

00528
27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

"COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA AVENA (*Avena sativa*) Y SUS CAMBIOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO"

TRABAJO MONOGRÁFICO DE
ACTUALIZACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS
PRESENTA:
CLAUDIA MAGALI CRUZ Y MARTINEZ



MÉXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

Presidente	Profa. Olga Volázquez Madrazo
Vocal	Profa. Ma. Del Rocío Santillana Hinojosa
Secretario	Prof. Alfredo Salazar Zazueta
1er. Suplente	Profa. Gloria Díaz Ruíz
2º. Suplente	Profa. Karla Mercedes Díaz Gutiérrez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

**Laboratorio de Tecnología de Cereales INIFAP
Bibliotecas y Hemerotecas de la UNAM**

ASESOR DEL TEMA



Dr. Alfredo Salazar Zazueta

SUSTENTANTE



Claudia Magali Cruz y Martinez

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darme la vida y todo lo bueno para disfrutar de ella. Por su gran misericordia e infinito amor. Por darme la oportunidad de vivir este momento tan anhelado por mi.

A mis padres por enseñarme el valor de la vida, y a siempre seguir adelante, por guiarme, por cuidarme, por su gran amor. Esto es para ustedes.

A mi esposo a quien amo tanto. Gracias por hacerme la mujer más feliz del mundo. Gracias por tu apoyo, por tu comprensión, por tus cuidados, por amarme tanto como yo te amo a ti.

A mis hermanos Angélica, Juan y Poncho por todos los momentos compartidos, por las risas y por las peleas.

A Agustín Reyó por su amistad y apoyo incondicional.

A mi asesor el Dr. Alfredo Salazar por su apoyo y disponibilidad.

A la Profa. Olga Velázquez por sus invaluable comentarios.

A la Profa. Ma. Del Rocío Santillana por la revisión de este trabajo.

A la Profa. Imelda Velásquez por su apoyo en la búsqueda bibliográfica.

A la Profa. Lucy Cornejo.

A todos mis profesores.

A la Facultad de Química.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	3
1.1 Avena	3
1.2 Historia	3
1.3 Clasificación taxonómica	3
1.4 Estructura morfológica	4
CAPÍTULO II. PRODUCCIÓN	6
2.1 Producción mundial	6
2.2 Producción nacional	9
CAPÍTULO III. COMPOSICIÓN QUÍMICA	11
CAPÍTULO IV. CARBOHIDRATOS	14
4.1 Azúcares y oligosacáridos	15
4.1.1 Factores que afectan el contenido de azúcares en la avena	15
4.2 Almidón	16
4.2.1 Características morfológicas	16
4.2.2 Aislamiento	18
4.2.3 Propiedades estructurales	19
4.3 Fibra dietética (β -glucanos)	21
4.3.1 Estructura	22
4.3.2 Extracción	24
4.3.3 Propiedades físicas	25
4.3.4 Factores que afectan el contenido de β -glucanos	27
4.3.4.1 Factores ambientales	27
4.3.4.2 Procesamiento	29
4.4 β -Glucanasas	30
4.5 Efecto de la fibra de avena sobre los minerales de la dieta	31
4.6 Cascarrilla	34
CAPÍTULO V. PROTEÍNAS	35
5.1 Composición química	36
5.1.1 Contenido proteico	36
5.1.2 Clasificación de la fracción proteica por su solubilidad	37
5.1.3 Composición de aminoácidos	37
5.2 Localización en el grano	39
5.3 Evaluación de la calidad proteica de la avena	41
5.4 Factores que afectan el contenido proteico	42
5.4.1 Maduración	42
5.4.2 Germinación	43
5.4.3 Fertilización	45
5.5 Enzimas proteolíticas e inhibidores	45
5.6 Usos en alimentos y funcionalidad	46
CAPÍTULO VI. LÍPIDOS	52
6.1 Extracción	53
6.2 Clasificación de la fracción lipídica	54
6.2.1 Clasificación por su solubilidad	55
6.2.2 Clasificación por su distribución en el grano	55
6.2.3 Clasificación química	57

6.3 Factores que afectan la composición lipídica	60
6.3.1 Factores ambientales y agronómicos	60
6.3.2 Procesamiento	61
6.4 Relación lípidos almidón	63
6.5 Enzimas lipolíticas	65
CAPÍTULO VII. ANTIOXIDANTES	67
7.1 Extracción	68
7.2 Composición	69
7.3 Localización en el grano	71
7.4 Actividad antioxidante	72
7.5 Factores que afectan el contenido de antioxidantes	75
7.5.1 Factores agronómicos	75
7.5.2 Molienda y tamizado	78
7.5.3 Efecto de las altas temperaturas	79
CAPÍTULO VIII. VITAMINAS Y MINERALES	83
CAPÍTULO IX. VALOR NUTRITIVO	86
9.1 Proteínas	86
9.2 Lípidos	88
9.3 Carbohidratos	89
9.4 Vitaminas y minerales	90
CAPÍTULO X. INDUSTRIALIZACIÓN	92
10.1 Limpieza	94
10.1.1 Prelimpieza	94
10.1.2 Limpieza y clasificación por tamaño	95
10.2 Secado y enfriado	95
10.3 Descascarillado	96
10.4 Corte y laminado	97
10.5 Productos y subproductos	98
10.5.1 Productos	98
10.5.2 Subproductos	98
10.5.2.1 Cascarilla	98
10.5.2.2 Rechazo	99
10.5.2.3 Mezcla de granos y semillas	99
10.5.2.4 Avena de segunda calidad	99
CAPÍTULO XI. CAMBIOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO	100
11.1 Proteínas	100
11.2 Carbohidratos	101
11.3 Lípidos	102
11.4 Antioxidantes	104
CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	110

INTRODUCCIÓN

La avena posee un alto valor nutritivo, muy superior al de otros cereales. En su contenido proteico el equilibrio de aminoácidos se equipara favorablemente a la proteína estándar establecida por la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO). La avena posee una gran cantidad de fibra dietética, principalmente formada por β -glucanos presentes en la cáscara o salvado, la cual representa un 25 a 30 % del peso total del grano (Hoseney, 1991). De acuerdo con estudios realizados (Hallfrisch y Behall, 2003. Hallfrisch et al, 2003) se dice que la fibra dietética de la avena proporciona efectos positivos en la salud humana, como la disminución del colesterol y los niveles de glucosa en sangre. La avena es el cereal con mayor contenido lipídico; la fracción lipídica del grano de avena, determina en gran medida su contenido energético y tiene un significativo impacto en su calidad nutricional por su alto contenido de ácidos oleico y linoléico (Zhou et al, 1999).

Sin embargo, a pesar de ocupar el sexto lugar en la producción de cereales a nivel mundial, únicamente el 5% es industrializado para consumo humano y en México el 70% de la producción se destina para forraje (FAO, 2000. SAGAR, 2001). Como puede notarse en lo antedicho, existe un gran desaprovechamiento de la avena en la alimentación humana, de ahí se desprende la necesidad de crear mayores aplicaciones de este cereal en la alimentación humana, desarrollando más y mejores alimentos de interés industrial, teniendo buenas prácticas de almacenamiento y comprendiendo los cambios que la composición de este cereal y sus productos pudieran tener durante el mismo.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar información reciente sobre la composición química de la avena y sus productos, así como sus cambios durante el almacenamiento, con el fin de generar un documento que pueda ser utilizado en el sistema agroindustrial.

Objetivo Particular

Examinar información actualizada sobre avena con la finalidad que sea de utilidad en el desarrollo de nuevos productos para consumo humano, con énfasis en los cambios en la composición de este cereal y sus productos durante el almacenamiento.

