillaiyar, M. D. Yusuff y R. V. Narayanasamy, "Hot air stabilizer for rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 10, No. 4 (1978), pp. 151-153.

39. Kem Chand y C. P. Gupta, "Stabilization of rice bran", documento presentado al Seminario sobre la modernización de la elaboración del arroz, Calcuta, septiembre 1974.
40. Kem Chand y C. P. Gupta, "Design of rice bran stabilizer", *RPEC Reporter*, vol. 1, No. 1 (1975), pp. 39-40.
41. H. S. Cheigh, "The LEC program in Korea", *Low-cost Extrusion Cookers: Second International Workshop Proceedings, 15-18 January 1979, Dar es Salaam, Tanzania*, LEC Report No. 7 (Fort Collins, Colorado State University, 1979), pp. 115-120.
42. S. H. C. Lin y C. M. Cater, "Effect of extrusion-cooking on the formation of free fatty acids in rice bran", resultados no publicados (1979).
43. J. R. Loeb y R. Y. Mayne, "Effect of moisture in the microflora and formation of free fatty acids in rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 29, No. 3 (1952), pp. 163-175.
44. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice-bran oil and rice-bran protein meal", paper prepared for the Expert Group Meeting on Pre-investment Considerations and Technical and Economic Production Criteria in the Oilseed Processing Industry, Viena, Austria, 16-20 octubre 1972 (ID/WG.120/9/Rev.1 and Summary).
45. P. N. Srinivasa y otros "Pilot plant studies on the stabilization of bran: Pneumatic conveying drying", *Indian Chemical Engineer*, No. 7, 1965, pp. 72-76.
46. B. N. Srimani, P. Chattopadhyay y A. N. Bose, "Stabilization of rice bran: I. Direct measurement of the lipase activity in rice bran and the methods for the inactivation of the same", *Proceedings of the International Conference on Rice By-product utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. II, pp. 33-38.
47. V. Subramanyan y otros, "Rice bran stabilizer", *Proceedings of the Fourth Meeting of the Rice Coordination Committee, New Delhi, July 1976*.
48. G. Sivarami Reddy y otros, "A stabilizer for rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 6, No. 4 (1974), pp. 99-100.
49. M. Kuppuswamy, "Low-cost rice bran processor for rural regions", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), pp. 81-82.
50. Draft final report of the Ad-hoc Expert Group Meeting on the Research and Development of a Small-scale, Low-cost Rice Bran Stabilizing Unit, Viena, Austria, 6-10 diciembre 1976.
51. "Research and development of a small-scale, low-cost rice bran stabilizing unit", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), pp. 33-40.
52. Applied Scientific Research Corporation of Thailand, "Draft study on the definition of the most suitable rice bran stabilizing technology, its verification and the specification of its technical parameters", paper presented at the Ad-Hoc Expert Group Meeting on the Research and Development of a Small-scale, Low-cost Rice Bran Stabilizing Unit, Viena, Austria, 6-10 diciembre 1976 (ID/WG.240/2).
53. A. Salgado de Oliveria, "Rice-bran enzyme inactivating equipment" (comunicación privada, 1976).
54. S. Lakshminarayanan, "Rice bran stabilizer", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), p. 20.

55. S. Bal, S. K. Savarkar y S. K. Bhati, "Development of rice bran stabilizer using combined phase fluidized bed method of heat transfer", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India).
56. M. Williams y S. Baer, "The expansion and extraction of rice bran", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 42, No. (1965), pp. 151-155.
57. I. S. Pablo y A. V. Sangalang, "The effect of extrusion-cooking on the formation of free fatty acids in rice bran" (Manila, Philippine Women's University, 1978).
58. S. Mukhopadhyay, "Low cost cooker use in India", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado, 2-5 June 1976* (Fort Collins, Colorado State University, 1976), pp. 85-91.
59. A. Bhumiratana, "LEC activities in Thailand: Low-cost extrusion cookers", *Second International Workshop Proceedings, Dar es Salaam, Tanzania, 15-18 January 1979*, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1979), pp. 225-234.
60. J. M. Harper y otros, *Evaluation of Low-cost Extrusion Cookers for Use in LDCs: Annual Report*, LEC Report No. 4 (Fort Collins, Colorado State University, 1978).
61. R. N. Sayre, *Review on Rice Bran Stabilization Systems with Emphasis on Extrusion Cooking* (Albany, California, Western Regional Research Centre, Department of Agriculture, 1980).
62. R. V. Enochian y otros, *Stabilization of Rice Bran with Extrusion Cookers, and Recovery of Edible Oil: A Preliminary Analysis of Operational and Financial Feasibility* (Albany, California, Western Regional Research Centre, Department of Agriculture, 1980).
63. H. S. Cheigh, C. J. Kim y D. C. Kim, "Development and use of a low-cost extruder for the rice bran oil stabilization", paper presented at the International Symposium on Recent Advancement in Food Science and Technology, Taipei, 9-11 enero 1980.
64. R. E. Tribelhorn, "Colorado State University extrusion facilities and systems", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado, 2-5 June 1976*, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), pp. 35-41.
65. M. Van Peursem, "Manufacturer's experience with IEC's the Brady crop cooker", in *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado, 2-5 June 1976*, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976) pp. 29 y 30.
66. J. Jackson, "Research to improve manufacturing operations", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado, 2-5 June 1976*, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), p. 150.
67. J. L. Smith, J. D. Keelby y R. E. Tribelhorn, "Mechanical evaluation of Brady crop cooker", *Special Report: Evaluation of Low-cost Extrusion Cookers for Use in LDCs*, LEC Report No. 5 (Fort Collins, Colorado State University, 1978).
68. R. L. Roberts y otros, "Steam blanching of fresh rough rice curbs spoilage by fatty acids", *Food Industries*, No. 21, 1949, p. 1042.
69. D. F. Houston, J. R. Hunter y E. B. Kester, "Effect of steaming fresh paddy rice on the development of free fatty acids during storage of brown rice", *Cereal Chemistry*, 1951, pp. 394-399.
70. F. Gariboldi, "El sancochado del arroz", Cuadernos de fomento agropecuario, No. 97 (Roma, FAO, 1974).

71. Nawab Ali y T. P. Ojha, "Parboiling", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua y M. Graham, eds. (Ottawa, International Development Research Centre, 1976), pp. 164-204.
72. S. Bal, N. Ali y T. P. Ojha, *Parboiling of Paddy*, RPEC Publication No. 745 (Kharagpur, India, Indian Institute of Technology, 1974).
73. N. G. C. Iengar y otros, *Effect of Pressure Parboiling of Paddy on the Preservability of Bran Produced*, 1978.
74. P. S. Sarda, "Processing rice bran oil of edible grade", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India).
75. V. Ratanapunvorakul y W. C. J. Hermans, "Report No. 3: Further studies on rice bran stabilization methods" (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation of Thailand, 1968).
76. W. C. J. Hermans, N. Pichitakul y K. Bhuntumkomol, *Rice Bran Stabilization by Steaming: Pilot Plant Experiments*, Report No. 4 (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation of Thailand, 1970).
77. C. S. Viraktamath, "Large scale trials for stabilization of rice bran with steam", *Journal of Food Science and Technology* (Mysore, India), vol. 11, No. 4 (1974), pp. 191-193.
78. H. L. Burns y M. M. Cassidy, *Method of Treating Rice Bran and Rice Polish*, U.S. patent 2,563,798.
79. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and use of the oil and deoiled bran", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. III, pp. i-38.
80. K. Yokochi, "Installation for the stabilization of rice bran" (comunicación personal, 1976).
81. S. Banarjee, "Design of rice bran stabilizer", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India).
82. J. L. Vetter, M. P. Steinberg y A. I. Nelson, "Quantitative determination of peroxidase in sweet corn", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 6, No. 1 (1958), p. 39.
83. P. J. Fito y otros, "Process for the stabilization of rice bran: II. Development of pilot plant and industrial equipment", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. II, pp. 63-72.
84. International Standard ISO 6322/1, *Storage of Cereals and Pulses*, part I: General considerations in keeping cereals (1981).
85. D. F. Houston, R. L. Roberts y E. B. Kester, "Method of measurement of lipase activity in rice bran", *Rice Journal*, vol. 28, No. 4 (1951), pp. 29-30.
86. C. L. San Clemente y D. V. Vadhera, "Instrumental assay of microbial lipase of constant pH", *Applied Microbiology*, vol. 15, No. 1 (1967), p. 110.
87. American Oil Chemists Society, "Color, Wesson method using color glasses calibrated in accordance with the AOCS tintometer color scale", AOCS official method CC 13-b-45, *Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists Society* (Chicago, 1974).

88. American Oil Chemists Society, "Color, photometric method", AOCs official method CC 13-c-50, *Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists Society* (Chicago, 1974).
89. L. Lynn, R. M. Anderson y D. L. Carpenter, "New X-M rice bran: Entirely new basic raw material now available to food processors", *Cereal Science Today*, vol. 12, No. 6 (1967), pp. 221-222.
90. K. J. Carpenter, "The estimation of the available lysine in animal-protein foods", *Biochemical Journal*, No. 77, 1960, p. 604.
91. V. H. Booth, "Problems in the determination of FDNB-available lysine", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, No. 22, 1971, pp. 658-666.
92. S. Barber y otros, "Process for the stabilization of rice bran: I. Basic research studies", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization, Valencia, 30 September-2 October 1974*, S. Barber y E. Tortosa, eds. (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. II, pp. 49-62.

VI. El almacenamiento del salvado de arroz

El almacenamiento en la práctica

El salvado de arroz es un producto que, en condiciones normales, se altera con relativa facilidad, razón por la cual se almacena el menor tiempo posible antes de su consumo o de su ulterior elaboración industrial (para fabricación de piensos y extracción de aceite, principalmente). En la práctica, sin embargo, las circunstancias varían mucho de unas zonas a otras y el tiempo que puede transcurrir desde que el salvado se produce en el molino hasta que se consume o se utiliza en un proceso posterior puede variar desde unas horas a varios meses. En muchas zonas rurales, el salvado producido en el pequeño molino de la vecindad se expende o distribuye a diario y se consume en el mismo día o antes de 48 horas. Así ocurre también en plantas extractoras integradas y combinadas con grandes molinos. En otras, sin embargo, localizadas lejos de los centros de producción, como las de Bombay, el salvado que se elabora ha sido producido varios meses antes. Recogido poco a poco de pequeños molinos aldeanos, por intermediarios, transportado tal vez desde 200 o 400 km de distancia y distribuido a la extractora lo antes posible, tal vez tenga que esperar aún varios días para ser elaborado. A pesar, pues, de que el molinero, los intermediarios y los usuarios tratan de reducir al mínimo las retenciones, lo cierto es que, en la práctica, sigue siendo necesario almacenar el salvado. La inestabilidad propia del producto hace que se produzcan alteraciones importantes aunque el tiempo de almacenamiento sea corto.

Debido a que el salvado es un subproducto, que tiene que ser expedido o consumido rápidamente y que la tecnología aplicable está muy poco desarrollada, su almacenamiento es por lo general un tanto precario. Después de pasar por las blanqueadoras, el salvado se acumula, a veces, en un simple montón en el suelo, o se transporta a un depósito o silo en los molinos más grandes.

El salvado ensilado suele ofrecer problemas por su tendencia a apelmazarse y dificultar la descarga. Es frecuente ver en la zona de la pared del silo o depósito, próxima a la boca de salida, abolladuras producidas por los golpes de mazo que aplican los trabajadores para provocar la salida del subproducto.

Del depósito o silo, el salvado se descarga directamente en camiones para el transporte a granel. En muchas zonas del mundo la forma usual de manipulación y transporte del subproducto es en sacos. El saco es un elemento importante por sus repercusiones económicas y sociales en términos de mano de obra y por su influencia sobre la conservación del salvado.

Factores que influyen en la alteración del salvado

Una partida de salvado, en la práctica industrial y comercial, es un ecosistema muy complejo. Contiene el germen de la semilla, que conserva capacidad respiratoria y germinativa. Contiene también fragmentos de tejidos con gran número de enzimas de alta actividad. Su estructura celular está en gran parte rota, teniendo sus componentes la oportunidad de establecer contacto unos con otros y con el oxígeno de la gran cantidad de aire intersticial que ocluye. Lleva una carga microbial generalmente elevada. El salvado es, además, portador de huevos de insectos o de diversas especies de insectos adultos. Las actividades biológicas internas y externas y las reacciones químicas que pueden ocurrir dependen de una serie de factores. Los más importantes son: *a)* humedad; *b)* temperatura; *c)* tiempo; *d)* composición de la atmósfera intersticial, y *e)* características físicas y químicas de las partículas de salvado y de sus interrelaciones. La humedad (en sus dos aspectos de humedad relativa y actividad del agua) desempeña un papel fundamental, y sin un adecuado conocimiento del mismo no se puede comprender debidamente el comportamiento del salvado durante el almacenamiento. Por esta razón, el presente estudio de los cambios que se operan en el salvado comienza con un estudio del cometido que desempeña el agua.

La función del agua: isotermas de sorción

Las moléculas de agua pueden establecer puentes de hidrógeno¹: *a)* entre otras moléculas de agua, formando los agregados característicos del estado líquido, o las estructuras cristalinas características del hielo, y *b)* con grupos orgánicos polares ($-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}$) (véase la figura 1). Estos últimos son abundantes en el salvado; el almidón y los azúcares, constituyentes principales del subproducto, se caracterizan precisamente por la pluralidad de grupos hidroxilo que poseen, y las proteínas, otro constituyente principal del salvado, poseen también una amplia variedad de grupos polares e iónicos en sus aminoácidos laterales ($-\text{OH}$, $=\text{NH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NHCNHNH}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{CONH}_2$), todos ellos susceptibles de formar enlaces por puentes de hidrógeno. El agua puede formar también estructuras en torno a los grupos apolares ($\equiv\text{CH}$, $=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$) por los que no muestra afinidad: los grupos polares unidos al agua por puentes de hidrógeno repelen a los grupos apolares hacia zonas del interior de la macromolécula carentes de agua. La afinidad de un material biológico por el agua depende del número de grupos polares en relación al de apolares, de su accesibilidad y de su orientación.

La afinidad del agua por el salvado se representa gráficamente por la denominada curva de sorción (véase la figura 2). La curva representa la cantidad de agua adsorbida por una sustancia (el salvado) a una temperatura

¹El enlace a través de puentes de hidrógeno de naturaleza electrostática puede formarse entre un átomo electronegativo (O, N, F, S, Br, I, Cl), que posea un doblete electrónico en exceso, denominado dador, y un átomo de hidrógeno, denominado aceptor. Es un enlace fácil, de poca energía (17-46 kJ/mol) comparado con el enlace covalente (del orden de 419 kJ/mol).