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

1.1 Avena

La avena es una planta anual de fecundación autógama que pertenece al grupo de las gramíneas y que puede adaptarse a una gran variedad de climas semicálidos y fríos. En general, se siembra en regiones de clima frío seco o frío húmedo. La temperatura de cultivo varía de 4.8°C como mínima, a 31-37°C como máxima, siendo la óptima de 25 a 31°C dependiendo de la etapa de desarrollo, variedad y tipo de planta. Una alta humedad del aire y una alta temperatura limitan el cultivo, ya que propician el desarrollo de enfermedades (Robles, 1983. Parson, 1989).

1.2 Historia

Se dice que la avena cultivada tuvo su origen en Asia Menor o Medio Oriente y de ahí se extendió hacia otras regiones donde se favoreciera su cultivo, particularmente alrededor del Mar Mediterráneo.

Descubrimientos arqueológicos señalan a Egipto (2000 a. C.) como el primer lugar donde hay evidencia del cultivo de avena, sin embargo, no se conoce con certeza el lugar exacto donde se originó su cultivo (Robles, 1983).

1.2 Clasificación taxonómica (Robles, 1983)

Reino	Vegetal
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Pteropsida</i>
Clase	<i>Angiosperma</i>
Subclase	Monocotiledónea
Orden	Graminales
Familia	<i>Gramineae</i>
Tribu	<i>Aveneae</i>
Género	<i>Avena</i>
Especie	<i>sativa</i>

1.4 Estructura morfológica

El grano de avena es tan complejo como los granos de otros cereales; como miembros de la familia de las gramíneas están organizados de acuerdo a un patrón estructural similar y contienen tejidos con funciones fisiológicas equivalentes, sin embargo, en varios aspectos la avena es química y estructuralmente única. La avena posee un alto contenido de lípidos y proteínas, además de almidón, vitaminas, compuestos fenólicos y enzimas, cada uno de estos componentes químicos se encuentra en estructuras específicas, en lugares específicos del grano. La concentración y distribución de cada constituyente puede variar en función de las condiciones ambientales de cultivo o de la variedad de avena de que se trate.

El salvado, el endospermo y el germen son las tres partes principales en las que se puede dividir el grano de avena. El salvado está constituido por diferentes tejidos y contiene cuerpos proteicos, lípidos neutros, ácido ferúlico y una concentración significativa de niacina, ácido fítico y aminas aromáticas. El endospermo es la principal fuente de almidón, proteínas y β -glucanos. El germen es químicamente similar al salvado en varios aspectos pero aparentemente no contiene niacina o aminas aromáticas (Fulcher, 1986).

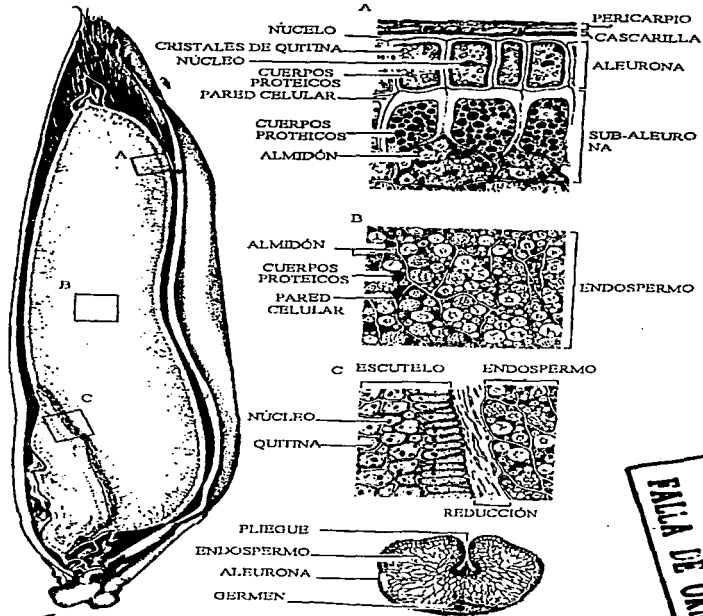


Figura 1.1 Estructura morfológica del grano
(Escárcega P. J., 2001)

**CAPÍTULO II
PRODUCCIÓN**

2.1 Producción mundial

La avena es uno de los cereales más importantes, ya que ocupa el sexto lugar en producción de granos a nivel mundial, después del maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo (www.fao.org).

Tabla 2.1 Producción mundial de los principales cereales 2000

Cereal	Miles de Ton. métricas	Cereal	Miles de Ton. métricas
Maíz	591 987	Cebada	134 421
Trigo	585 298	Sorgo	56 046
Arroz	401 941	Avena	25 838

Fuente: www.fao.org

La mayor parte de la producción de avena a nivel mundial ocurre en el hemisferio norte entre las latitudes 35° y 50°, principalmente en el continente Europeo y Norte América, ya que el cultivo de la avena se favorece en los climas fríos o semicálidos (Schrickel, 1986).

Tabla 2.2 Producción mundial y consumo *per capita* (2000)

	Producción (miles de ton. métricas)	Consumo <i>per capita</i> (Kg / año)
Mundial	25,838	0.5
África	108	0.1
Asia	1,166	0.1
Europa	16,677	1.6
Norte y Centro América	5,593	2.1
Sudamérica	1,128	1.1
Oceanía	1,131	1.0

Fuente: www.fao.org

A continuación se muestra una gráfica realizada a partir de los datos de la tabla 2.3 con algunos de los países con mayor producción de avena del mundo; en términos generales, se observa un decremento en la producción de este cereal a través del tiempo.

Producción mundial de avena

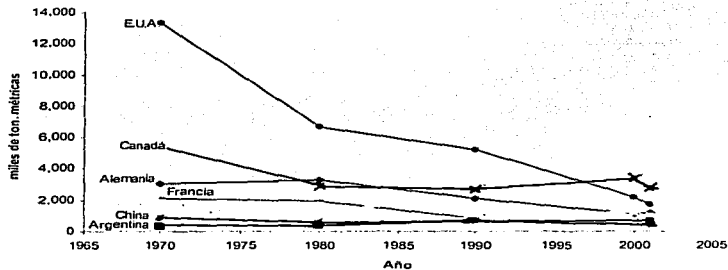


Tabla 2.3 Producción mundial de avena (miles de toneladas métricas)

País	1970	1980	1990	2000	2001
Alemania	3,041	3,240	2,105	1,087	1,151
Argentina	360	433	695	644	644
Australia	1,613	1,128	1,530	1,131	1,222
Canadá	5,445	2,911	2,692	3,389	2,691
China	900	500	600	650	599
E.U.A.	13,285	6,659	5,189	2,171	1,699
Finlandia	1,330	1,258	1,662	1,413	1,287
Francia	2,102	1,931	839	459	485
México	43	64	121	19	19
Reino Unido	1,222	600	530	640	616
Suecia	1,686	1,567	1,584	1,151	964
Mundial	52,361	41,056	39,636	25,838	26,962

Fuente: www.fao.org

Ya en 1986 se observaba un decremento en la producción mundial de avena atribuido a diferentes factores como el desinterés de los productores en vista de las bajas ganancias percibidas por hectárea de este cultivo, comparadas con las de otros cereales; a que su cascarilla relativamente gruesa disminuye la densidad de la carga, lo que incrementa el costo de transportación; a que ha aumentado el número cultivos en grano que se pagan de contado como cebada y maíz, y la avena ha sido relegada a un papel de utilidad en la granja, ya que se cultiva en los suelos marginales frecuentemente asociados con irrigaciones pobres y baja fertilidad, y se usa para pastura, forraje, paja y como cultivo de compañía para establecer legumbres. La disminución en la producción, también puede deberse a su activo sistema lipásico y contenido lipídico que la hacen susceptible de rancidez oxidativa; a la falta de investigación sobre las propiedades funcionales de este cereal para generar nuevos productos de interés industrial que abran un amplio mercado de alimentos modernos, producidos en alto volumen. A todo esto, se agrega el hecho de que la avena en la alimentación humana se usa casi exclusivamente en productos hechos a partir de hojuelas de avena o de harina de avena entera, debido

Capítulo II Producción

a que la suavidad y el alto contenido lipídico del grano impiden el uso eficiente del equipo convencional de molienda húmeda para generar harinas de avena refinadas, blancas y con bajo contenido de cenizas. Es necesario realizar cambios dramáticos en las características y usos de la avena para incrementar el valor y ganancias por hectárea, para evitar que el interés en la producción de este cereal siga disminuyendo y probablemente deje de ser uno de los cultivos de mayor producción mundial (Burrows, 1986).

2.2 Producción nacional

México dedica a este cultivo una superficie que varía de 90 000 a 130 000 Has; de esta superficie el 90% es de temporal, por lo que los rendimientos son muy bajos. Chihuahua se considera la zona avenera de México, ya que se siembran entre 80 y 100 000 hectáreas, en segundo y tercer lugar, después de Chihuahua están Durango y el Estado de México respectivamente.

Los principales municipios del estado de Chihuahua donde se siembra este cereal son: Cuauhtémoc, Bachíniva, Namiquipa, Riva Palacio y Guerrero, los cuales se localizan en la región denominada Baja Babícora. Esta región es la más importante en la producción de avena, ya que se cultiva el 80 por ciento del área dedicada a la producción de este cereal en la República Mexicana (SAGAR, 2001).

Tabla 2.4 Producción Nacional. Año agrícola 2001
Total (Riego + Temporal)

Cultivo	Superficie cosechada (Ha)	Producción obtenida (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/Ha)
Avena forrajera	458 274	5 157 886	11 255
Avena grano	70 391	88 758	1.261

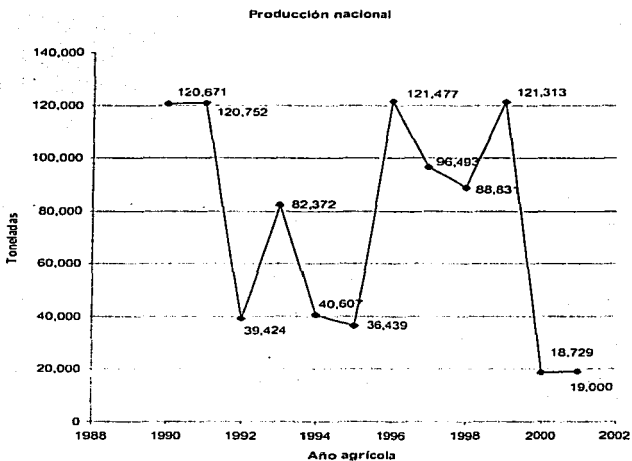
Fuente SAGAR, 2001.

Capítulo II Producción

Como muestra la tabla 2.4, la mayor parte (98%) de la producción de avena en el 2001 se destinó para forraje y el resto para grano.

Los rendimientos son muy bajos debido a que la mayor parte (90%) de la superficie cultivada es de temporal.

A continuación se muestra una gráfica con las estadísticas de producción nacional de 1990 a 2001.



Fuente: SAGAR, 1990-2001.

CAPÍTULO III COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición de la avena depende de muchos factores, entre los que destacan están, las condiciones de cultivo, época de corte, variedad y método de determinación (Parson, 1989. Gibinski, 2000). En la tabla 3.1 se muestra la composición típica de la avena en términos generales (Matz, 1991).

Un estudio realizado por Gibinski M. (2000) con 19 variedades de avena muestra similitud en composición con las que se muestran en la tabla 3.1. Sin embargo estas similitudes no ocurren en algunas otras referencias bibliográficas (Kirk, 1991), debido a lo ya expuesto. Además los porcentajes de cenizas, fibra y materia libre de nitrógeno varían ligeramente entre muestras de avena obtenidas de diferentes lugares del mundo. A continuación se presentan los promedios de sus determinaciones.

Tabla 3.2 Composición promedio de 19 variedades de avena.

Componente	Porcentaje
Proteína	13.79
Grasa	8.07
Almidón	51.51
Azúcares reductores	0.41
Beta-glucanos	4.12
Celulosa	15.45
Cenizas	1.99
Humedad	4.66

Fuente: Gibinski M, 2000.

En México se producen diferentes variedades de avena, principalmente forrajeras entre las que destacan las variedades Cuahtémoc, Chihuahua, Papigochi y Guelatao; dentro de las que se usan con doble propósito (forraje y grano) se encuentran la Babicora, Raramuri, Pampas, Tarahumara, Páramo y Cusihuiríachi, sin embargo, la composición de estas variedades no se encuentra reportada en la literatura (Jiménez, 1992).

Capítulo III Composición química

Tabla 3.1 Composición química típica de la avena

Análisis Proximal	Unidades	Cantidad	Aminoácidos	Unidades	Cantidad
Agua	g/100	8.22	Triptofano	g/100	0.234
Energía	Kcal/100g KJ/100g	389.0 1629	Treonina	g/100	0.575
Proteína (N*5.83)	g/100	16.89	Isoleucina	g/100	0.694
Lípidos totales	g/100	6.90	Leucina	g/100	1.284
Carbohidratos totales	g/100	66.27	Lisina	g/100	0.701
Cenizas	g/100	1.72	Metionina	g/100	0.312
			Cisteína	g/100	0.408
Lípidos			Fenilalanina	g/100	0.895
Ácidos grasos			Tirosina	g/100	0.573
Saturados	g/100	1.217	Valina	g/100	0.937
12:0	g/100	0.024	Arginina	g/100	1.192
14:0	g/100	0.015	Histidina	g/100	0.405
16:0	g/100	1.034	Alanina	g/100	0.881
18:0	g/100	0.065	Ácido aspártico	g/100	1.448
Monoinsaturados	g/100	2.178	Ácido glutámico	g/100	3.712
16:1	g/100	0.013	Glicina	g/100	0.841
18:1	g/100	2.165	Prolina	g/100	0.934
Poliinsaturados	g/100	2.535	Serina	g/100	0.750
18:2	g/100	2.424	Minerales		
18:3	g/100	0.111	Calcio	mg/100g	54.0
Vitaminas			Hierro	mg/100g	4.72
Ácido ascórbico	mg/100g	0.0	Magnesio	mg/100g	177.0
Tiamina	mg/100g	0.763	Fósforo	mg/100g	523.0
Riboflavina	mg/100g	0.139	Potasio	mg/100g	429.0
Niacina	mg/100g	0.961	Sodio	mg/100g	2.0
Ácido pantoténico	mg/100g	1.349	Zinc	mg/100g	3.97
Vitamina B-6	mg/100g	0.119	Cobre	mg/100g	0.626
Folacina	mg/100g	56	Manganeso	mg/100g	4.916

Fuente: Matz S.A., 1991.

Capítulo III Composición química

Las diferentes líneas de avena separadas antes de la molienda son muy similares en su composición, sin embargo, se presenta una considerable variación en la composición de las muestras si existe una amplia diferencia en el porcentaje de cascarilla. En la siguiente tabla se ilustra el efecto del procesamiento en la composición de algunos productos de avena (Matz, 1991).