Figura 1. Puentes de hidrógeno entre el agua y diversos grupos funcionales

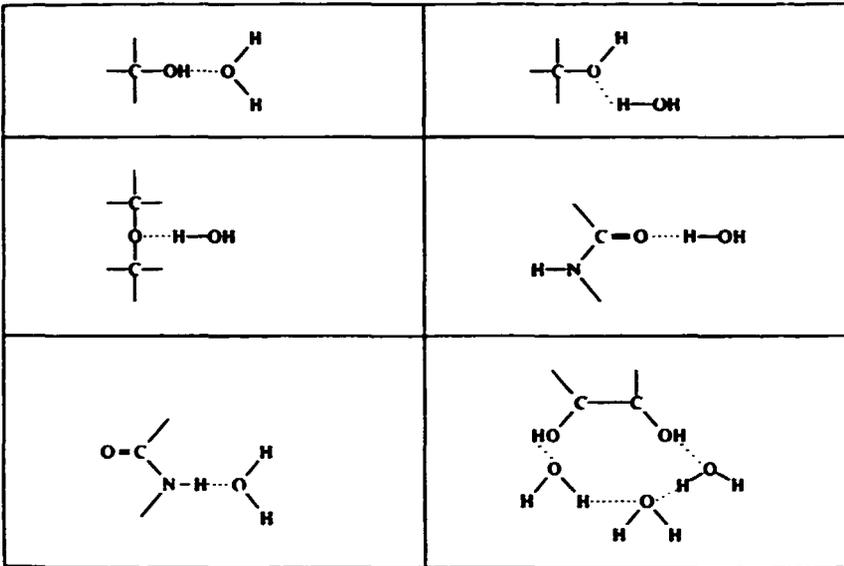
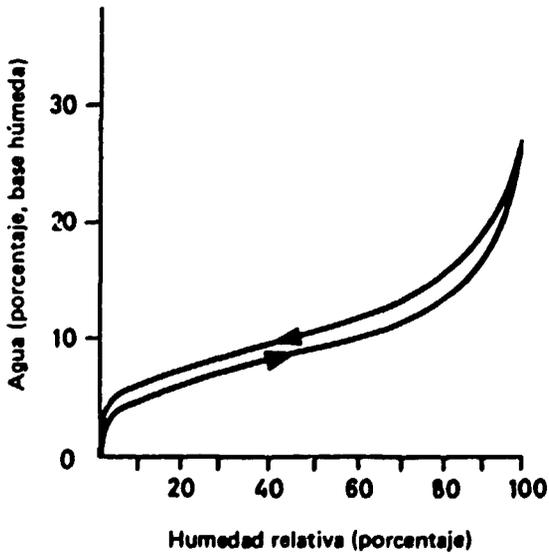


Figura 2. Isotermas de sorción y de desorción típicas del salvado de arroz (hipotéticas)



constante determinada (por lo que se califica de "isoterma"), en función de la humedad relativa de la atmósfera en equilibrio con el producto. También se puede expresar en función de la actividad del agua, o de la presión de vapor en equilibrio. La actividad del agua $a_w = p/p_0$ es una función de la humedad relativa en equilibrio con el producto (HRE); donde p es la presión de vapor ejercida por el agua en la sustancia a una determinada temperatura, y p_0 es la presión de vapor de saturación del agua a la misma temperatura. Existe diferente significado para a_w y HRE: HRE se refiere a la fase gaseosa y a_w a la fase condensada.

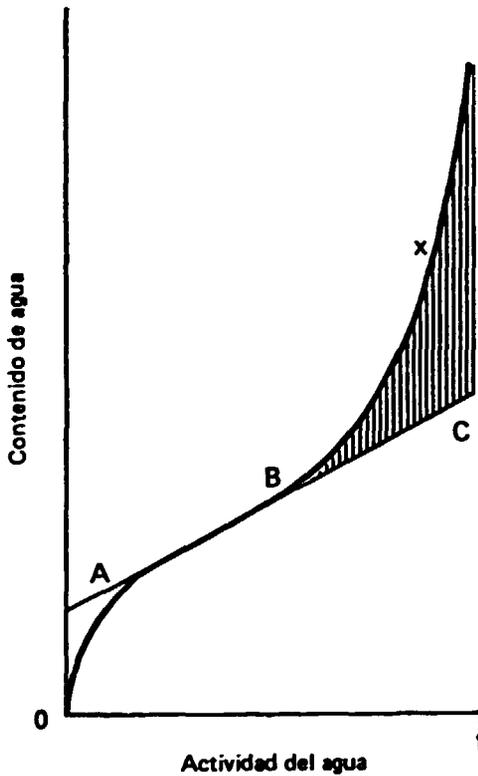
La isoterma de sorción típica tiene forma de sigmoide. Presenta tres tramos bien definidos: uno, en el que a_w se sitúa entre 0 y 0,10 aproximadamente, en el que se supone que las moléculas de agua están fuertemente ligadas a los centros polares libres y accesibles; un segundo tramo en el que a_w se sitúa aproximadamente entre 0,10 y 0,65, que se corresponde con la zona recta de la curva, y en el que se supone que las moléculas de agua se fijan sobre las anteriores o sobre centros polares convertidos en accesibles por la estructura del sustrato, y un tramo final con valores de a_w superiores a 0,65, de pendiente pronunciada, que supone la acumulación de moléculas de agua adicional en estructuras secundarias y terciarias de las macromoléculas, e incluso por efectos capilares y osmóticos a altos valores de a_w ; en este tramo las moléculas de agua están dotadas de gran movilidad. Como han señalado Multon y Bizot [1], Guilbot y Lindenberg [2] demostraron que la diferencia de ordenadas entre la sigmoide y la prolongación del tramo recto (zona rayada de la figura 3) representa una fracción del agua adsorbida retenida por enlaces de baja energía con propiedades solventes. La ordenada de la parte recta extrapolada hasta $a_w = 1$ representa el agua fuertemente ligada, sin poder solvente.

Las curvas de adsorción y desorción no coinciden (véase la figura 2). La última está desplazada hacia el origen de las coordenadas. El contenido de humedad correspondiente a una humedad relativa dada puede tener dos valores, según el material haya venido ganando o perdiendo humedad. A una misma HRE, el salvado, como otros productos de cereales, posee un contenido de humedad más alto cuando se está secando que cuando se está humedeciendo. Este fenómeno, conocido como histéresis, puede representar diferencias de contenido de humedad para un mismo valor de HRE de 1 a 2 unidades por ciento. Para ciertos casos será, pues, importante saber si el dato se refiere a la adsorción o a la desorción.

Si, en lugar de considerar una sola temperatura, se consideran varias, se obtiene una red de curvas isotermas (véase la figura 4). La presión de vapor ejercida por la humedad del producto cambia, de modo que la humedad de la atmósfera que lo rodea se mantiene una fracción casi constante de la de una atmósfera saturada a esa temperatura. A medida que aumenta la temperatura, disminuye la afinidad del producto por el agua. En consecuencia, si el salvado se calienta pierde agua y, a la inversa, si se enfría, la absorbe.

En las condiciones representadas por el tramo final de la isoterma, empezando con valores de a_w alrededor de 0,75 y 0,80, el almacenamiento entraña riesgos. A partir de este punto hay agua disponible y puede ser utilizada por los microorganismos, facilitando su proliferación. Por encima de un valor a_w de 0,75, los mohos se desarrollan rápidamente y producen calor, lo que favorece aún más las alteraciones. En consecuencia, es necesario que a_w se

Figura 3. Curva de sorción que muestra la presencia de agua solvente

**Clave:**

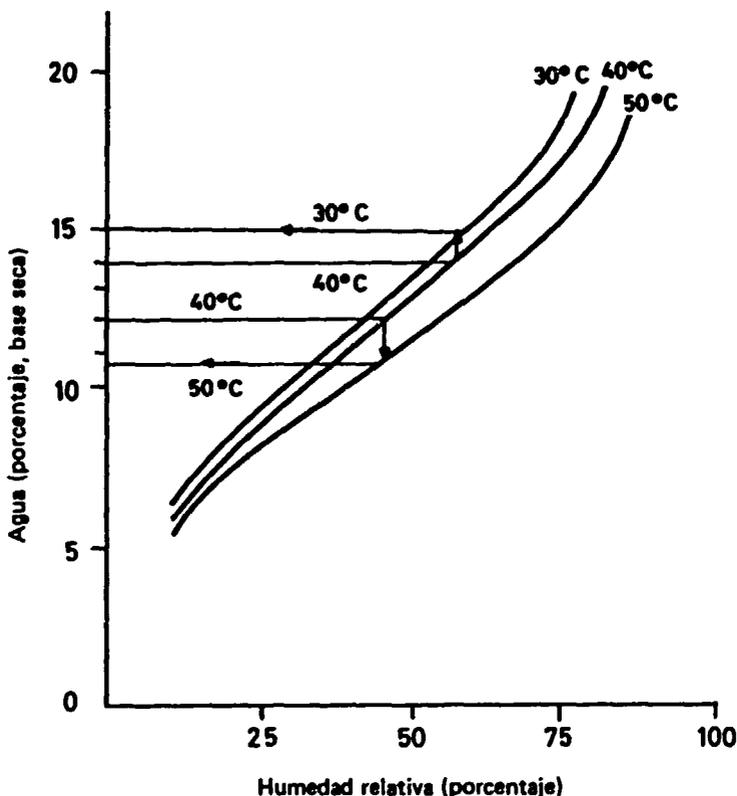
- A Punto correspondiente a la cantidad de agua fuertemente ligada
- B Punto de aparición de agua solvente
- C Punto correspondiente a la cantidad de agua total no solvente
- X Agua disponible

Fuente: Guilbot y Lindenberg [2].

mantenga por debajo de 0,75 para evitar riesgos de alteración. Salvo excepciones, ninguna reacción enzimática (la lipásica es una excepción), ni ningún desarrollo microbiano importante tienen lugar sin un mínimo de agua solvente.

Si el envase es permeable a la humedad, el producto puede perder agua o ganarla; en el primer caso, perderá peso y, en el segundo, si a_w pasa de 0,75, correrá riesgo de alteración. Por el contrario, si el envase no es permeable se evitará la pérdida de peso, pero si hay una caída de la temperatura la HRE aumentará y, según el incremento, puede llegar a la condensación. Problemas análogos pueden presentarse también en el producto almacenado en botellas y silos. La condensación en las paredes o sobre el propio producto aumenta la

Figura 4. Isotermas de desorción del trigo a diferentes temperaturas



Fuente: Multon y Bizot [1].

actividad del agua en la zona y, por lo tanto, eleva el riesgo de alteración. Cuando el aire intersticial se mueve de una zona caliente a otra más fría, como parte de circuito de convección natural, cede humedad al producto. Estos movimientos de humedad son causa, muchas veces, del desarrollo de mohos y de la formación de apelmazamientos en las zonas altas del producto almacenado a granel.

Temperatura

La temperatura es tan importante como el contenido de humedad en el almacenamiento del salvado. Tiene influencia en todos los tipos de reacciones químicas. La velocidad de una reacción química es proporcional, no al número total de moléculas presentes, sino al número de ellas que poseen la energía de activación necesaria para la reacción: esta energía de activación depende de la temperatura. La ecuación de Arrhenius $k = A \exp(-\Delta E/RT)$ establece una

relación entre tres factores importantes: la velocidad de reacción (a través de la constante de velocidad k), la energía de activación E y la temperatura absoluta T (R es la constante universal de los gases). La ecuación indica que la relación entre k y T es de naturaleza exponencial, lo que pone de relieve la influencia importante de T . La forma logarítmica de la ecuación,

$$\log k = \frac{-E}{2.303 R} \times \frac{1}{T} + \log A$$

indica que el logaritmo de k es inversamente proporcional a la temperatura absoluta T . La ecuación de Arrhenius exige que la representación de $\log k$ frente a $1/T$ sea una recta. Las reacciones de los alimentos generalmente cumplen esta norma en un intervalo de temperaturas intermedias, si bien presentan desviaciones para valores más extremos. Cuando el log de k se representa frente a $1/T$, la pendiente de la recta es igual a $-E/2,303 R$, a partir de lo cual se puede obtener fácilmente la energía de activación E .

Para expresar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas, se suele emplear el término Q_{10} , que viene definido como la relación entre la velocidad de reacción a temperatura $T + 10$ y la velocidad de reacción a temperatura T , y tiene un valor próximo a 2, lo que indica que la velocidad de reacción se duplica aproximadamente por cada aumento de temperatura de 10 K, por lo menos dentro del intervalo de temperaturas intermedias, donde en el tiempo de la reacción no se produce desnaturalización significativa.

En muchas zonas arroceras, la temperatura ambiente alcanza cotas relativamente elevadas, con máximos que sobrepasan los 40°C a la sombra, dentro del intervalo de temperaturas intermedias. A esos niveles, los cambios en la velocidad de reacción provocados por variaciones de la temperatura, que pueden darse en la práctica, son ya importantes. Así pues, la temperatura desempeña un papel decisivo en las alteraciones del salvado de orden químico, enzimático y biológico, que se examinarán más adelante.

Otros factores

Aunque la actividad del agua y la temperatura son los factores más importantes de las alteraciones que ocurren en el salvado, junto con el tiempo disponible para que tengan lugar esas reacciones, conviene mencionar también otros factores, como son la composición de la atmósfera intersticial y el tamaño de partícula.

La composición de la atmósfera intersticial es importante en relación con la disponibilidad de oxígeno. El oxígeno interviene en algunas reacciones enzimáticas, y en oxidaciones puramente químicas determina la naturaleza aeróbica o anaeróbica del metabolismo de los microorganismos, e influye notablemente en la supervivencia de los insectos. La concentración de O_2 , combinada con la proporción de CO_2 o N_2 en la atmósfera, es un medio de lucha contra los insectos.

El tamaño de partícula no se ha estudiado en relación con las reacciones que caracterizan la alteración del salvado de arroz. No obstante, desempeña un papel importante. La elaboración rompe las barreras naturales que en la cariósida protegen a los lípidos frente a la lipasa. La organizada estructura

celular de las capas externas del grano se destruye y la fricción entre las partículas hace que los constituyentes así liberados entren en contacto íntimo. La superficie de salvado expuesta al oxígeno de la atmósfera intersticial favorece las reacciones oxidativas, sólo frenadas por los antioxidantes naturales, los tocoferoles, que se pierden. En este contexto, no se estima que las variaciones del tamaño de partícula esperadas en la práctica industrial cambien la pauta de las alteraciones, pero sí la velocidad de éstas. Es muy posible que esto contribuya a explicar las notables diferencias en los valores publicados para cierto tipo de alteraciones del salvado.

La conductividad térmica desempeña también un papel que se debe mencionar. En el caso del salvado es muy baja y favorece la acumulación del calor donde se produce (facilitando la formación de focos térmicos, generadores de alteraciones). Esta falta de conductividad significa que no es probable que la fluctuación de la temperatura externa penetre en el interior del salvado almacenado a granel, aunque el salvado nunca se almacena a granel en tan grandes cantidades como el arroz.

Causas de la alteración del salvado

Las alteraciones del salvado pueden ser de origen químico, enzimático o biológico, siendo la causa de estos últimos principalmente microorganismos, insectos y roedores.

Reacciones químicas

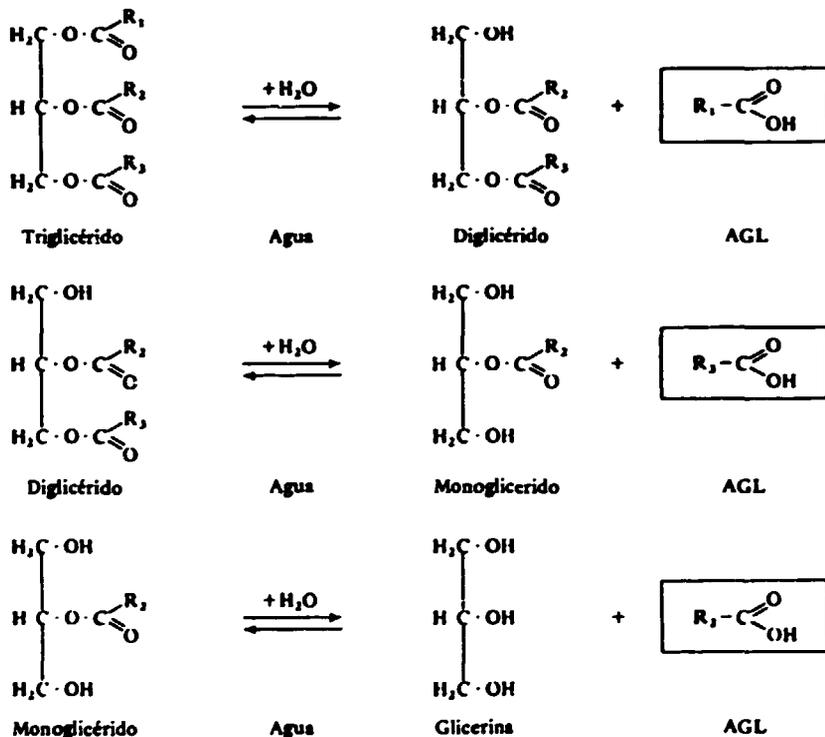
En condiciones normales de almacenamiento, las reacciones puramente químicas parecen poco importantes en el caso del salvado crudo. Su importancia puede ser mayor en el salvado procedente de arroz sancochado; así ocurre en particular con los cambios oxidativos de los lípidos en medios secos, pues la presencia de agua aporta cierto grado de protección. Las reacciones de Maillard requieren en general temperaturas altas o un tiempo de almacenamiento prolongado. En este último caso, pueden ocurrir a temperaturas superiores a 20°C con un valor de a_w entre 0,5 y 0,75, pero son menos probables con valores de a_w más elevados [1].