Tabla 3.3 Efecto del procesamiento en la composición química de algunos productos de avena.

Componente	Avena entera	Avena descascarillada	Cereal para desayuno
Humedad %	7.5	7.5	8.1
Proteína cruda % (N*6.25)	13.0	17.0	16.8
Grasa cruda %	5.5	7.7	6.7
Fibra cruda %	11.8	1.6	3.9
Genizas %	3.7	2.0	2.2
Extracto libre de nitrógeno %	66.0	71.6	70.5
Hierro ppm	51.0	47.0	51.0
Calcio ppm	700	570.0	580.0
Fósforo %	0.37	0.50	0.445
Manganeso ppm	34.0	34.0	48.0
Tiamina mg/100g	0.65	0.77	0.78
Riboflavina mg/100g	0.14	0.14	0.17
Niacina mg/100g	1.15	0.97	1.25
Ácido pantoténico mg/100g	0.86	1.36	1.19
Ácido fólico mg/100g	0.034	0.06	0.06
Cloruro de colina mg/100g	107.0	120.0	120.0
Piridoxina mg/100g	0.20	0.12	-

Fuente: Matz S.A., 1991.

En los siguientes capítulos se abordarán con más detalle los principales componentes químicos de la avena.

CAPÍTULO IV CARBOHIDRATOS

La avena entera incluida la cascarilla aporta aproximadamente el 65% de la materia libre de nitrógeno en base seca, el almidón y otros polímeros de carbohidratos representan aproximadamente el 90% de esta materia, mientras que el contenido de azúcares reductores es muy pobre, generalmente menor al 0.1% y los azúcares totales representan cerca del 1.4%. La avena entera contiene aproximadamente 14% de pentosanas, principalmente arábano y xilano. La mayor concentración de pentosanas se encuentra en la cascarilla, mientras que la avena descascarillada posee alrededor de 4%. El contenido de pentosanas hace de la cascarilla de avena una importante materia prima en la elaboración de furfural.

Alrededor del 33 y 43% de almidón en base seca puede ser extraído a partir de avena entera, aunque su contenido real en el grano es mucho mayor. El almidón de avena se encuentra en forma de gránulos, los cuales son muy irregulares en forma, frecuentemente asumen una configuración poliédrica, se han observado gránulos en forma de huso o de óvalo puntiagudo, los cuales son característicos de la avena. El tamaño de los gránulos de almidón varía entre 3 y 10 μm (Matz, 1991).

La fibra de avena se encuentra principalmente en la cascarilla y está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina. La cascarilla de avena seca contiene aproximadamente 29.4% de α -celulosa y 16.7% de lignina, la cual no es un carbohidrato (Matz, 1991). En cuanto a la fibra dietética soluble, se ha prestado especial atención a los β -glucanos, constituyente principal de las gomas de avena, debido a sus efectos positivos en la salud humana como reducción del colesterol y de glucosa en sangre, lo cual abriría la posibilidad de elaborar productos para pacientes diabéticos y con hipercolesterolemia (Anderson et al, 1994. Wood, 1994).

4.1 AZÚCARES Y OLIGOSACÁRIDOS

El contenido de azúcares libres y oligosacáridos en la avena es muy pequeño comparado con el de otros cereales. El contenido total de azúcares en avena entera y avena descascarillada es de aproximadamente 1.4 y 0.9-1.3% respectivamente, los cuales incluyen sacarosa, rafinosa, glucosa, fructosa, maltosa, glucodifrutosa y fructosanos, siendo la sacarosa el azúcar predominante, seguido de la rafinosa. Además un tetrasacárido (estaquiosa) y un pentasacárido (verbascosa) se han encontrado en el endospermo y salvado de la avena (MacArthur-Grant, 1986).

4.1.1 Factores que afectan el contenido de azúcares en la avena.

Aparentemente la variedad influye en el contenido de azúcares en la harina de avena y salvado de avena. Las variedades de avena que poseen un alto contenido proteico generalmente, pero no siempre, poseen un alto contenido de azúcares totales. En cualquier caso, si se compara el contenido de azúcares de avena con el de trigo, el primero es frecuentemente menor que en la harina y salvado de trigo duro rojo de primavera, probablemente debido a una gran contaminación con glucofructosanas, las cuales se encuentran en cantidades significativas en trigo y solo cantidades traza son detectadas en avena.

Se han observado cambios en la composición de azúcares durante la maduración del grano de los cereales de mayor consumo, principalmente en el contenido de fructosanos y rafinosa, los cuales desaparecen completamente del embrión al alcanzar el grano su maduración.

Los carbohidratos no estructurales totales de la avena, aumentan con la maduración de 56.4-61.2% inicialmente a 60.4-71.3% al alcanzar la madurez, mientras que la concentración de fructosanos, inicialmente alta (12.0-19.0%), disminuye a niveles traza con la maduración.

El almacenamiento a diferentes condiciones de humedad, aparentemente no afecta el contenido de azúcares libres en el grano de avena. El tratamiento hidrotérmico disminuye el contenido de azúcares reductores, mientras que aumenta el contenido de maltosa debido a hidrólisis enzimática del almidón. Durante la elaboración de harina de avena se presenta un aumento considerable de glucosa, maltosa y fructosa (MacArthur-Grant, 1986).

4.2 ALMIDÓN

El almidón se encuentra en el endospermo del grano de avena en forma de gránulos, también se encuentra en el embrión y otros órganos pero en cantidades traza. Los gránulos de almidón de la avena no se encuentran asociados a una matriz proteica como ocurre en otros cereales, debido a que las proteínas se encuentran localizadas en estructuras adyacentes denominadas cuerpos proteicos.

Tradicionalmente el almidón de avena ha recibido muy poco interés por parte de los investigadores, debido a que, en contraste con otros cereales, no puede ser fácilmente separado de otros componentes del grano, debido principalmente a la presencia de β -glucanos. Como consecuencia, se encuentran muy pocas referencias en la literatura sobre el almidón de avena y sus propiedades funcionales, como gelatinización, formación de pastas y retrogradación, importantes para su uso en alimentos y aplicaciones industriales (Paton, 1986).

4.2.1 Características morfológicas

Los gránulos de almidón de avena son débilmente birrefringentes, irregulares en forma, frecuentemente polidédricos, pero algunas veces ovoides o hemisféricos. La superficie de estos gránulos aparentemente es lisa sin evidencia de fisuras (Lim et al, 1992).

El tamaño promedio de los gránulos individuales de almidón de avena varía de 3 a 10 μm , el cual es más pequeño que el de los gránulos de trigo, centeno, cebada y maíz. El tamaño promedio de los gránulos de almidón está relacionado positivamente con el por ciento de transmitancia y negativamente correlacionado con el contenido lipídico, afinidad al yodo, por ciento de amilosa y longitud de onda de máxima absorción ($\lambda_{\text{máx.}}$) (Kobayashi et al, 1986). Mientras el contenido lipídico en el grano descascarillado aumenta de 6.2 a 15.5, y el contenido de amilosa aumenta

de 30.3 a 33.6%, el tamaño promedio de los gránulos de almidón disminuye de 6.3 a 3.8 μm (Wang y White, 1994).

Los gránulos individuales de almidón de avena se encuentran en agregados esféricos, llamados algunas veces gránulos compuestos y que poseen un diámetro aproximado de 60 μm . Estos gránulos compuestos que se encuentran en el espacio central entre las células del endospermo, generalmente se rompen al procesarse el grano (Lim et al, 1992), revelando que los gránulos individuales son irregulares en forma debido a que adquieren la forma de los gránulos vecinos en el conglomerado o gránulo compuesto (Wang y White, 1994).