Reacciones de naturaleza enzimática

Como ya se ha indicado antes, el salvado contiene un gran número de enzimas activos de los cuales los más importantes desde el punto de vista del almacenamiento son las lipasas. Los segundos en importancia, aunque sólo tienen un papel secundario, son las oxirreductasas, es decir, la lipoxigenasa y la peroxidasa. Las reacciones catalizadas por las lipasas son de naturaleza hidrolítica (véase la figura 5).

Como resultado de la acción enzimática se liberan ácidos grasos libres (AGL). La lipólisis tiene lugar solamente en la interfase entre agua y aceite.

Figura 5. Hidrólisis de glicéridos catalizada por lipasa

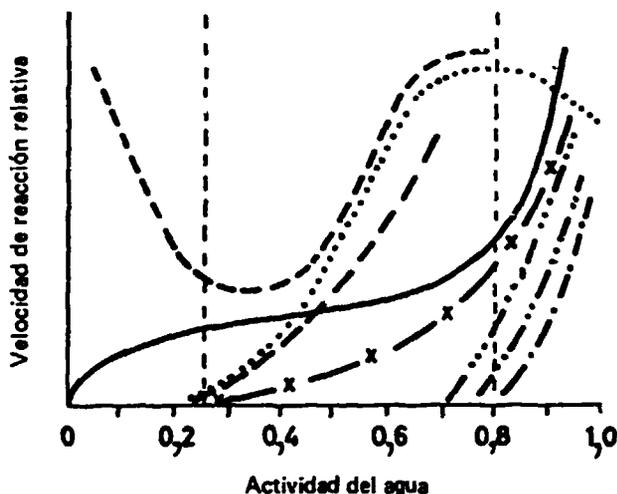


El agua, además de intervenir como sustrato, interviene como medio solvente para la difusión del enzima, de los reactivos y de los productos de la reacción. No es sorprendente, pues, que la mayor parte de las reacciones enzimáticas no se produzcan más allá del umbral de aparición del agua solvente y en función de la cantidad disponible de ésta. Por ello, en general, la mayoría de las actividades enzimáticas empiezan a manifestarse cuando $a_w = 0,75-0,88$. Sin embargo, la lipasa actúa ya a niveles mucho más bajos ($a_w \approx 0,20$) (véase la figura 6). Esto se explica por el hecho de que el sustrato (aceite), al ser líquido, facilita la renovación de los contactos entre enzima y sustrato. Importa señalar que todo aumento del área superficial grasa llevará consigo un aumento de la velocidad de la lipólisis.

La acción del calor sobre la lipólisis, como sobre otras reacciones enzimáticas, es doble: a nivel cinético, acelera la reacción, en tanto que a nivel de la estructura proteica, inactiva el enzima. Por debajo de la temperatura óptima de las lipasas del arroz², todo aumento de temperatura acelera la velocidad de reacción. Por encima del óptimo, el efecto desnaturizante predomina y el aumento ulterior de temperatura provoca una disminución de la velocidad de reacción.

²Aizono y otros [4] encontraron que la temperatura óptima de la lipasa del arroz a pH 7,5 era 37°C. En investigaciones posteriores [5] aislaron una lipasa II de temperatura óptima 27°C al mismo pH.

Figura 6. Velocidades de reacción en alimentos, en función de la actividad del agua



Clave:

- Oxidación de lípidos
- Isoterma de contenido de humedad
- Pardeamiento no enzimático
- Reacciones hidrolíticas
- x-x- Actividad enzimática
- Crecimiento de mohos
- Crecimiento de levaduras
- Crecimiento de bacterias

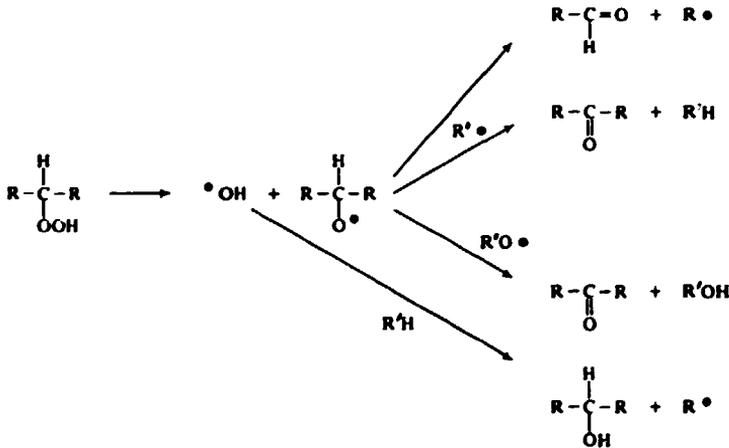
Fuente: O. R. Finneema [3].

La lipólisis en el salvado de arroz es catalizada por lipasas de dos orígenes distintos: vegetal y microbiano. El arroz posee actividad lipolítica propia. Pero, además, puede contener lipasas por microorganismos. Estos microorganismos son muy numerosos y frecuentemente se encuentran muchos de ellos contaminando el arroz. Aunque algunos producen lipasas intracelulares, la mayoría producen lipasas extracelulares. Entre los mohos, que son las fuentes más importantes, figuran *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Mucor*. Entre las bacterias productoras de lipasa destacan las *Xanthomonas*. Las lipasas microbianas son auténticas lipasas, ya que no están inhibidas por el fluorofosfato de diisopropilo. Al igual que las lipasas naturales, las de origen microbiano hidrolizan numerosos aceites naturales y grasas, característica que se utiliza para su determinación analítica. No todos los sustratos se hidrolizan a la misma velocidad ni en el mismo grado, ni todas las lipasas tienen el mismo efecto. La lipasa del *Rhizopus oligosporus* y la del *Mucor sufu* catalizan la hidrólisis del enlace éster en las posiciones 1 y 3, mientras que la del *Aspergillus flavus* cataliza también la de la posición 2.

La lipoxigenasa (lipoxidasa) cataliza la oxidación por oxígeno molecular de los ácidos grasos poliinsaturados que contienen un grupo *cis, cis*-1,4-pentadieno. Los ácidos de este tipo que se encuentran en el salvado son el

linoleico (ácido 9,12-octadecadienoico), el linolénico (ácido 9,12,15-octadecatrienoico), y el araquidónico (5,8,11,14-eicotetraenoico). Son sustratos para la catálisis de la lipoxidasas tanto en sus formas de AGL como en la de glicéridos, si bien en la primera la velocidad de reacción es mayor. De la reacción resulta la formación de un peróxido orgánico; uno de los dobles enlaces salta a una posición conjugada y el compuesto adquiere la forma de un isómero *cis, trans*. Los hidroperóxidos son los principales productos de la reacción inicial con el oxígeno. Se descomponen rápidamente para formar radicales que contribuyen a la reacción de la oxidación en cadena o bien que forman otros productos: aldehídos, alcoholes, cetonas y ácidos (véase la figura 7).

Figura 7. Descomposición de los hidroperóxidos resultantes de la oxidación de los lípidos



Fuente: O. R. Fennema [3].

La peroxidasa cataliza la reacción $\text{ROOH} + \text{AH}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{ROH} + \text{A}$. Cataliza la degradación peroxidativa de los ácidos grasos insaturados, dando lugar a la formación de compuestos carbonílicos volátiles, con olor propio, que contribuyen al olor del producto oxidado. Con ciertos dadores de H, como el ácido dihidroxifumárico y el oxígeno molecular, la peroxidasa puede hidroxilar los aminoácidos tirosina y fenilalanina.

Tanto la lipoxigenasa como la peroxidasa ejercen efectos destructivos sobre una variedad de componentes de los alimentos, probablemente a través de los radicales que se generan en la descomposición de los hidroperóxidos.

No es fácil medir el estado de oxidación del aceite. El índice de peróxido proporciona una indicación mientras no hay descomposición de hidroperóxido. El contenido en compuestos carbonílicos también puede ser útil, siempre que no tengan lugar reacciones secundarias o volatilización. El índice del ácido tiobarbitúrico (TBA) no es un buen indicador en sistemas de baja humedad como el arroz [6, 7].

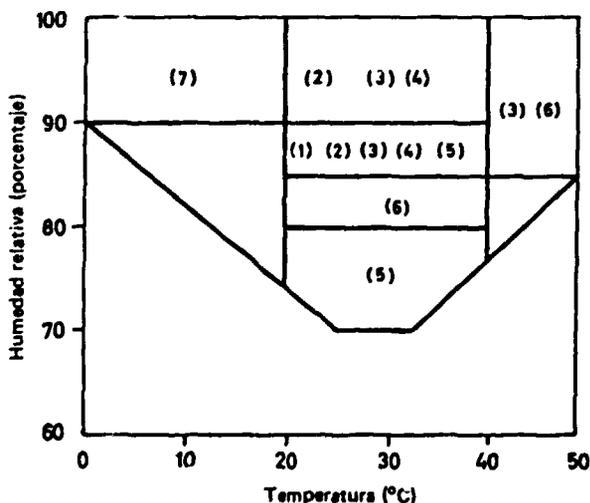
Alteraciones de naturaleza biológica

Entre las fuentes más importantes de alteraciones de naturaleza biológica se encuentran los microorganismos, los insectos y los roedores.

Microorganismos

El salvado, por su origen y por el medio en que se produce, suele tener una población microbiana abundante y variada. No obstante, sólo los mohos constituyen un auténtico riesgo de alteración, cuando el salvado se almacena y manipula de la manera usual. Por encima de $a_w = 0,70-0,75$, los mohos se multiplican rápidamente, en particular a medida que sube la temperatura (dentro de la gama de 20° a 40°C). Algunas esporas de mohos pueden proliferar a $a_w \approx 0,62$ [1]. La figura 8 indica los límites usuales de humedad relativa y de temperatura en que se desarrollan algunas de las principales especies de mohos encontradas en el salvado [8]. La figura 9 muestra los límites físicos dentro de los cuales crecen algunas especies biológicas. El conocimiento de las condiciones que rigen el crecimiento de los mohos permite predecir el nivel de humedad del producto al que, en las condiciones de temperatura imperantes, desaparece el riesgo de alteración.

Figura 8. Efectos de la temperatura y de la humedad relativa en ciertas especies de hongos

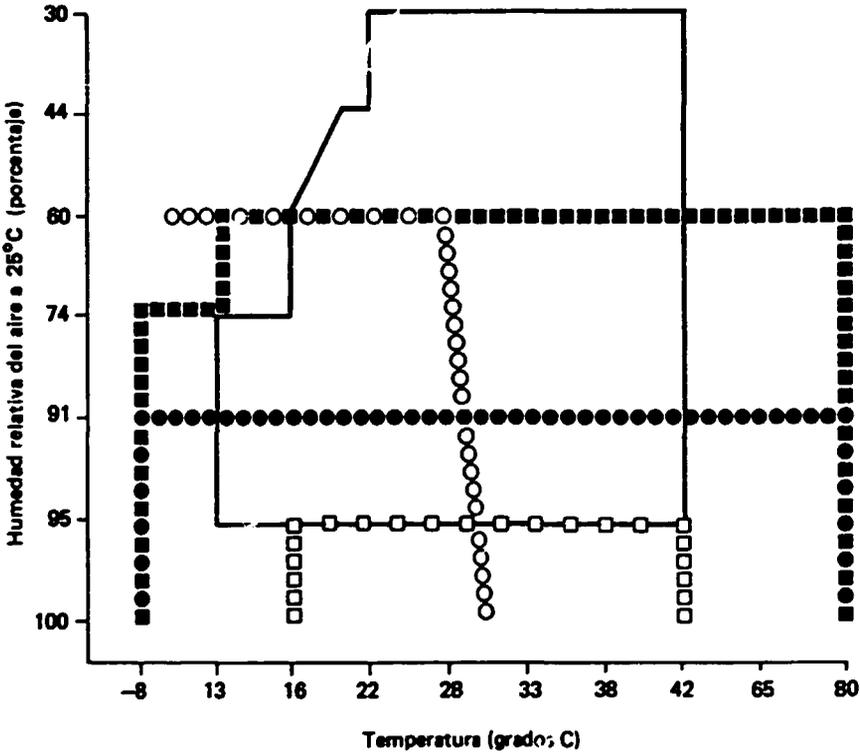


Clave:

- 1) *Aspergillus candidus*
- 2) *A. Flavus*
- 3) *A. fumigatus*
- 4) *A. niger*
- 5) *A. glaucus*, grupo
- 6) *A. terreus*
- 7) Algunos *Cladosporium* sp.

Fuente: Hall [8].

Figura 9. Límites generales de temperatura y humedad relativa para la multiplicación de agentes biológicos



- Clave:
- Ácaros
 - Mohos
 - Insectos
 - Bacterias
 - Germinación

Las bacterias mesófilas requieren un valor a_w de 0,90-0,95 para multiplicarse; las levaduras requieren 0,88 y las bacterias y levaduras osmófilas 0,70-0,75 y 0,62-0,65, respectivamente [1].

La composición de la microflora se modifica durante el almacenamiento, dependiendo las pautas del cambio de las condiciones ambientales. A niveles medios de actividad de agua se fomenta la multiplicación de los mohos de almacén (*Penicillium* y *Aspergillus*), que persisten a valores bajos de a_w a temperaturas intermedias. En atmósferas modificadas (vacío, CO_2) las pautas son distintas y los mohos disminuyen. También disminuyen las bacterias, pero algunas pueden crecer con niveles de humedad elevados [1].

Una consecuencia importante de la proliferación de microorganismos en el salvado (o en el arroz en una etapa anterior) es la producción de enzimas, que ya se ha tratado.