Los gránulos de avena exhiben una débil birrefringencia en la forma de una cruz de Malta, sugiriendo un alto grado de orden en la estructura. Las moléculas están organizadas en dirección radial como se indica por el signo positivo de la birrefringencia. Además un grado de cristalinidad es sugerido por los patrones de rayos X que corresponden a uno de dos cristales polimorfos (A y B). Estudios de la difracción de los rayos X indican que ambos cristales polimorfos están ordenados en arreglos de doble hélice. El espectro de rayos X del almidón de avena nativo fue del tipo A, representativo de los almidones de cereales con espacios de 0.38, 0.48, 0.52 y 0.58 nm, sin ninguna evidencia del complejo amilosa-lípido en el almidón nativo a temperatura ambiente.

Se acepta que muchas de las características físicas de los gránulos de almidón, estructura y comportamiento, pueden atribuirse a las regiones cristalinas del gránulo. Aproximadamente al mismo contenido de humedad, la relativa cristalinidad del almidón de avena (0.90) es mayor que la del almidón de trigo (0.67), esto sugiere un estrecho empaquetamiento de las dobles hélices formadas a partir de las adyacentes ramificaciones de amilopectina en los gránulos de almidón. Sin embargo, las regiones cristalinas comprenden menos de la mitad del almidón presente, aproximadamente 70% es amorfo, incluyendo toda la amilosa y gran parte de la amilopectina. Además en comparación con el almidón de trigo, las cadenas de amilosa del almidón de avena aparentan estar más holgadas en el arreglo de las regiones amorfas, pero más compactas en las regiones cristalinas (Wang y White, 1994).

4.2.2 Aislamiento

El almidón de avena ya ha sido aislado anteriormente por diferentes métodos (Paton, 1986), el principio de algunos de ellos fue retomado por Lim et al (1992) en la obtención de almidón a partir de harina de avena con agua en condiciones alcalinas y mediante utilización de proteasas o celulasas. El primer método consistía en agitar la harina de avena con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio o hidróxido de calcio, seguido de centrifugación y lavados con agua. En el segundo método la harina fue sumergida en agua por 6 horas a 20°C, sometida a una fuerte agitación, centrifugada dos veces y el almidón obtenido fue secado. Finalmente una mezcla de harina de avena, proteasa o celulasa y agua, fue incubada a 37°C en el caso de la proteasa (pH 7.5) o a 40°C (pH 5.0) en el caso de la celulasa por 3horas.

Los autores encontraron que la obtención de almidón de avena con bajo contenido de proteína fue más efectiva por el método alcalino, seguido del método con proteasas y finalmente el método por inmersión en agua. Se esperaba que el tratamiento con enzimas fuera más efectivo, ya que de esta manera se debilitaría la asociación entre las proteínas y el almidón, además, en las paredes celulares fibrosas del endospermo de la avena se encuentran asociados los β -glucanos, los cuales inhiben la efectiva separación del almidón, así se esperaba que la celulasa dígiera y debilitara las paredes celulares para facilitar la separación del almidón. Sin embargo, resultó que el método más efectivo para aislar el almidón de avena fue el que incluía agitación en un medio alcalino, principalmente con hidróxido de sodio a concentraciones arriba de 0.01 M. Se obtuvo un rendimiento del almidón de 72-76% en base al peso seco de la harina de avena, lo cual equivale a una recuperación del 90-95% de almidón con un contenido de proteína de 0.3-0.4% en base seca.

4.2.3 Propiedades estructurales

El almidón está constituido principalmente por dos polisacáridos químicamente distinguibles, la amilosa y la amilopectina. La amilosa es esencialmente una molécula lineal, mientras que la amilopectina es una molécula altamente ramificada (Wisther y Daniel, 1993). Un tercer componente llamado "material intermedio" se encuentra también en el almidón de algunos cereales y presenta un comportamiento intermedio entre la amilosa y la amilopectina.

Una subfracción de amilopectina denominada "amilopectina anómala" se encontró en diferentes cereales, y en la avena se encontró en una concentración de 4.5%. Se caracterizaba por ser esencialmente similar a la amilopectina, excepto que la cadena era más larga o menos ramificada. También fue encontrada una fracción denominada "amilosa anómala" en cantidades semejantes a las de la "amilopectina anómala", sólo que esta fracción se encontraba ramificada (Paton, 1986). Sin embargo, algunos autores se muestran escépticos en cuanto a la existencia del material intermedio, ya que según su punto de vista dicho material intermedio es un complejo de amilosa y amilopectina coprecipitado como consecuencia de los tratamientos empleados en la extracción y solubilización del almidón (Tester y Karkalas, 1996).

En términos generales el almidón de avena contiene aproximadamente 56% de amilopectina, 26% de material intermedio y 18% de amilosa. Variaciones en las cantidades de amilosa, amilopectina y material intermedio, por sus estructuras y propiedades, pudieran resultar en gránulos de almidón con propiedades fisicoquímicas y funcionales muy diferentes, lo cual afectaría su utilización en productos alimenticios o aplicaciones industriales (Kobayashi et al, 1986).

El contenido de amilosa del almidón de avena va de 16 a 33.6%, estas variaciones se atribuyen al contenido de lípidos, a la variedad y al método analítico usado en su determinación. La amilosa pura de avena posee una afinidad al yodo de 19.5 g/100 g de almidón y la afinidad al yodo del almidón de avena va de 3.19 a 3.54. La amilosa de avena generalmente posee valores de viscosidad intrínseca mayores (2.46-2.99 dl/g) que los del almidón de trigo (2.33dl/g), mientras que la amilopectina de avena posee valores ligeramente menores que la amilopectina de trigo (Paton, 1986).

Capítulo IV Carbohidratos

En un estudio realizado por Wang y White (1994) se aisló el almidón de tres tipos de avena (*Avena sativa* L.) con diferente contenido de lípidos (6.2, 8.0 y 11.2). El almidón obtenido fue fraccionado en amilosa, amilopectina y materiales intermedios. Las estructuras y propiedades fisicoquímicas de la amilosa, amilopectina y materiales intermedios fueron caracterizadas mediante afinidad al yodo (IA), máxima absorbancia de longitud de onda ($\lambda_{\text{máx}}$), valor de viscosidad limitante y por cromatografía de exclusión molecular de alta resolución (HPSEC), antes y después de la derramificación con isoamilasa para la amilosa y después de la derramificación para la amilopectina y materiales intermedios. En la siguiente tabla se observan algunos de los resultados obtenidos.

Tabla 4.1 Propiedades fisicoquímicas de la amilosa, amilopectina y materiales intermedios del almidón de avena.

Muestra	Afinidad de yodo (g/100g de almidón)	$\lambda_{\text{máx}}$ (nm)	$[\eta]^a$ (ml/g)	GP_w^b
Amilosa				
E77	18.7	659	170	1,208
Dal	18.4	661	173	1,185
L996	18.9	662	167	939
Amilopectina				
E77	0.58	560	140	---
Dal	0.30	557	124	---
L996	0.49	558	146	---
Material intermedio				
E77	1.26	575	145	---
Dal	0.62	567	145	---
L996	0.82	571	148	---

Notas: ^a Viscosidad Limitante. ^b Grado de polimerización, expresado como unidades de glucosa.

La longitud de la cadena y la distribución en la longitud de la cadena de amilopectina mostró diferencias entre las clases de almidones, con un decremento en el grado de ramificación de la amilopectina, acompañado de un incremento en el contenido lipídico del almidón y de amilosa. Todas las estructuras y propiedades del material intermedio sugieren, según los autores, que el material intermedio contiene una menor cantidad de moléculas ramificadas que la amilopectina.