Algunos de los mohos que constituyen la flora típica del salvado son capaces de producir sustancias tóxicas para el hombre y los animales domésticos (véase el cuadro 1). En condiciones óptimas, algunos microorganismos, como el *Aspergillus flavus*, pueden producir toxinas en 24 horas. Importa señalar que la simple presencia de una especie productora de metabolitos tóxicos en el salvado no supone toxicidad manifiesta del subproducto. En primer lugar, no todas las variedades tienen la misma capacidad productora de sustancias tóxicas y, segundo, la toxicidad dependerá del grado en que el microorganismo se haya desarrollado en el producto. Se conoce un gran número de micotoxinas que producen efectos patológicos distintos (véase el cuadro 2). La sensibilidad de los animales a las micotoxinas varía ampliamente de unos a otros: las truchas y los patos, por ejemplo, son muy sensibles. En pruebas realizadas con dosis de 0,5 a 4 g de aflatoxina B-1, el orden de sensibilidad de mayor a menor fue el siguiente: patos, pavos, gansos, faisanes y pollos [9]. El clima de las zonas arroceras se presta al desarrollo de

CUADRO 1. FLORA DE MOHOS CAPACES DE PRODUCIR METABOLITOS TÓXICOS EN EL SALVADO

Especies	Arroz cáscara ^a	Arroz elaborado de molinos españoles ^b
<i>Aspergillus chevalieri</i>	+	
<i>A. candidus</i> ^c	+++	+
<i>A. nidulans</i> ^c	+	
<i>A. flavus-orizae</i> ^c	+++	+++
<i>A. fumigatus</i> ^c	+	
<i>A. niger</i>	+++	+++
<i>A. ochraceous</i>	+	+
<i>A. glaucus</i>	+	+
<i>A. wentii</i>	+	+
<i>A. terreus</i> ^c	+	+
<i>Penicillium citreo-viride</i> ^c	+	
<i>P. notatum</i> ^c	+	
<i>P. islandicum</i> ^c	+	
<i>P. urticae</i> ^c	+	
<i>P. expansum</i>		+
<i>P. italicum</i>	+++	+++
<i>P. digitatum</i>		+
<i>Rhizopus nigricans</i>	+	+++
<i>Rhizopus niger</i>		+
<i>Fusarium sp.</i> ^c	+	+
<i>Alternaria sp.</i> ^c	+	+++
<i>Mucor sp.</i>	+	+
<i>Absidia sp.</i>	+	+
<i>Streptomyces sp.</i>	+	+
<i>Sacharomyces sp.</i>		+
<i>Cladosporium sp.</i>	+	+
<i>Trichotecium roseum</i>		+

Clave: +++ Frecuente

+ Menos frecuente

^aBoller y Schroeder [10], Iizuka [11] y Kurata y otros [12].

^bHernández y otros [13, 14].

^cPrincipales especies productoras de metabolitos tóxicos.

CUADRO 2. ALGUNAS MICOTOXINAS PRODUCIDAS POR MOHOS Y EFECTOS PATOLÓGICOS QUE PRODUCEN

Toxina	Microorganismo	Algunos efectos patológicos
Aflatoxinas	<i>Aspergillus flavus</i>	Puede causar carcinoma del hígado y del riñón, proliferación del conducto biliar, infiltración grasa del hígado en los animales
Ácido aspergílico	<i>A. flavus</i>	Antimicrobiano y tóxico para los ratones
Ácido cójico	<i>A. flavus</i>	Antimicrobiano y tóxico para los mamíferos
Ácido betanitropropanoico	<i>A. flavus</i>	Tóxico para el hombre y los animales
Ocratocina	<i>A. ochraceus</i>	Puede causar enfermedades del hígado y del riñón en ratas
Luteoskirina	<i>Penicillium islandicum</i>	Puede causar toxicidad del hígado, hematoma
Péptido clorurófero	<i>P. islandicum</i>	Hepatotoxina, puede causar hepatoma en los animales
Islanditoxina	<i>P. islandicum</i>	
Citreo-viridina	<i>P. citreo-viride</i>	Parálisis en los mamíferos
Patulina	<i>P. Expansum</i>	Antimicrobiano, citrotóxico; carcinógeno en las ratas
Fusarenona	<i>Fusarium nivale</i>	Inhibición de la síntesis proteínica en los ratones
Nivalenol y Desoxinivalenol	<i>F. nivale</i>	Inhibición de la síntesis del DNA

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [15].

mohos en el grano y la presencia de micotoxinas en el salvado es previsible. Actualmente se dispone de técnicas analíticas muy precisas que permiten detectar la presencia de micotoxinas a niveles de una parte por mil millones. Ante la imposibilidad de evitar completamente la contaminación por micotoxinas, se han fijado límites de tolerancia en alimentos y piensos para algunas de estas sustancias.

La prevención de la infestación del salvado por mohos y micotoxinas debe empezar con el propio arroz. Las mejores medidas para evitar la contaminación son: a) recolectar el arroz en plena madurez; b) evitar daños mecánicos durante la recolección; c) secar el arroz inmediatamente después de la recolección; d) asegurarse de que el grano no vuelve a humedecerse, y e) evitar la infestación de insectos, que depositan y transmiten mohos y esporas de mohos y forman bolsas de elevada humedad en las que invariablemente crecen los mohos [15]. El secado al sol del arroz sancocado, si se hace en malas condiciones, puede ser el origen de grandes infestaciones. Fundamentalmente, para evitar que el salvado se enmohezca se utilizan los mismos métodos de control; dicho en otras palabras, el producto debe almacenarse en un estado estable, a temperatura y humedad convenientes, que reducen el riesgo de infestación por insectos y plagas animales, y debe examinarse frecuentemente para tener la seguridad de que se conserva en buenas condiciones y, si es necesario, recurrir al control químico de plagas.

En la práctica no siempre es posible proteger todas las partidas, de modo que alguna puede resultar contaminada con aflatoxinas u otras micotoxinas. Aunque se han dedicado muchos esfuerzos a desarrollar métodos para

descontaminar cereales y productos derivados, no existe ningún proceso eficaz y fiable que se pueda aplicar al salvado. Las aflatoxinas, por ser la forma de moho más común, han recibido la máxima atención y se ha descubierto que sólo pueden inactivarse parcialmente mediante el calor (cocción a presión atmosférica o tostado). Otra alternativa es mezclar el producto enmohecido contaminado con otros ingredientes, para así rebajar la concentración de la toxina a niveles tolerables; ahora bien, este método entraña ciertos riesgos.

Insectos

La mayoría de los insectos típicos del arroz, que también se encuentran en el salvado, tienen un ciclo vegetativo de cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto. Cada especie tiene periodos de desarrollo característicos, pero las condiciones ambientales (humedad y temperatura, fundamentalmente) determinan en gran medida el tiempo que se necesita para pasar de una fase a otra, a condición de que no falte el alimento. El gorgojo (*Sitophilus oryzae* L.) puede completar todo su ciclo vegetativo en cuatro semanas si las condiciones son favorables. El tribolión confuso (*Tribolium confusum* J. du Val) requiere el mismo tiempo a 32°C, pero a 22°C el ciclo vegetativo se retrasa y tarda unos tres meses [16]. A temperaturas por debajo de los 15°C, la puesta de huevos, la incubación y el desarrollo de las larvas ocurren con dificultad y lentitud. La velocidad de desarrollo y reproducción aumenta conforme aumenta la temperatura, pero, por encima de los 35°C, se hace desfavorable. Los insectos se reproducen más fácilmente a medida que aumenta la humedad, pero sólo hasta el punto en el que empiezan a intervenir los microorganismos. Naturalmente, los requisitos de humedad difieren de una especie a otra. El gorgojo no se reproduce a humedades inferiores al 9%. Debido a la consistencia pulverulenta del salvado, que deja a los nutrientes fácilmente utilizables, la vida de los insectos se desarrolla a niveles más bajos que en el grano entero.

Debe hacerse mención de la cucaracha (*Blattella germanica* L., *Blatta orientalis* L. y *Periplaneta americana* L.) pues la experiencia ha demostrado que, cuando menos la *Blattella germanica*, siente atracción por el salvado de arroz. Se han detectado invasiones de este insecto en plantas estabilizadoras de salvado. Las cucarachas transportan microorganismos peligrosos y transmiten otros en sus deyecciones, entre ellos especies de *Salmonella* [8].

Cambios en la composición y propiedades del salvado durante el almacenamiento

Las alteraciones que sufre el salvado durante el almacenamiento son uno de los temas más estudiados y, a la vez, menos conocidos de la ciencia y tecnología de este subproducto. El aprovechamiento principal del salvado es la extracción de aceite para la alimentación, lo cual tiene un inconveniente fundamental, a saber, el rápido desarrollo de AGL, que se inicia en el momento en que el salvado se produce en el molino. Por esta razón, gran parte de los numerosos trabajos sobre los efectos del almacenamiento se han limitado al estudio de la

evolución de los AGL. Lamentablemente, no es éste el único inconveniente. En casi ningún caso de los muchísimos estudiados se han tenido en cuenta los factores y las causas que controlan la formación de los AGL. De este modo, los muchos datos disponibles difícilmente pueden ser interpretados y, desde luego, mucho menos comparados. La información disponible nos ofrece pues un panorama general de aspectos concretos, de valor limitado.

Color, sabor y olor

No parece que se hayan realizado estudios sistemáticos acerca de los efectos del almacenamiento sobre el color, sabor y olor del salvado. Datos correspondientes a una experiencia de almacenamiento de salvado crudo envasado en sacos de tela de 5 kg, conservados en condiciones de humedad y temperatura muy templadas (véase el cuadro 3), indican la ausencia de cambios importantes en el color en un período de cuatro meses. A los dos meses se puede notar un olor y sabor a rancio. Pero los cambios más notorios consisten en la aparición de sustancias amargas y en la de un sabor un tanto desagradable que se aferra a la garganta; estas alteraciones ocurren muy rápidamente y pueden aparecer en pocos días si la temperatura es elevada. La formación de sustancias amargas parece estar asociada directa o indirectamente

CUADRO 3. EFECTOS DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL SALVADO DE ARROZ CRUDO

Características	Alteraciones durante el almacenamiento		
	0 meses	2 meses	4 meses
Color			
Componentes tricrómicos (Valores Hunter):			
L	63,8	63,7	64,5
a	0,2	0,3	1,0
b	14,3	13,8	13,9
Estimación visual:			
Blancura	3,6	3,2	3,8
Olor			
Rancio	8,6	7,3	7,3
Mohoso	9,0	9,0	9,0
Sabor			
Rancio	9,0	7,0	6,7
Amargo	8,4	4,0	2,7
Se aferra a la garganta	8,5	5,3	4,7
Humedad (porcentaje)	13,8	10,8	11,1

Fuente: Tortosa y Benedito de Barber [18].

Nota: Se trataba de salvado comercial desgerminado en molino industrial; grado de elaboración del arroz del orden del 9%. Se almacenó en sacos de tela de 5 kg a temperatura ambiente, con fluctuaciones de temperatura desde 15° a 25°C y de humedad relativa del 40% al 90%. Escala para la estimación visual del color: 9 = blanco; 7 = blanco crema; 5 = crema; 3 = prado claro; 1 = pardo oscuro. Escalas de estimación de olor y sabor: 9 = ninguno; 7 = apenas perceptible; 5 = claramente perceptible; 3 = moderadamente fuerte; 1 = fuerte.

con enzimas. El escaldado con vapor impide el desarrollo del sabor amargo en el germen del arroz [17] y la estabilización con calor húmedo tiene similares efectos en el salvado [19]. La formación de componentes amargos en la avena se acelera por la presencia de AGL, los cuales son más susceptibles a la oxidación que los triglicéridos; los peróxidos parece que actúan como precursores de las sustancias amargas [20]. En este sentido, las oxidasas pueden jugar un importante papel, pero, como han sugerido varios autores, se deben tener en cuenta otras actividades enzimáticas, como las proteasas, al tratar de dilucidar las causas de la presencia de sustancias amargas en el salvado y germen alterados. Las saponinas, también presentes en el salvado de arroz, no parecen tener un papel importante; aunque son solubles en agua, su extracción no elimina el sabor amargo [21].

Los efectos del almacenamiento sobre los componentes volátiles del aroma del salvado de arroz se han estudiado en muestras almacenadas³ a dos temperaturas diferentes: -20°C y $+25^{\circ}\text{C}$ [22].

El perfil de constituyentes volátiles del salvado se determinó por cromatografía de gases directa⁴, sin previo enriquecimiento de los componentes volátiles, empleando técnicas que requieren menos de 1 g de muestra de salvado. En todas las muestras se identificaron ocho componentes: metanol, acetaldehído, etanol, acetona, *n*-pentanal, *n*-hexanal, 1-hexanol y *n*-dodecano, de los cuales, la acetona, el *n*-hexanal y el *n*-dodecano se encontraron en grandes cantidades (véase la figura 10). Es interesante señalar que el almacenamiento del salvado a menos 20°C durante 50 días produce cambios en algunos de los elementos identificados, como son el etanol, la acetona y el 1-hexanol, así como en otros de mayor peso molecular. El almacenamiento a $+25^{\circ}\text{C}$ aumenta notablemente el contenido de volátiles, particularmente el de hexanal y hexanol, y de otros muchos constituyentes de mayor peso molecular que no fueron identificados en el estudio.

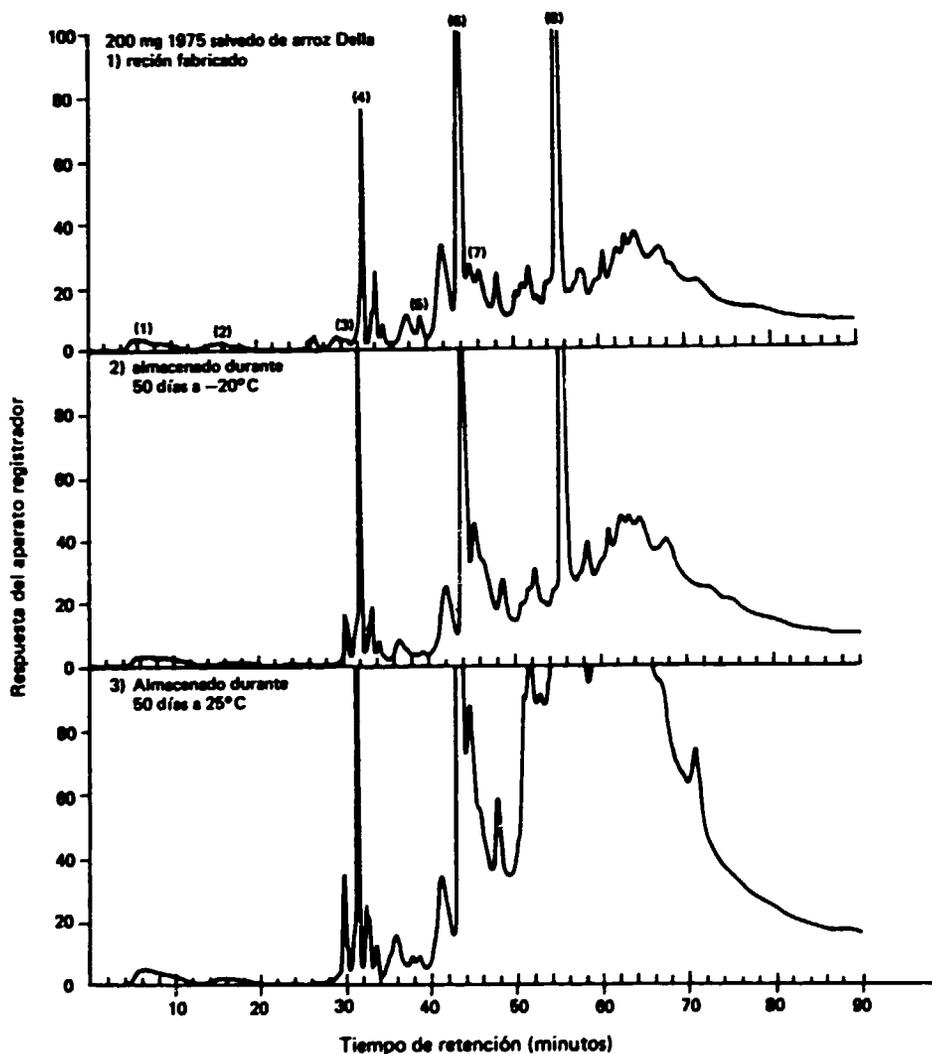
Composición química media

La composición química media del salvado no experimenta cambios significativos durante tiempos cortos de almacenamiento en condiciones ordinarias, siempre que no haya infestación por microorganismos e insectos. En muestras de salvado almacenadas a 27° - 28°C durante un mes, en frascos de vidrio castaño con tapones de rosca bien ajustados, no se apreció cambio alguno en el contenido de nitrógeno total, grasa, cenizas o fibra cruda [23]. Idénticos resultados se obtuvieron al almacenar, a temperatura ambiente (no especificada) durante un período de varios meses, muestras de salvado de arroz crudo y sancochado, envasadas en frascos de vidrio herméticamente cerrados; no obstante, a los diez meses se apreció una ligera reducción del porcentaje de aceite que podía extraerse con hexano [24]. Debe señalarse, sin embargo, que se han registrado alteraciones significativas en la cantidad de aceite que puede extraerse con hexano (véase la figura 11), con éter de petróleo [25] o por

³El estudio no incluye ningún otro dato sobre condiciones de almacenamiento o características iniciales de las muestras.