4.3 FIBRA DIETÉTICA (β -GLUCANOS)

La fibra dietética se ha definido como la porción de las células de las plantas, en las que se incluyen los polisacáridos y ligninas, que no pueden ser digeridas en el intestino delgado de los humanos. La fibra dietética puede subdividirse en soluble e insoluble en agua. La fibra soluble de los cereales está compuesta por polisacáridos del tipo no almidonario como β -glucanos y arabinosilanos, que pueden formar soluciones viscosas, las cuales retardan el tránsito intestinal y el vaciado gástrico, además de disminuir la absorción de glucosa y esteroides por el intestino y aumentar el volumen fecal (Anderson y Chen, 1986).

Los efectos positivos en la salud derivados del consumo de fibra dietética han aumentado el interés en la fibra dietética de avena, la cual se ha reportado disminuye los niveles de colesterol y glucosa en sangre (Shinnick et al, 1991. Hallfrisch et al, 2003).

Un posible mecanismo de reducción del colesterol sugiere el enlace de los ácidos biliares a la fibra dietética impidiendo su reabsorción y estimulando la conversión del colesterol a más ácidos biliares. Un estudio reciente (Kahlon y Woodruff, 2003) sugiere que el enlace de los ácidos biliares está relacionado con la fibra dietética insoluble y su interacción con sitios activos de enlace.

Estudios recientes (Hallfrisch y Behall, 2003. Hallfrisch et al, 2003) sugieren el aumento en el consumo de fibra dietética, específicamente de avena y cebada, debido a sus efectos positivos como la reducción en el riesgo de padecer cáncer de colon, y disminución de la concentración de colesterol y glucosa en sangre.

La fibra dietética en avena está representada principalmente por la goma de avena que está constituida en un 70% por (1-3)(1-4)- β -D-glucanos (conocidos simplemente como β -glucanos), que se encuentran en mayor concentración en la capa subaleurona y en el salvado de avena, y a los que se atribuyen los efectos hipocolesterolémicos e hipoglucémicos de la misma (Wood et al, 1990. Wood et al, 1991. Hallfrisch y Behall, 2003. Hallfrisch et al, 2003) razón por la cual los investigadores han puesto mayor interés en ellos y por lo tanto, los siguientes apartados se referirán exclusivamente a ellos.

4.3.1 Estructura

Los β -glucanos son polisacáridos lineales compuestos por enlaces mezclados (1-3) y (1-4) de unidades de β -D-glucopiranosil en diferentes proporciones.

Una hidrólisis completa del polímero purificado muestra que este contiene solo glucosa y una hidrólisis parcial da como resultado productos como celobiosa, laminarosa y celotriosa.

La molécula está constituida por bloques de celotriosa y celotetraza separados por enlaces (1-3), existen cadenas mayores que la celotetraza con enlaces (1-4), pero en cantidades menores.

La celulosa es una molécula parecida a los β -glucanos, pero está constituida sólo por enlaces (1-4)- β -D-glucopiranosil lo que le da una estructura altamente cristalina, rígida e insoluble. Los enlaces (1-3) rompen la estructura uniforme de la molécula de β -glucano haciéndola soluble y flexible (Wood, 1986).

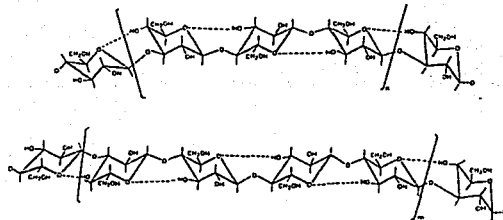


Figura 4.1 Estructura química de los β -glucanos
(Escárcega P. J., 2001)

Los "bloques" que constituyen la molécula de β -glucanos han sido bien estudiados por degradación del polisacárido en oligosacáridos por acción de una β -glucanasa específica denominada "liquenasa" (Wood et al, 1994). Los oligosacáridos obtenidos han sido analizados por cromatografía en gel y HPLC (Izydorczyk et al, 1998). La espectroscopia por resonancia magnética nuclear NMR ha resultado ser un excelente método para obtener información de los componentes estructurales de los β -glucanos (Westerlund et al, 1993). En un estudio reciente (Johansson et al, 2000) se incluyeron todas estas metodologías, además de la electroforesis capilar en la caracterización estructural de los β -glucanos, obtenidos de salvado de avena (en donde se encuentran en mayor concentración), y los resultados obtenidos están en concordancia con los reportados anteriormente por otros autores (Wood, 1986. Westerlund et al, 1993. Wood et al, 1994. Izydorczyk et al, 1998.). El contenido de β -glucanos en el salvado de avena por el método AOAC 995.16 fue de 9.5%. Se obtuvieron dos tipos de β -glucanos con diferentes solubilidades, cuyas masas molares fueron de 1.6 millones para el menos soluble y 1.1 millón para el más soluble, no se encontraron diferencias estructurales entre ambos β -glucanos. El espectro de RMN bidimensional de los β -glucanos aislados mostró que las unidades de glucosa están unidas exclusivamente por enlaces (1-3) y (1-4), además se concluyó que los enlaces (1-3) se encuentran separados, es decir, no se encontró evidencia de enlaces (1-3) consecutivos. Los oligosacáridos producidos por la acción de la enzima "liquenasa", fueron analizados por HPLC y electroforesis capilar, los productos principales fueron celobiosa (trisacárido) y celotriosa (tetrasacárido) que en conjunto representan el 95% del total. También se encontraron celotetra (pentasacárido) y otros oligosacáridos con grado de polimerización mayor a cinco, pero en menores cantidades (Johanson et al, 2000). Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Skendi et al (2003) en un estudio en el que se obtuvieron β -glucanos de avena mediante un proceso que incluía extracción acuosa a 47°C a partir de dos variedades griegas de avena, este proceso también incluía una purificación parcial por ajuste de pH (4.5) a las soluciones de β -glucanos, el resultado fue que se obtuvieron gomas de avena compuestas principalmente por β -glucanos (>85% base seca) y una contaminación por proteínas muy pequeña (<9%

base seca). La distribución de los oligómeros celulósicos en la cadena de β -glucanos fue determinado por un tratamiento con la enzima liquenasa [(1-3)(1-4)- β -D-glucano-4-glucano-hidrolasa] y por cromatografía, como se esperaba los principales productos fueron tri y tetrasacáridos que en total sumaban 90.9-92.3% del total de los oligómeros analizados. Dichos oligómeros se encuentran unidos por enlaces β -(1-4). Los enlaces β -(1-3) rompen la regularidad de la secuencia de enlaces β -(1-4), haciendo la molécula más soluble y flexible. A diferencia del estudio de Johansson et al (2000), en este estudio las masas molares de los β -glucanos fueron menores (0.18- 0.85 $\times 10^6$). Estas diferencias se atribuyen a la diversidad en el origen de las muestras, al método de extracción y a que se ha encontrado que la masa molar de los β -glucanos es mayor cuando se incrementa la temperatura de extracción, por lo que los bajos valores de masa molar obtenidos en el estudio de Skendi se atribuyen principalmente a las condiciones de extracción (agua/ 47°C).

4.3.2 Extracción

Existen dificultades en la completa extracción de β -glucanos libres de contaminación con almidón, pentosanas y proteínas, además de la incompleta extracción de goma de avena y los bajos rendimientos de β -glucanos observados.

La extracción con agua a temperatura ambiente se cuenta entre los primeros intentos por aislar β -glucanos a partir de avena, sin embargo, se observó que se obtenía un producto degradado por enzimas endógenas del grano y era necesario realizar antes una desnaturalización de dichas enzimas por reflujo con etanol al 75-80%. Posteriormente se realizó una extracción de β -glucanos que esencialmente era un método adaptado de un proceso de molienda húmeda para separar almidón y proteínas de avena. En un tercer método para la extracción de gomas de avena en la que se utilizaron condiciones alcalinas (pH 10) y carbonato en vez de hidróxido de sodio, se observó que la solubilización y gelatinización del almidón disminuían, aún a elevadas temperaturas. También se desarrolló un método para purificar β -glucanos a partir de un extracto crudo de avena y cebada, que permitió la obtención de un producto casi puro, libre de pentosanas, usando 20-30% de sulfato de amonio, cuando este método fue utilizado en combinación con el que utilizaba condiciones alcalinas y se obtuvieron rendimientos de 75-86% con un 98% de pureza de β -

glucanos, sin embargo, las sales de amonio probablemente no serían aceptables en la producción de gomas de avena con grado alimenticio (Wood, 1986). Más recientemente se investigó el efecto de pH-temperatura en la extracción de gomas de avena/ β -glucanos con poca o ninguna contaminación con almidón en salvado de avena y hojuelas de avena; se emplearon tres condiciones de pH (8.0,9.2 y 10.5), cuatro temperaturas (50, 55, 60 y 70° C), el procedimiento de extracción incluyó: a) un tratamiento alcalino a la harina de avena y remoción del residuo de almidón, b) precipitación isoeléctrica del residuo de proteína y c) precipitación alcohólica de la goma de avena/ β -glucanos y obtención de ésta por centrifugación. El extracto de goma obtenido fue de 2.99-6.28% para el salvado de avena y de 1.82-5.24% para la avena en hojuela con un porcentaje de β -glucanos de 70-89% y de 50-68% respectivamente. Los extractos de goma de avena/ β -glucanos a pH 9.2/50°C o pH 10.5/50-55°C mostraron poca o ninguna contaminación con almidón (Dawkins y Nnanna, 1993). Michael Beer et al (1996) utilizaron diferentes metodologías a nivel laboratorio y planta piloto para evaluar su eficiencia en la producción de grandes cantidades de goma de avena de excelente calidad, rica en (1-3)(1-4)- β -glucanos, a partir de salvado de avena. El salvado de avena fue sometido a un tratamiento alcohólico para inactivar las β -glucanasas, posteriormente las gomas fueron extraídas mediante un tratamiento alcalino con carbonato de sodio (pH 10) subsiguientemente se realizó el aislamiento de las mismas por diálisis, ultrafiltración o precipitación alcohólica. Con cualquiera de estos tres métodos fue posible obtener gomas de avena con un contenido de β -glucanos de 60-65%. Los autores concluyeron que para obtener grandes cantidades de goma de avena, la precipitación alcohólica es el proceso a elegir, mientras que la ultrafiltración y diálisis ofrecen buenas alternativas.

4.3.3 Propiedades físicas

Existe muy poca información publicada sobre las propiedades físicas de los β -glucanos de avena. En soluciones acuosas de β -glucanos de avena purificados, se observan rotaciones ópticas de aprox. -8°C a 12°C , valores similares a los de β -glucanos de cebada; valores más negativos indican contaminación con pentosanas y valores más positivos sugieren contaminación con almidón (Luhalo et al, 1998).

Capítulo IV Carbohidratos

Recientemente se estudió la capacidad de los β -glucanos de formar películas o láminas delgadas, y se encontró que las propiedades fisicoquímicas de las películas de β -glucanos, bajo una deformación por tensión, son dependientes del peso molecular del polímero y del contenido de plastificante (agua y sorbitol). El sorbitol añadido como plastificante, mejora la extensibilidad, pero disminuye la fuerza mecánica de la película. Todo esto es de gran interés, ya que dichas películas, potencialmente ofrecen la posibilidad de ser utilizadas en materiales de empaque biodegradables, probablemente comestibles, que pudieran utilizarse como barrera selectiva en el transporte de vapores, gases y solutos, además de poder ser transportadores de algunos aditivos como antioxidantes, saborizantes o agentes antimicrobianos. Sin embargo es necesario realizar una mayor investigación al respecto (Skendi et al, 2003).

Luhalo et al (1998) estudiaron la contribución de los β -glucanos, proteínas y almidón en el desarrollo de viscosidad mediante la adición de β -glucanasas, pancreatina y amiloglucosidasa a suspensiones de salvado de avena y observaron que el principal responsable en el desarrollo de viscosidad característico de la avena fueron los β -glucanos, aunque también existe cierta participación de las proteínas, ya que al agregar enzimas proteolíticas a dichas suspensiones, disminuyó un poco la viscosidad.

La goma de avena, rica en β -glucanos, presenta altas viscosidades a bajas concentraciones, es extremadamente pseudoplástica a concentraciones $\geq 0.5\%$, es estable en soluciones de sacarosa (40%) y en sal. Se compara favorablemente con las altas viscosidades que presentan algunos polisacáridos neutros como la goma guar y algunas celulosas sustituidas, por lo que potencialmente pudiera utilizarse como un nuevo hidrocoloide (Wood, 1986. Wood et al, 1990.).

Autio et al (1987) observaron que las soluciones de β -glucanos de avena, temporalmente disminuyen su viscosidad al aumentar la temperatura, sugiriendo que éstos pudieran tener aplicaciones en productos cuya fluidez sea deseable a altas temperaturas seguida de un espesamiento del producto al enfriar.

Debido a sus propiedades espesantes, característica de los hidrocoloides en alimentos, los β -glucanos de avena, pudieran tener varias aplicaciones como

espesante en helados, salsas y aderezos para ensaladas (Carr et al, 1990). Ya se ha patentado un nuevo proceso para producir sustitutos de grasas a partir de granos de cereales (Inglett, 2000), este proceso incluye extracción con agua de β -glucanos del endospermo de avena y cebada, obteniendo hidrocoloideos que pueden ser utilizados como sustitutos de crema y otros ingredientes con alto contenido de grasa utilizados en productos de panificación, postres helados, productos carnicos y aderezos para ensaladas (Inglett, 2001). Dichos extractos de avena y cebada conservan los efectos positivos de disminución de colesterol y glucosa en sangre, así como disminución en factores de riesgo de algunas enfermedades crónicas como arterosclerosis o cáncer de colon (Hallfrisch y Behall, 2003, Hallfrisch et al, 2003). Sin embargo, aún es necesario realizar una mayor investigación sobre los métodos de extracción y aislamiento para hacerlos factibles a nivel industrial, además de la evaluación de este potencial hidrocoloide en numerosas formulaciones y sistemas alimenticios como un intento de hacer viable su comercialización a gran escala.

4.3.4 Factores que afectan el contenido de β -glucanos

4.3.4.1 Factores ambientales

Existen diferentes factores ambientales que pueden contribuir al contenido de β -glucanos en el grano, entre los que se encuentran el lugar geográfico de cultivo, año, precipitación pluvial, y fertilizantes nitrogenados.

El lugar geográfico de cultivo influye en el contenido de β -glucanos debido a la variedad en las condiciones climáticas de cada lugar. Peterson (1991) encontró diferencias significativas en el contenido de β -glucanos de diferentes variedades de avena cultivadas en varios lugares de Estados Unidos, los estados en donde se obtuvo una mayor concentración de β -glucanos fueron Dakota del Sur, Illinois y Nueva York y en los que se obtuvo una menor concentración fueron Iowa, Idaho, e Indiana.