⁴Algunos de los componentes se determinaron combinando la cromatografía de gases con la espectroscopia infrarroja de los materiales.

Figura 10. Perfil de compuestos volátiles del salvado de arroz recién fabricado, almacenado durante 50 días a -20°C y almacenado a $+25^{\circ}\text{C}$

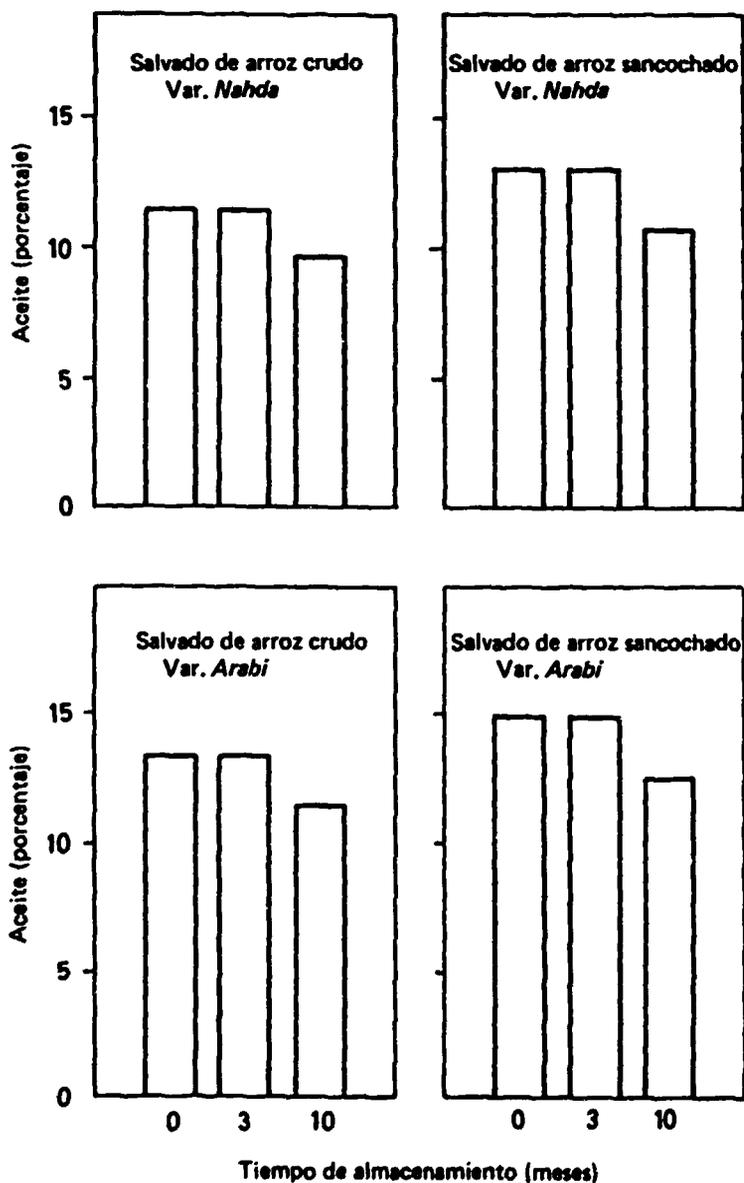


Clave:

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1) Metanol | 5) <i>n</i> -pentanal |
| 2) Acetaldehído | 6) <i>n</i> -hexanal |
| 3) Etanol | 7) <i>i</i> -hexanol |
| 4) Acetona | 8) <i>n</i> -dodecano |

Fuente: Legendre y otros [22].

Figura 11. Efectos del almacenamiento sobre el contenido de aceite del salvado de arroz crudo y sancochado



Fuente: Shaheen, El-Dash y El-Shirbeeny [24].

Nota: El contenido de aceite se determinó como sigue: se mezclaron 20 g de salvado con 500 ml de hexano, a una temperatura de 40°-50°C, y se agitó durante tres horas. Se separó el hexano y se añadió más hexano, con el que se procedió de igual manera. Se determinó el aceite recogido en los dos extractos después de eliminar las últimas trazas de hexano secando el aceite a vacío a una temperatura de 70°C.

presión [26] (véase el cuadro 4). Los últimos resultados corresponden al almacenamiento en sacos en condiciones de temperatura realmente severas, que no obstante se dan en la práctica. Se han sugerido varias hipótesis para explicar el hecho de que se reduzca la cantidad de aceite extraíble [24]. Una de esas hipótesis atribuye la reducción a la formación de compuestos polares que contienen oxígeno y polímeros, que disminuyen la solubilidad de los glicéridos en el disolvente no polar (hexano) utilizado para la extracción. Otras la asocian a la aparición de fuerzas que combinan glicéridos y salvado, probablemente relacionados con el hecho de que los ácidos grasos tienen la capacidad de formar complejos con la amilosa. Aunque no se dispone de datos para el salvado, los datos referentes al arroz elaborado indican que el contenido en grasa-por-hidrólisis permanece constante durante el almacenamiento [27].

CUADRO 4. EFECTOS DEL ALMACENAMIENTO^a SOBRE EL RENDIMIENTO Y EL COLOR DEL ACEITE EXTRAÍDO DEL SALVADO POR PRESIÓN

<i>Condiciones de almacenamiento</i>					
<i>Tiempo de almacenamiento (días)</i>	<i>Temperatura media^b (grados C)</i>	<i>Humedad relativa^b (porcentaje)</i>	<i>Contenido humedad (porcentaje)</i>	<i>Rendimiento de aceite^c (porcentaje)</i>	<i>Color del aceite</i>
0	28,7	74	11,86	11,43	Amarillo
7	28,2	85	9,62	10,40	Amarillo
21	36,3	63	10,32	9,63	Amarillo oscuro
42	36,3	63	9,23	8,97	Amarillo oscuro

Fuente: K. Yokochi [26].

^aEl salvado se envasó en sacos de 33,75-kg de capacidad.

^bMedida a las 11.00 horas.

^cLa extracción del aceite se hizo en prensas, en dos etapas, empleando 1.000 psi (70 bar) durante 15 minutos y una presión de 3.800 psi (260 bar) durante 5 minutos.

Composición y características de los constituyentes químicos del salvado

Carbohidratos

La escasa información existente sobre el contenido de azúcar del salvado indica que en algunas variedades el porcentaje de azúcares reductores puede aumentar y disminuir el de los no reductores (véase el cuadro 5). Alteraciones análogas se producen en el arroz durante el almacenamiento [28].

Lípidos

Durante el almacenamiento, los lípidos del salvado sufren alteraciones hidrolíticas y oxidativas [29]. La alteración hidrolítica ocurre normalmente en el salvado producido y almacenado en condiciones usuales. El aceite del salvado aumenta su contenido en AGL en función del tiempo, aumento que puede ser detectable en tan solo una o dos horas. La velocidad de formación de AGL depende, entre otras cosas, de la humedad, la temperatura y la presencia

CUADRO 5. AZÚCAR Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SALVADO DE ARROZ ANTES Y DESPUÉS DEL ALMACENAMIENTO

(Porcentaje)

Variedad de arroz	Azúcares no reductores		Azúcares reductores		Humedad	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Diaja	50,54	47,99	1,07	1,30	10,85	10,90
Inapon	55,79	56,89	0,82	0,94	13,41	13,89
Intan	51,28	52,01	0,84	0,79	13,68	14,17
Makapiña	50,02	51,90	0,54	0,63	11,13	13,13
Malagkit	46,35	47,61	1,07	1,30	13,16	14,15
Margate	60,10	60,40	0,96	1,18	10,26	11,21
Milagrosa	53,24	54,70	0,94	1,16	12,72	13,43

Fuente: Cea y Sutaria [23].

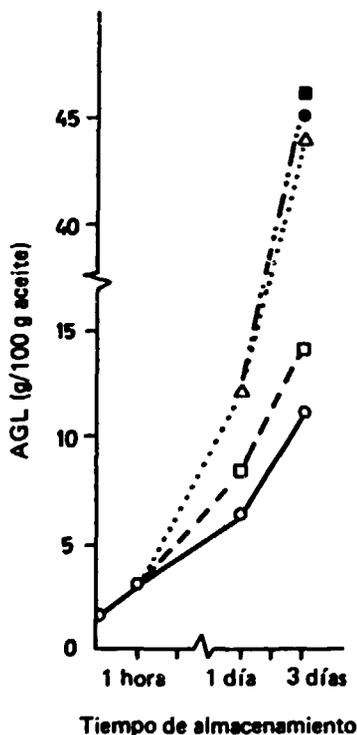
Nota: Las muestras se envasaron en frascos de vidrio castaño con tapones de rosca bien apretados y se almacenaron a 27°-28° C durante un mes.

de microflora e insectos. El contenido de AGL aumenta más rápidamente cuanto mayor sea la humedad (véase la figura 12A). La influencia de la humedad es importante, y las diferencias de 1 ó 2 unidades por ciento pueden representar aumentos muy variados de AGL a las pocas horas del almacenamiento (véase el cuadro 6). También la humedad relativa del ambiente en que se halla el salvado ejerce una influencia, desde el momento que determina el nivel de actividad de agua. El aumento de los AGL crece con la humedad relativa (véase la figura 12B). En este caso, los efectos dependen de la velocidad con que el salvado absorba agua de la atmósfera circundante o la pierda a la atmósfera. Y también se debe señalar que, a escala industrial, una partida de salvado proporciona áreas de rápido intercambio (en la superficie, donde se encuentra en contacto con el aire) y otras de intercambio muy lento (el interior), de lo cual resulta una masa heterogénea, con focos más o menos propicios para la acción hidrolítica. La influencia de la humedad relativa depende también del tipo de salvado (véase la figura 13), no sólo por la rapidez del intercambio de humedad, sino también por el nivel de actividad lipolítica. La formación de AGL en el salvado almacenado depende en gran medida de la temperatura. Cuanto más elevada sea ésta, mayor es el aumento de AGL (véase la figura 14). La formación de AGL tiene lugar a temperaturas tan bajas como 3°-5°C [32, 33]. En esas condiciones, según datos de laboratorio correspondientes a muestras pequeñas, el aumento de AGL en los primeros días varia de 0,2% a 1,5% al día [31, 33]. Se han registrado también aumentos del contenido de AGL a temperaturas por debajo de 0°C [34]. El salvado crudo con un contenido de 15,9% de aceite y 11,7% de humedad aumentó de 2,4 g a 8,4 g y 10,5 g de AGL por 100 g de aceite en 10 y 20 días respectivamente a -3,3°C.

Hay también algunas pruebas de que el tamaño de la partícula de salvado afecta a la velocidad de formación de AGL, ya que el aumento de AGL es mayor cuanto más pequeñas son las partículas [30, 33]. Una partícula de menor tamaño supone, generalmente, una mayor desintegración celular y, en consecuencia, una mayor oportunidad para que haya contacto entre el enzima y el sustrato. Sin embargo, no se ha llevado a cabo un estudio sistemático del tema que proporcione datos sin la interferencia de otros factores como la composición (relacionada con el tamaño de la partícula) o la humedad.

Figura 12. Efectos de la humedad en la formación de AGL durante el almacenamiento del salvado de arroz a 30°C

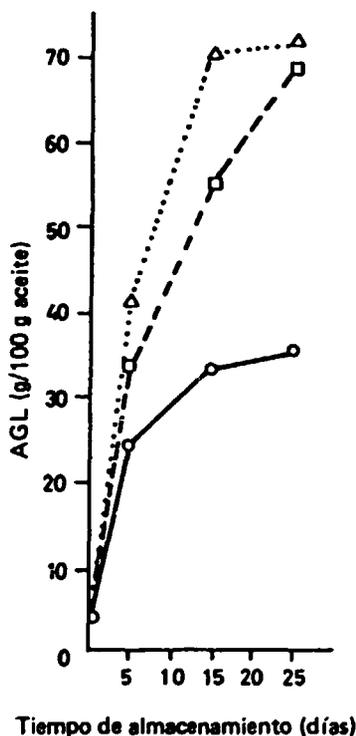
A. Salvado humedecido por adición de agua



Clave:

- Contenido de humedad 9%
- Contenido de humedad 10%
- △ Contenido de humedad 15%
- Contenido de humedad 20%
- Contenido de humedad 25%

B. Salvado almacenado a diferentes humedades relativas



Clave:

- Humedad relativa 11%
humedad final del salvado 3.4%
- Humedad relativa 56%
humedad final del salvado 7.9%
- △ Humedad relativa 86%
humedad final del salvado 12.8%

El Hinnavy [35] estudió la formación de AGL en el aceite neutro del salvado de arroz provocada por la adición al aceite de diversas cantidades de salvado puro; observó que cuanto mayor es la proporción de salvado más rápidamente aumenta la cantidad de AGL (véase la figura 15). Al aumentar la cantidad de enzima que actúa sobre el sustrato, mayor es el resultado de su acción lipolítica. En una partida industrial de salvado, la cantidad de enzima que actúa sobre el sustrato depende de la oportunidad de contacto real entre enzima y sustrato. Al mismo tiempo depende también de la concentración de enzima en el salvado y de su actividad específica. Aun cuando ambas pueden variar de una partida a otra, dependiendo de la variedad de salvado, el grado de

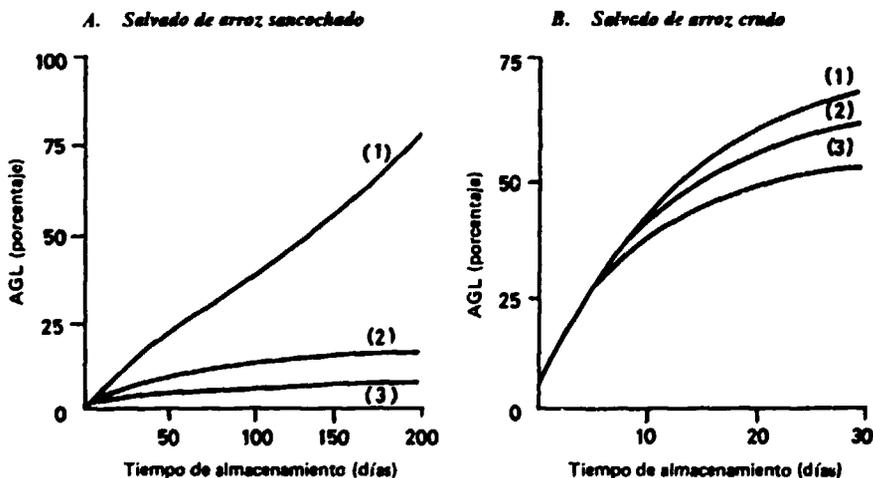
CUADRO 6. EFECTOS DE LA HUMEDAD SOBRE LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE AGL DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE SALVADO DE ARROZ A 35°C

Muestra	Humedad (porcentaje)	AGL a las cuatro horas de recepción del salvado ^a (g por 100 g aceite)
1	5,9	4,5
2	6,3	8,4
3	8,2	11,8

Fuente: Meinke, Holland y Harris [31].

^aEl tiempo 0 fue unas cuatro horas después de fabricado en el molino.

Figura 13. Efectos del almacenamiento a 25°C y a diferentes niveles de humedad relativa sobre la formación de AGL en el salvado



Clave:

- 1) 75,4% de humedad relativa
- 2) 53,3% de humedad relativa
- 3) 32,5% de humedad relativa

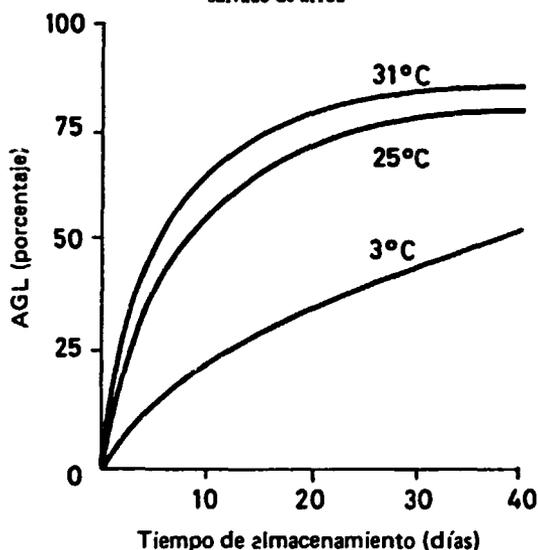
Fuente: Loeb, Morris y Dollear [32].

Nota: La humedad alcanzó el equilibrio en cinco días aproximadamente.

elaboración a que ha sido sometido, la presencia de microflora, etc., no se ha evaluado todavía la formación de AGL en función de esa actividad inicial de diferentes partidas de salvado.

Algunos datos, no obstante, sugieren que el aumento de AGL (expresado en gramos de ácido oleico por 100 g de aceite) es mayor en el salvado del primer cono que en el salvado del segundo cono (véase la figura 16). La mayor reactividad de las capas más externas del salvado ha sido señalada no solo en relación con la alteración de los lípidos, sino también con la alteración de otros constituyentes [36].

Figura 14. Efectos del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la formación de AGL en el salvado de arroz

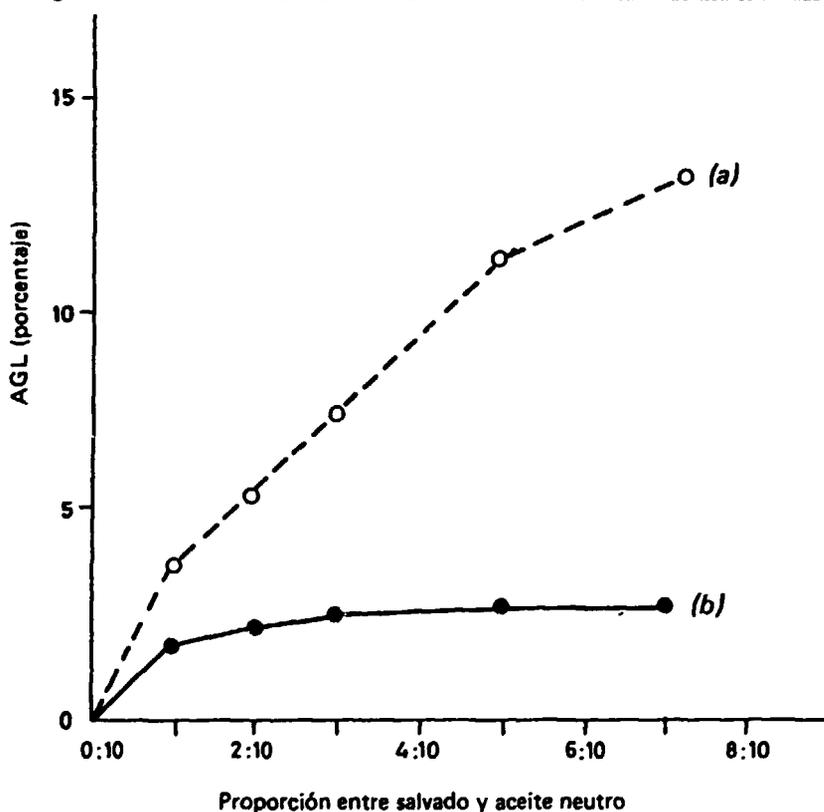


Fuente: Loeb, Morris y Doller [32].

Loeb y Mayne [37] han estudiado la influencia del contenido de humedad sobre la proliferación de microorganismos y la formación de ácidos grasos durante el almacenamiento y han demostrado que la población microbiana contribuye al aumento de los ácidos grasos. En un experimento, trataron salvado a 121°C en un autoclave durante dos horas, lo secaron durante una hora a 60°C, permitiéndole que se enfriase durante la noche hasta alcanzar la temperatura ambiente y, utilizando agua estéril, prepararon varias muestras de diferente contenido de humedad, que luego almacenaron en diferentes desecadores. Las muestras con 10,7% y 13,7% de humedad no mostraron desarrollo de microorganismos ni aumento de AGL. La muestra con 14,6% de humedad tampoco mostró proliferación de microorganismos ni aumento de AGL durante los 13 primeros días, pero a partir de entonces empezaron a desarrollarse colonias de *Aspergillus glaucus* y simultáneamente a aumentar el contenido de AGL; no se detectó crecimiento de bacterias. En una muestra con 26,4% de humedad, aparecieron mohos (*Rhizopus* sp.) en el sexto día, coincidiendo con un aumento de AGL (véase el cuadro 7). La indicación de las relaciones de microorganismos y producción de AGL quedó confirmada en una segunda experiencia que se resume a continuación. El salvado fue tratado a 121°C durante tres horas, después de lo cual se secó durante tres horas a 85°C y finalmente se le permitió enfriarse. Se prepararon entonces, utilizando agua estéril, varias muestras con diferentes contenidos de humedad y una serie de ellas fueron inoculadas con 53×10^3 esporas por gramo, con una cepa Thom y Churuch de *Aspergillus chevalieri* (Mangin), aislada previamente de salvado de la variedad Bluebonnet¹.

¹Aunque su temperatura óptima de crecimiento era 30°C, las esporas crecieron bien a 21,1°C.

Figura 15. Formación de AGL en aceite neutro de salvado de arroz tras la adición de salvado



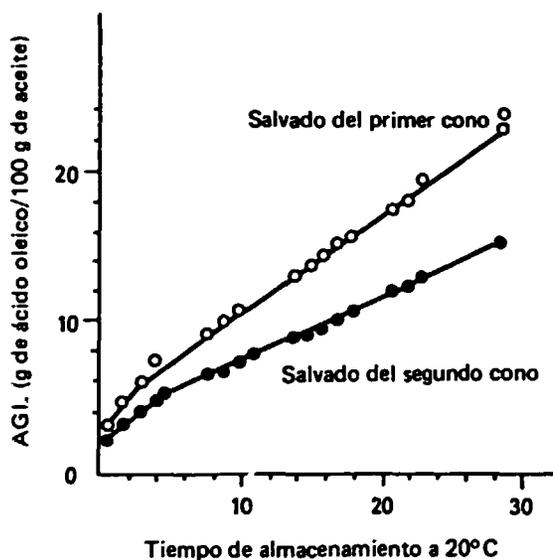
Clave:

- a) Reacción después de dos horas a 35°-36°C
 b) Reacción después de cuatro horas a 35°-36°C

Fuente: El Hinawy [35].

Las muestras se almacenaron en desecadores y se estudiaron los cambios en AGL y recuento de mohos a lo largo de 20 días de almacenamiento. Las muestras no inoculadas no mostraron crecimiento de microorganismos, como tampoco aumento de AGL. Las muestras inoculadas no mostraron cambios importantes y simultáneos en el contenido de microorganismos y de AGL (véase el cuadro 8).

Hay que señalar que en el salvado normal sin tratar, en el que coexiste la actividad lipolítica natural del grano con la de la microflora, el contenido de AGL puede aumentar aunque los microorganismos no se desarrollen. Por otra parte, la mayor proliferación de microorganismos puede no corresponderse con el mayor aumento de AGL. Así, se sabe que la formación de AGL es mayor en especies de *Rhizopus* y *Aspergillus* que en *Penicillium* o *Bacillus* [39]. Incluso se ha encontrado que cepas diferentes de *Aspergillus* poseen diferente capacidad de producción de AGL (véase el cuadro 9).

Figura 16. Variación del contenido de AGL durante el almacenamiento de salvado del primero y segundo conos^a

Fuente: Instituto de Investigaciones Tecnológicas [38].

^aUtilizando muestras de 6 kg en recipientes metálicos sellados.

CUADRO 7. CAMBIOS EN EL RECUENTO DE MOHOS Y MICROBIOS Y EN EL CONTENIDO DE AGL DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE SALVADO TRATADO DURANTE DOS HORAS EN AUTOCLAVE A 121°C Y SECADO DURANTE UNA HORA A 60°C

Tiempo de almacenamiento (días)	Contenido de humedad 13,7 por ciento		Contenido de humedad 14,6 por ciento ^b		Contenido de humedad 26,4 por ciento ^c		Bacterias (10 ⁶ /g)
	AGL (porcentaje)	Mohos ^d y levaduras (10 ³ /g)	AGL (porcentaje)	Mohos ^d y levaduras (10 ³ /g)	AGL (porcentaje)	Mohos ^d y levaduras (10 ³ /g)	
0	2,3		2,3		2,3		
6	2,3	0 ^e	2,2	0 ^e	12,6	0,15	0 ^e
13	2,6	0 ^e	2,8	0 ^e	18,5	1	0,02
20	2,6	0 ^e	3,1	0,1	25,3	10	0,5
27	2,6	0 ^e	18,1	155	79,4	100	
34	2,7	0 ^e	38,2	1 100			

Fuente: Loeb y Mayne [37].

^aHumedad relativa 75,5%.^bHumedad relativa 80,3%.^cHumedad relativa 93%.^dNo hubo infestación por bacterias.^eLa dilución más baja 1:20.

CUADRO 8. CAMBIOS EN EL RECuento DE MOHOS Y EN EL CONTENIDO DE AGL DEL SALVADO ESTERILIZADO, NO INOCULADO Y EN EL SALVADO INOCULADO CON *ASPERGILLUS CHEVALIERI*, DURANTE EL ALMACENAMIENTO A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD

Tiempo de almacenamiento (días)	Salvado tratado con un 11,5% de humedad ^a				Salvado tratado con un 14,5% de humedad ^b				Salvado tratado con un 33,5% de humedad ^c			
	No inoculado		Inoculado con <i>A. Chevalieri</i>		No inoculado		Inoculado con <i>A. Chevalieri</i>		No inoculado		Inoculado con <i>A. Chevalieri</i>	
	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)	AGL (porcentaje)	Mohos y levaduras ($10^2/g$)
0	2,3	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,6	0	2,9	1	2,9	0	2,9	12	2,6	0	3,2	4
2	—	0	2,7	62	—	—	2,5	8	—	—	2,9	2
3	2,4	0	2,9	8	2,8	0	3,4	1 285	2,8	0	3,3	5 200
6	2,7	0	3,4	8	2,4	0	15,2	4 250	2,7	0	7,0	5 900
13	2,7	0	4,9	295	2,8	0	40,3	560	2,8	0	32,6	3 900
20	2,4	0	25,8	4 600	—	—	59,3	3 800	—	—	—	—

Fuente: Loeb y Mayne [37].

Nota: Dilución más baja, 1:20.

^aHumedad relativa 68%.

^bHumedad relativa 80,3%.

^cHumedad relativa 100%.

CUADRO 9. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE AGL DE
VARIAS CEPAS DE *ASPERGILLUS* AISLADAS DEL SALVADO
DE ARROZ

(mg ácido oleico/100 g caldo cultivo)

Cepa de <i>Aspergillus</i>	AGL después de incubación a 28° C durante		
	Cuatro días	Cinco días	Seis días
Sp ₁	2,17	3,10	23,25
Sp ₆	3,10	4,34	23,71
Sp ₁₁	3,87	5,42	29,45
Sp ₁₀	14,10	17,51	23,25

Fuente: Chattopadhyay y Srimani [41].

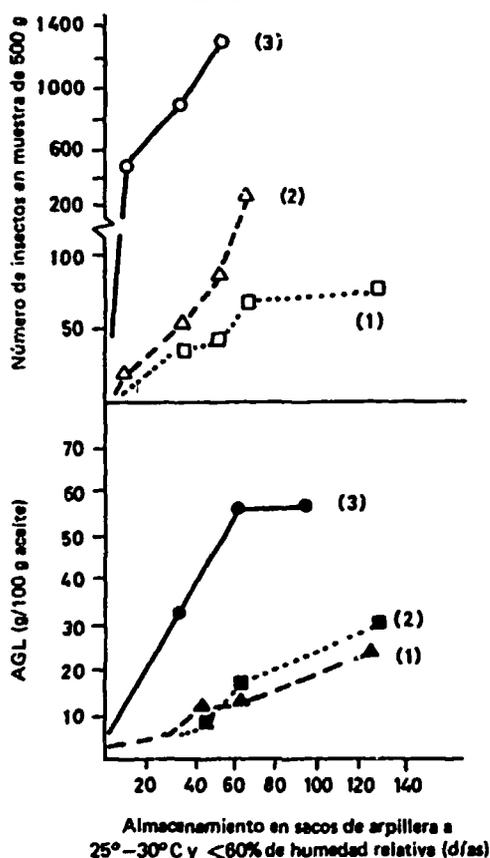
Pillaiyar [40] ha publicado datos que indican paralelismo entre la proliferación de insectos y el aumento de AGL en el salvado durante el almacenamiento (véase la figura 17). Ahora bien, no parece que se haya hecho un estudio sistemático de la contribución de los insectos a la formación de AGL. Queda por dilucidar si el paralelismo entre AGL y la presencia de insectos se debe: a) a que las condiciones que favorecen la mayor actividad lipásica favorecen también la proliferación de insectos; b) a que el desarrollo de insectos, al producir humedad y calor, favorece directamente la actividad de las lipasas o promueve el desarrollo de microflora; o c) a que los insectos tienen capacidad de producir metabolitos ácidos o enzimas lipolíticos.

Como resultado de la especificidad de grupo estereoquímica de la lipasa y de la composición de los glicéridos en términos de ácidos grasos, la lipólisis no libera los diferentes ácidos grasos en la misma proporción. Canale, Sara y Caramello [42] observaron diferencias notables en los ácidos mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico (14:0, 16:0, 18:0, 18:1, 18:2 y 18:3, respectivamente) durante el almacenamiento de arroz del primer y segundo conos en ambiente oscuro a $22^{\circ} \pm 2^{\circ}C$ (véase la figura 18). La velocidad de formación disminuyó en el siguiente orden: 18:2, 18:1, 16:0, 18:3, 14:0 y 18:0. La pauta de las alteraciones fue la misma en los dos salvados, aunque se registraron diferencias cuantitativas. La proporción relativa de los diferentes ácidos varió, con un notable aumento de las proporciones de 18:2, 18:1 y 16:0 (véase el cuadro 10). Durante el almacenamiento de arroz elaborado, los cambios más importantes en la fracción de AGL ocurrieron también en 18:2, 18:1 y 16:0 [27], en proporción exacta a las pérdidas correspondientes en la fracción de las grasas neutras.

Los lípidos del germen de arroz se hidrolizan durante el almacenamiento, como ocurre con los del salvado. Ahora bien la velocidad de hidrólisis es mucho menor en el primero que en el segundo⁶ (véase la figura 19). La mayor estabilidad del germen se reconoce y aprecia a nivel comercial, particularmente en aquellos países en los que la separación y venta de salvado a escala industrial es una práctica generalizada. Aunque no se han llevado a cabo estudios detallados, hay pruebas para admitir que la estabilidad del germen

⁶Otros investigadores han aportado datos sobre el aumento de AGL durante el almacenamiento del germen, que es mucho menor que el aumento que se encuentra normalmente en el salvado [43, 44].

Figura 17. Cambios en el contenido de AGL y en la infestación por insectos del salvado durante el almacenamiento



Clave:

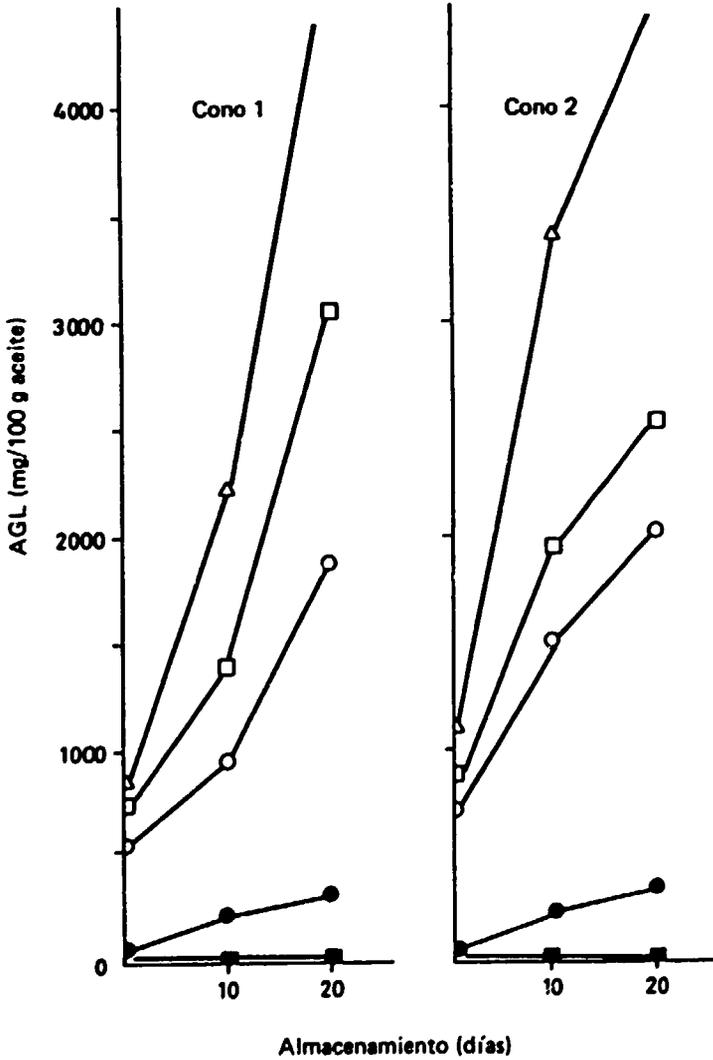
- 1) Salvado de arroz sancochado procedente de molinos "huller" (7,0% aceite)
- 2) Salvado de arroz sancochado procedente de descascarilladoras de rodillos de goma y blanqueadora "huller" (17,2% aceite)
- 3) Salvado de arroz crudo (19,0% aceite)

Fuente: Pillaiyar [40].

depende, en gran manera, del deterioro celular que haya sufrido en la elaboración. El germen intacto se conserva mucho mejor que el dañado. El mayor grado de estabilidad se ha atribuido al hecho de que la lipasa se encuentra aún encapsulada en el citoplasma celular y no puede actuar libremente sobre las grasas presentes [46]. En consecuencia, cabe esperar diferencias de estabilidad en el germen producido de diversas variedades en diferentes blanqueadoras y condiciones.

De Rege [46] ha señalado que en ningún caso, ni siquiera en muestras de salvado cuya alteración hidrolítica ha sido provocada experimentalmente en el laboratorio, se han detectado niveles de AGL superiores al 90%. En general, sugiere para el salvado un límite de hidrólisis de alrededor del 85% y para el

Figura 18. Desarrollo de AGL en el salvado del primero y segundo conos de blanqueo durante el almacenamiento



Clave:

- 18:0
- 18:0
- 18:1
- △ 18:2
- 18:3

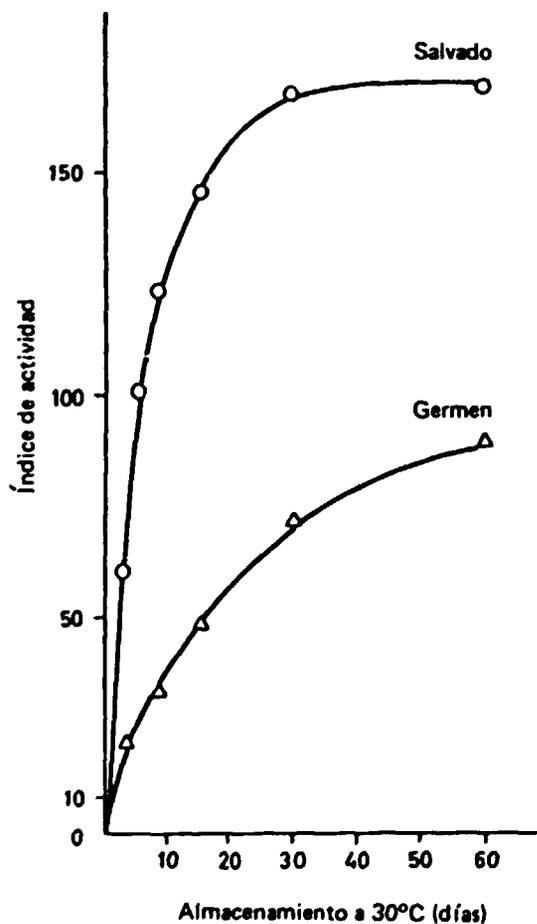
Fuente: Canale, Sarra y Caramello [42].

CUADRO 10. CAMBIOS EN LAS PROPORCIONES RELATIVAS DE AGL EN EL SALVADO DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Fuente de salvado	Duración del almacenamiento (días)	Proporciones relativas de AGL					
		14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Primera blanqueadora	0	1	50	1	70	75	5
	20	1	75	1	120	185	12
Segunda blanqueadora	0	1	45	1	50	65	5
	20	1	80	1	100	175	15

Fuente: Canale, Sarra y Caramello [42].

Figura 19. Desarrollo de acidez en el salvado y en el germen de arroz, durante el almacenamiento a 30°C



Fuente: Gómez Fabra y Primo Yufero [45].

germen no triturado, alrededor del 65%. Probablemente el pH del medio es demasiado bajo para permitir que la reacción enzimática prosiga. Este dato es de interés en relación con el estudio teórico de la lipólisis [46, 47, 48]. Algunos autores han detectado una disminución del contenido de AGL en los lípidos del salvado en etapas avanzadas de alteración hidrolítica.

No parece que se haya obtenido a nivel industrial, ni tampoco de laboratorio, salvado o germen exento de AGL en su aceite. Yokochi [26] ha indicado que el contenido normal del AGL en el salvado inmediatamente después de elaborado es normalmente de 2 a 4 g por 100 g de aceite, en el caso de que proceda de la cosecha del arroz del año en curso, y de unos 10 g/100 g de aceite, o más, si el salvado procede de una cosecha de dos años antes. Naturalmente, estos valores no son más que indicativos y pueden verse afectados notablemente por incidencias usuales en almacenamiento del arroz descascarado: calentamientos, desarrollo de microflora, etc. En cuanto al germen (de arroz crudo) de procedencia industrial, son normales valores de 1 a 2 g por 100 g de ácido oleico [49].

Por otra parte, Sarda [50] ha señalado que en la India (Bengala Occidental), utilizando modernos sistemas de sancochar arroz, se ha conseguido manufacturar salvado a escala industrial con un contenido de 2% a 4% de AGL, que se puede almacenar una quincena en invierno sin que sufra cambios notables.

La alteración oxidativa del salvado ha sido poco estudiada, pese a que causa aromas y sabores extraños indeseables (por ejemplo, a rancio), y produce la formación de oxiácidos que deben separarse durante la refinación, contribuyendo así a las pérdidas globales de rendimiento en aceite comestible. El almacenamiento del salvado provoca un aumento del índice de peróxido del aceite, que evoluciona hasta un máximo y luego disminuye. El contenido de compuestos carbonílicos aumenta al principio, para luego disminuir si los cambios prosiguen. El índice de yodo disminuye desde el principio. Alteraciones análogas parecen ocurrir en el arroz [36]. El salvado de arroz crudo y el del arroz sancochado presentan, en principio, dos situaciones enteramente diferentes desde el punto de vista de la alteración oxidativa. El salvado de arroz crudo se caracteriza por la presencia de lipoxidadas, que catalizan la oxidación pero van acompañadas por un número de antioxidantes naturales (tocoferoles) y de sustrato aceite en gran parte en forma de glóbulos. El salvado sancochado pierde su actividad lipoxidásica durante el tratamiento térmico, pero, al mismo tiempo, pierde su capacidad antioxidante, en proporción a la severidad del tratamiento, como resultado de la degradación térmica de los tocoferoles; la grasa en el salvado de arroz sancochado pierde, en mayor o menor grado, la forma globular y se encuentra dispersa, por lo que presenta una mayor superficie para la oxidación.

En estudios de almacenamiento realizados con salvado de arroz crudo y de arroz sancochado¹, envasados en sacos de polietileno, no herméticos, en luz difusa y a temperatura ambiente, se ha encontrado que, en el salvado crudo, el índice de peróxido aumenta más aprisa y alcanza valores más altos que en el

¹El valor más bajo registrado en la campaña de 1970, en la que se estudiaron partidas de diversos molinos, desde noviembre de 1970 a junio de 1971, fue de 0,73 g por 100 g de aceite.

²El arroz cáscara, después de macerado en agua durante la noche, se cocinó en agua durante una hora y luego se secó al sol.

salvado sancochado. Los cálculos se hicieron a intervalos de 12 horas, durante un periodo de 120 horas [51]. Estos resultados parecen chocar con el hecho conocido de que el arroz sancochado es más susceptible a la alteración oxidativa que el arroz crudo.

En un trabajo reciente, Sowbhagya y Bjattacharya [52] han confirmado que el arroz crudo cambia menos y más despacio (valores más bajos de índice de peróxido y de índice de carbonilo) que el arroz sancochado, cuando ambos se almacenan en condiciones comparables, ya sea a la luz ya sea en la oscuridad. Cabe señalar, sin embargo, que cuando ambos arroces se trituran hasta un tamaño de partícula inferior a 80 mallas, y luego se almacenan en la oscuridad a 60°C en recipientes abiertos, la autooxidación del arroz crudo aumenta muy notablemente, en tanto que en una muestra de arroz sancochado apenas experimenta aumento. Como resultado, ambas harinas muestran un comportamiento muy semejante, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Al parecer, no se ha determinado la relación entre el índice de carbonilo y la detección del olor a rancio en el salvado. En el arroz sancochado, el olor a rancio se detecta en torno de los 100-200 M por gramo de grasa, mientras que en el arroz crudo ya se nota a 30 M por gramo de grasa.

Un fenómeno, afortunadamente esporádico, que ocurre durante el almacenamiento del salvado es la ignición y combustión espontánea. Se presenta también en algunas materias primas oleaginosas. Parece estar asociado a la formación de productos de oxidación de ácidos grasos insaturados. Temperaturas altas, atmósferas húmedas, polvo fino de salvado y eliminación incompleta de solventes del salvado desengrasado se consideran condiciones favorables para la ignición. Aunque el problema no es frecuente, el peligro que entraña en el almacenamiento y en el transporte no debe desdeñarse, pues puede tener graves consecuencias. A pesar del peligro, no se dispone de ningún conocimiento pormenorizado del fenómeno y no parece que se hayan evaluado sus causas verdaderas. Esto impide el establecimiento de normas preventivas, aparte de la general de evitar las condiciones arriba mencionadas.

Micotoxinas

Si bien la presencia de micotoxinas en el arroz ha sido objeto de considerables investigaciones, es relativamente escasa la labor realizada sobre las micotoxinas en el salvado, tanto en el momento de la producción en el molino como durante un almacenamiento prolongado, pese a que, como han demostrado Schroeder, Boller y Hein [53], entre el 60% y el 80% de las toxinas (en peso) del arroz descascarado pasan al salvado y harina cilindro durante la elaboración. Estas fracciones pueden contener toxinas en concentraciones más de 10 veces superiores a las del arroz elaborado. La incorporación fortuita o voluntaria de cascarilla al salvado agrava aún más la situación.

Un pequeño muestreo realizado en molinos españoles en 1971 dio resultados negativos en todos los casos (Barber y otros [54]). Las muestras variaban en contenido de humedad de 7% a 16% y su contenido de AGL desde prácticamente cero al 23% (véase el cuadro 11). El hecho de que la presencia de micotoxinas en el arroz se ha demostrado repetidamente en muchos países, junto con el hecho de que, en una partida cualquiera, si se dan las condiciones

favorables de crecimiento de microorganismos, las micotoxinas pueden crecer rápidamente y en gran número, parece justificar en algunas zonas un estudio adecuado que permita evaluar los riesgos existentes.

CUADRO 11. RESULTADOS DE UN MUESTREO REALIZADO EN MOLINOS DE ARROZ ESPAÑOLES PARA DETECTAR LA POSIBLE PRESENCIA DE AFLATOXINAS EN SALVADO Y CASCARILLA

Muestra	Humedad (porcentaje)	AGL ^a (porcentaje ácido oleico)	Aflatoxina B ₁
Salvado			
1	11,3	15,1	Negativo
2	11,8	14,0	Negativo
3	9,2	3,5	Negativo
4	12,7	12,5	Negativo
5	14,6	1,6	Negativo
6	10,7	12,0	Negativo
7	9,5	11,3	Negativo
8	10,4	11,5	Negativo
9	9,1	9,2	Negativo
10	8,7	10,0	Negativo
11	10,0	7,7	Negativo
12	10,2	8,3	Negativo
13	15,9	23,4	Negativo
Cascarilla			
1	10,7	0,1	Negativo
2	6,7	0,7	Negativo

Fuente: Barber y otros [54].

^aDatos adicionales suministrados por el doctor J. Botey.

Referencias

1. J. L. Multon y H. Bizot, "Les interactions physico-chimiques entre l'eau et les aliments: leurs consequences technologiques dans le cas de la conservation des cereales et du rassissement du pain", J. Buré, *Le Pain* (Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1979), pp. 43-79.
2. A. Guilbot y A. Lindenberg, "Eau non-solvante et eau de sorption de la cellule de levure", *Biochimica et Biophysica Acta*, No. 39, 1960, pp. 389-397.
3. O. R. Fennema, "Water and ice", *Principles of Food Science*, pt. I: Food Chemistry, O. R. Fennema, ed. (Nueva York, Marcel Dekker, 1976).
4. Y. Aizono y otros, "Biochemical studies on rice bran lipase: III. Enzymic properties of rice bran lipase", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), vol. 37, No. 9 (1973), pp. 2031-2036.
5. Y. Aizono y otros, "Biochemical studies on rice bran lipase: IV. Purification and characterization of rice bran lipase II", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokio), vol. 40, No. 2 (1976), pp. 317-324.

6. S. Barber, *Basic Studies and Ageing of Milled Rice and Application to Discriminating Quality Factors*; Final Report, Project No. E-25-AMS-(9) (Washington, D.C., Department of Agricultural Research Service, 1969).
7. B. M. Kennedy, *Investigations on the Overmilling Process for Producing High Protein Flour from White Rice*; First Annual Report, 1968; Second Annual Report, 1969; Third Six-months Report, 1968 (Berkeley, California, 1969).
8. D. W. Hall, *Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales*, FAO, Cuadernos de fomento agropecuario, No. 90 (Roma, FAO, 1971).
9. R. D. Muller y otros, "The response of chicks, duckling, goslings, pheasants and poult to graded levels of aflatoxins", *Poultry Science*, No. 49, 1970, pp. 1346-1350.
10. R. A. Bollet y H. W. Schroeder, "Aflatoxin-producing potential of *Aspergillus flavus-oryzae* isolates from rice", *Cereal Science Today*, No. 11, 1966, p. 432.
11. H. Iizuka, "Facing microbiological problems during postharvest handling, conditioning and storage of rice", paper presented at the Fifth World Cereal and Bread Congress, Dresden, República Democrática Alemana, 24-29 mayo 1970.
12. H. Kurata y otros, "A mycological examination for the presence of mycotoxin-producers on the 1954-1967's stored rice grains", *Bulletin of the National Institute of Hygienic Sciences*, No. 86, 1968, pp. 183-188.
13. E. Hernández, R. Vila y J. García, "Microflora del arroz elaborado: I. Flora de molinos industriales", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, No. 2 (1968), pp. 240-248.
14. E. Hernández, R. Vila y M. Hervás, "Microflora del arroz elaborado: II. Evolución durante el almacenamiento", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, No. 4 (1968), pp. 510-516.
15. "Prevención de las micotoxinas", *Alimentación y Nutrición*, No. 10 (Roma, FAO, 1979).
16. R. N. Chapman y L. Baird, "The biotic constants of *Tribolium confusum* Duval", *Journal of Experimental Zoology*, No. 68, 1974, pp. 293-304.
17. C. S. Viraktamath, R. Rao y H. S. R. Desikachar, Project Report No. 298 (Mysore, Central Good Technological Research Institute, 1972).
18. E. Tortosa y C. Benedito de Barber, datos no publicados, 1978.
19. S. Barber, C. Benedito de Barber y J. Martínez, "Proteínas del salvado de arroz: II. Valor potencial de las fracciones de salvado de arroz como ingredientes de alimentos proteicos", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 21, No. 2 (1981), pp. 247-258.
20. Y. Pomeranz, "Biochemical, functional and nutritive changes during storage", *Storage of Cereal Grains and their Products*, C. M. Christensen, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1974).
21. E. Tortosa, datos no publicados, 1978.
22. M. G. Legendre y otros, "Instrumental analysis of volatiles from rice and corn products", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 26, No. 5 (1978), pp. 1035-1038.
23. F. M. Cea y P. B. Sutaria, "Analysis of seven varieties of rice bran and hull: I. Proximate composition and effect of storage", *Natural and Applied Science Bulletin*, vol. 20, No. 4 (1967), pp. 373-382.

24. A. B. Shaheen, A. A. El-Dash y A. E. El-Shirbeeney, "Effect of parboiling of rice on the rate of lipid hydrolysis and deterioration of rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 52, No. 1 (1975), pp. 1-8.
25. M. Aslam y G. M. Ali, "Preliminary studies on the storage characteristics of indigenous rice-bran and its oil", *Scientist*, vol. 6, No. 1/2 (1963), pp. 25-29.
26. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice-bran oil and rice-bran protein meal", paper presented at the Expert Group Meeting on Pre-investment Considerations and Technical and Economic Production Criteria in the Oilseed Processing Industry, Viena, Austria, 16-20 octubre 1972 (ID/WG.120/9/Rev.1 and Summary).
27. K. Yasumatsu, *Studies on the Effects of Lipid on the Rheological Properties of Starch* (Osaka, Takeda Chemical Industries, 1965).
28. S. Barber, C. Benedito de Barber y J. Guardiola, "Almacenamiento de arroz elaborado: V. Cambios en los azúcares según la localización en el grano", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, No. 1 (1968), p. 89.
29. K. Yasumatsu y S. Moritaka, "Fatty acid compositions of rice lipid and their changes during storage", *Agricultural and Biological Chemistry Journal*, vol. 28, No. 5 (1964), pp. 257-264.
30. B. P. Panduranga Rao, S. A. Ahmed y S. D. T. Rao, "Factors affecting the free fatty acid changes in rice bran", *Indian Oil and Soap Journal*, vol. 32, No. 7 (1967), pp. 203-210.
31. W. W. Meinke, B. R. Holland y W. D. Harris, "Solvent extraction of rice bran: Production of B-vitamin concentrate and oil by isopropanol extraction", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, octubre 1949, pp. 532-534.
32. J. R. Loeb, N. J. Morris y F. G. Dollear, "Rice bran oil extraction process", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, No. 26, 1949, pp. 738-743.
33. E. I. Sidhom, A. M. El-Tabey Shehata y Z. S. Mohasses, "Effect of storage conditions on the formation of fatty acids in rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, No. 1 (1975), pp. 101-107.
34. J. S. Kumar David y otros, "Quality of bran oil as influenced by the conditions of storage of rice bran", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, No. 3/4 (1965), pp. 113-114.
35. S. I. El Hinawy, "Specificity and nature of lipolytic enzymes in rice bran", *Oil Soap* (Egipto), vol. 8, No. 1 (1961), pp. 23-24.
36. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), cap. 9, pp. 215-253.
37. J. R. Loeb y R. Y. Mayne, "Effect of moisture on the microflora and formation of free fatty acids in rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 23, No. 3 (1952), pp. 163-175.
38. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, "Production of oil from rice bran", *Arroz* (Colombia), vol. 9, No. 107 (1961), pp. 8-13.
39. B. N. Srimani y otros, *Stabilization of Rice Bran in Closed Circuit Fluidized Bed Heat Transfer System*, Final Report of the CSIR Scheme No. 4 (14) (Jadavpur, India, Jadavpur University, 1972).
40. P. Pillaiyar, "Post-stabilisation changes in rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 11, No. 1 (1979), pp. 16-18.

41. P. Chattopadhyay y B. N. Srimani, "Microbial degradation of rice bran in enhancing the free fatty acids in rice bran oil", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 9, No. 1 (1972), pp. 37-38.
42. A. Canale, C. Sarra y E. Caramello, "Further contribution on the knowledge of the nutritive value of the rice hull: II. The variations of free fatty acids in the lipidic quote during storage and the rancid process", *Atti della Societa Italiana delle Scienze Veterinarie*, No. 20, 1966, pp. 333-337.
43. B. Panduranga Rao y otros, "Rice and wheat germ oils", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 4, No. 3 (1972), pp. 87-88.
44. B. S. Vasan y otros, "Separation, processing and utilization of rice germ", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 16, No. 3 (1979), pp. 116-118.
45. J. L. Gómez Fabra y E. Primo Yuffera, "Industrial utilization of the by-products: IX. Stabilization of the germ and the bran", *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química, Serie B: Química*, vol. 49, No. 12 (1953), pp. 804-808.
46. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part I", *Annali (Vercelli)*, No. 1, 1953, pp. 101-123.
47. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part II", *Annali (Vercelli)*, No. 2, 1954, pp. 181-201.
48. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part III", *Annali (Vercelli)*, No. 3, 1955, pp. 67-68.
49. I. Blanco y S. Barber, "Estudio de la variación del germen de arroz a lo largo de una campaña", Memoria presentada por I. Blanco para optar al Diploma en Tecnología de Alimentos (Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1971).
50. P. S. Sarda, "Processing of rice bran oil of edible grade", *Proceedings of Seminar on Edible Rice Bran Oil, Bombay, 23-26 November 1977* (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), pp. 75-78.
51. M. Hussain, A. M. Karim y M. O. Gani, "Effect of storage on some chemical characteristics of rice bran oil", *Bangladesh Journal of Biological and Agricultural Sciences*, vol. 2, No. 2 (1973), pp. 7-10.
52. C. M. Sowbhagya y K. R. Bhattacharya, "Lipid autoxidation in rice", *Journal of Food Science*, vol. 41, No. 5 (1976), pp. 1018-1023.
53. H. W. Schroeder, R. A. Boller y H. Hein, "Reduction in aflatoxin contamination of rice by milling procedures", *Cereal Chemistry*, vol. 45, noviembre 1968, pp. 574-580.
54. S. Barber y otros, "Problemas que se plantean en el establecimiento de la tipificación de los subproductos del arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, No. 1 (1972), pp. 33-44.

ABSTRACT

The annual production of rice bran is approximately 40 million tonnes. Out of this 6-8 million tonnes consists of edible oil, a similar quantity consists of high-quality protein, and there is a high proportion of vitamins, trace elements and other nutrients. In spite of this, rice bran is at present an under-utilized by-product.

There is a great deal of information on rice bran, but it is widely scattered and difficult to obtain, in some cases muddled and in others incorrect and generally fragmentary. A publication which assembles, classifies and critically examines the information available will therefore be useful for teachers, researchers and industrialists concerned with the post-harvesting technology of rice and, in particular, with the problems relating to a by-product as valuable as rice bran.

The United Nations Industrial Development Organization is aware of the importance of this subject and of the need for a comprehensive source of information, and has therefore published the present volume, which simultaneously assembles and analyses the existing information on the subject and presents a rational and systematic discussion of the scientific and technical basis of the industrial processing of bran.

The publication covers in its six chapters the production of bran, the basic principles of stabilization, the characteristics of the by-product, control of the process, the technology for stabilization, and the problems of conservation and storage.

The subject of bran production is dealt with from its beginnings, with an analysis of the rice grain and an examination of the manufacturing process, attention always being focused on the by-product, bran, rather than the primary product, rice. An understanding of the grain as the raw material for the production of bran must include a knowledge of its morphology, microscopic structure and chemical composition. The entire process of bran production is discussed: cleaning, husk removal, husk separation, paddy separation, whitening, polishing, collection of fractions of bran and germ separation. Various types of plant are discussed with the aid of numerous diagrams, covering the technologies, ranging from the simplest to the most sophisticated, that are used throughout the rice belt.

Two chapters deal fully and in detail with the problem of stabilization. In chapter II the basic principles of stabilization are set out, with descriptions of the inactivation of enzymes, the destruction of micro-organisms and the control of other harmful constituents. This information is supplemented by a consideration of stabilization methods, the stability of the constituents of bran, and the effects of the different treatments on the composition and properties of the by-product.

A chapter is devoted to the morphology, anatomy, histology and histochemistry of the discrete particles that make up commercial rice bran. Special attention is paid to the rice germ.

In dealing with the control of rice bran production, the work systematically analyses the methods for measuring the degree of milling and their application to process control in the husk-removing, whitening, polishing and grading stages.

Another chapter of the publication is devoted to the storage of rice bran. It describes the different types of deterioration, analyses the causes and factors that determine them, and discusses the changes that take place in the chemical composition and properties of the by-product.

Chapter V is devoted to the specific technology for stabilization. It reviews physical and chemical methods of stabilization, paying particular attention to processes using heat, and it describes and critically examines the processes, with their many variants and diverse conditions, and the corresponding machinery. The chapter ends with an analysis of the criteria for evaluating stabilization methods.

The publication includes a large number of tables, graphs, diagrams and photographs and some photomicrographic material to contribute to the understanding of the information presented. The wealth of carefully chosen bibliographical references reinforce the facts and opinions in the text and provide sources of additional information.

SOMMAIRE

La production annuelle de son de riz avoisine 40 millions de tonnes. Sur ce total, l'huile comestible représente de 6 à 8 millions de tonnes et les protéines de qualité une quantité équivalente; on trouve aussi une forte proportion de vitamines, d'oligo-éléments et d'autres éléments nutritifs. En dépit de ces atouts, le son de riz est aujourd'hui un sous-produit insuffisamment utilisé.

Il existe une grande quantité d'informations sur le son de riz, mais celles-ci sont éparpillées et difficiles à obtenir; elles sont quelquefois confuses, quelquefois imprécises et presque toujours incomplètes. Il serait donc utile pour les enseignants, les chercheurs et les industriels de disposer d'une publication qui rassemblerait, classerait et analyserait de manière critique toute l'information disponible sur les techniques utilisées une fois le riz récolté et, plus particulièrement, sur l'ensemble des problèmes relatifs à un sous-produit aussi précieux que le son de riz.

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel, consciente de l'importance du sujet et de la nécessité d'une source exhaustive d'informations, a donc décidé de publier le présent volume, qui rassemble et analyse les données existantes sur le sujet et procède à cette occasion à un examen rationnel et systématique des fondements scientifiques et techniques de la transformation industrielle du son.

Les six chapitres du présent ouvrage examinent la production du son, les principes de base de la stabilisation, les caractéristiques de ce sous-produit, la maîtrise du procédé, les techniques de stabilisation et les problèmes de conservation et de stockage.

La production du son est envisagée en amont : analyse du grain de riz et examen du processus de fabrication, l'attention s'attachant toutefois au sous-produit — le son — et non au produit primaire — le riz. Pour connaître le grain dans sa fonction de matière première pour la production de son, il faut en comprendre la morphologie, la structure microscopique et la composition chimique. L'ouvrage examine dans sa totalité le procédé de fabrication du son : nettoyage, décorticage, séparation du riz d'avec les balles et le paddy, blanchiment, polissage, ramassage des brisures de son et extraction des germes. Différents types de plants sont examinés à l'aide de nombreux diagrammes qui rendent compte des techniques — depuis la plus simple jusqu'à la plus élaborée — utilisées dans la riziculture.

Deux chapitres exhaustifs et détaillés sont consacrés au problème de la stabilisation. Le chapitre II en présente les principes de base, décrivant l'inactivation des enzymes, la destruction des micro-organismes et la maîtrise des autres composants nocifs. Cette information est complétée par l'étude des méthodes de stabilisation, la stabilité des éléments constitutifs du son et les

effets des divers traitements sur la composition et les propriétés du sous-produit.

Un autre chapitre porte sur la morphologie, l'anatomie, l'histologie et l'histochimie des particules discrètes qui constituent le son de riz commercial. Le germe de riz retient tout particulièrement l'attention.

En ce qui concerne la maîtrise de la production du son de riz, l'ouvrage analyse systématiquement les méthodes permettant de mesurer le degré d'usinage et l'application de ces méthodes au contrôle des procédés, aux diverses étapes du décorticage, du blanchiment, du polissage et du classement par qualité.

Un autre chapitre est consacré au stockage du sous-produit. Il décrit les différents types de détérioration, en analyse les causes et facteurs déterminants et examine les modifications intervenues dans la composition et les propriétés chimiques du sous-produit.

Le chapitre V est tout entier consacré à la technologie spécifique de stabilisation. Il passe en revue les méthodes physiques et chimiques de stabilisation, en insistant tout particulièrement sur les procédés faisant appel à la chaleur, et il fait une description et une analyse critique de ces procédés avec leurs nombreuses variantes et la diversité des conditions dans lesquelles ils sont employés, ainsi que des machines correspondantes. Le chapitre se termine par une analyse des critères d'évaluation des méthodes de stabilisation.

L'ouvrage comporte un grand nombre de tableaux, graphiques, diagrammes et photos, ainsi que du matériel photomicrographique qui permet de mieux comprendre l'information présentée. D'abondantes références bibliographiques, soigneusement sélectionnées, viennent étayer les faits et opinions consignés dans le texte et représentent une source d'informations complémentaires.

كيفية الحصول على منشورات اليونيدو

يمكن الحصول على منشورات اليونيدو من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم - إستمع منها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى : الأمم المتحدة - قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何购取工发组织出版物

工发组织出版物在全世界各地的书店和经营处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNIDO PUBLICATIONS

UNIDO publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DE L'ONUDI

Les publications de l'ONUDI sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ЮНИДО

Издания ЮНИДО можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LA ONUDI

Las publicaciones de la ONUDI están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