En otro estudio se encontró una amplia variación en el contenido de β -glucanos a partir de salvado de avena proveniente de cinco diferentes países entre los que se encuentran Australia (4.7%), Dinamarca (5.8%), Finlandia (6.2%), Noruega (6.4%) y Suecia (8.3%) (Luhalo et al, 1998).

Capítulo IV Carbohidratos

Se ha notado que el año de cultivo tiene un efecto significativo en la concentración de β -glucanos (Brunner y Freed, 1994, Givens et al, 2000), efecto atribuido a la variación en la precipitación pluvial entre año y año. Las altas precipitaciones se relacionan con bajas concentraciones de β -glucanos. Se ha especulado sobre los posibles mecanismos por los cuales el nivel de β -glucanos se ve reducido como resultado de la lluvia, estos incluyen: a) degradación de los β -glucanos, b) reducción en la síntesis de β -glucanos, c) modificación de los β -glucanos a polímeros inaccesibles para la β -glucanasa empleada en las determinaciones de β -glucanos y d) lixiviación de la glucosa, precursora de los β -glucanos (Aastrup, 1979). Peterson (1991) encontró una concentración significativamente alta de β -glucanos en algunas variedades de avena cultivadas en dos localidades semidesérticas de Idaho (EUA), pero debido a que fueron irrigadas artificialmente, estos resultados no pueden atribuirse a una variable climática. Este autor sugiere que en un futuro se realicen experimentos en ambientes controlados para identificar las variables que afectan la concentración de β -glucanos.

Existe cierta controversia en cuanto al efecto de los fertilizantes nitrogenados en el contenido de β -glucanos en el grano de avena, ya que mientras Brunner y Freed (1994) y Welch et al (1991) afirman que al aumentar la concentración de fertilizantes nitrogenados también aumenta el contenido de β -glucanos en el grano, Humphreys et al (1994) y Givens et al (2000) no encontraron efectos significativos en el contenido de β -glucanos por adición de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, dichas discrepancias pueden explicarse por el hecho de que en el estudio de Welch se aplicó fertilizante adicional durante la siembra, mientras que en el de Humphreys el nitrógeno adicional se aplicó quizá demasiado tarde en el desarrollo de la planta como para que pudiera influir significativamente en la síntesis de β -glucanos.

El efecto de la variedad en estos estudios no debe minimizarse. En un estudio (Aman y Graham, 1987) con 42 variedades de avena se encontró una variación en el contenido de β -glucanos de 22 a 42 g/Kg, mientras que en otro estudio (Welch y Lloyd, 1989) se reportaron valores de 32 a 63 g/Kg de β -glucanos para 100 diferentes genotipos de avena. Más recientemente (Lim et al, 1992a) reportaron concentraciones de β -glucanos de 38 a 61 g/Kg para 102 variedades de avena incluyendo variedades comerciales y experimentales. Si bien las interacciones

genotipo-condiciones ambientales suelen ser una significativa fuente de variación en el contenido de β -glucanos, el efecto del genotipo es generalmente constante en diferentes condiciones ambientales (Lim et al, 1992), es por esto que si bien las variaciones climáticas pueden influir en el contenido de β -glucanos, es necesario realizar experimentos en ambientes controlados para identificar las variables que puedan afectar la concentración de los mismos.

4.3.4.2 Procesamiento

Se ha observado que el peso molecular y la viscosidad de soluciones de goma de avena extraída por diferentes técnicas de procesamiento difirieron dependiendo del proceso de producción empleado. Mediante diálisis se obtuvieron gomas de alta viscosidad, mientras que la ultrafiltración y precipitación alcohólica rindieron gomas con baja viscosidad en solución (Beer et al, 1996). Beer et al (1997) estudiaron los cambios en la solubilidad (extractabilidad) y peso molecular de los β -glucanos de salvado de avena durante su procesamiento y almacenamiento, y observaron que durante el procesamiento, es decir, el horneado de panecillos elaborados con salvado de avena, disminuyó el peso molecular pero aumentó la solubilidad de los β -glucanos. Ya anteriormente se había notado una asociación entre la disminución del peso molecular y el aumento de la solubilidad. El aumento de la solubilidad o concentración en solución incrementa la viscosidad, mientras que el decremento en el peso molecular disminuye la viscosidad. En el caso de los panecillos elaborados con salvado de avena, los autores consideran que el efecto del aumento en la solubilidad sobre la viscosidad de los β -glucanos será mayor, en términos fisiológicos, que el efecto de la disminución del peso molecular, sin embargo es necesario realizar estudios posteriores que evalúen esta hipótesis. El por ciento de β -glucanos solubles tiene un amplio margen de variación (24-86%) dependiendo de la materia prima utilizada y de las condiciones de extracción empleadas.

El uso de levaduras en un proceso fermentativo aplicado al salvado de avena disminuye el peso molecular y viscosidad de los β -glucanos y aumenta su solubilidad, esto pudiera ser benéfico ya que se hidrolizarían las partículas rígidas de salvado permitiendo la interacción gluten-proteína en un proceso hipotético de parificación, sin embargo, la disminución en el peso molecular y viscosidad pueden

Capítulo IV Carbohidratos

afectar las propiedades reológicas del salvado de avena en diferentes sistemas alimentarios y disminuir sus propiedades fisiológicas benéficas (Degutyte-Fomins L. et al, 2002).

4.4 β -Glucanasas

Existe muy poca información publicada sobre la actividad β -glucanasa en avena, mientras que para la cebada existe mucha más información. Se han reportado tres tipos principales de endo- β -D-glucanasas en cebada, llamadas endo-(1-4)- β -D-glucanasa, endo-(1-3)- β -D-glucanasa, y endo-(1-3)(1-4)- β -D-glucanasa. Normalmente las mediciones de las actividades de dichas enzimas se realiza mediante análisis de viscosidad utilizando O-(carboximetil)celulosa u O-(hidroximetil) celulosa y β -glucanos de cebada o de avena.

Las actividades de las tres endo- β -glucanasas fueron medidas en harina de avena sin germinar, utilizando β -glucanos de avena como sustrato de la endo-(1-3)(1-4)- β -D-glucanasa; la siguiente tabla muestra los resultados encontrados comparados con muestras de la variedad Hinoat y una muestra de la variedad Rodney.

Tabla 4.2 Actividad endo β -glucanasa en harina de avena.

Muestra	Sustrato	Enlace	Actividad
Hinoat (1975)	HEC	β -(1-4)	2.9
	CMC	β -(1-3)	46.2
	GO	β -(1-4)(1-3)	9.5
Hinoat (1973)	HEC	β -(1-4)	1.0
	CMC	β -(1-3)	49.3
	GO	β -(1-4)(1-3)	3.3
Rodney (1967)	HEC	β -(1-4)	1.1
	CMC	β -(1-3)	12.7
	GO	β -(1-4)(1-3)	3.5

Fuente: Wood P.J., 1986.

Notas: HEC = O-(hidroxietil) celulosa; CMC = O-(carboximetil) celulosa; OG = Goma de avena.

Se observaron los tres tipos de actividad en cada harina y en cada caso los valores numéricos para cada actividad tuvieron el siguiente orden (1-3)>(1-3)(1-

4)>(1-4). Sin embargo, estos valores dependen en gran medida de las propiedades del sustrato. La actividad de la endo-(1-3)- β -glucanasa se muestra como significativamente mayor. Las enzimas utilizadas en la obtención de los resultados de la tabla, fueron aisladas por extracción con un buffer de acetatos y precipitación con sulfato de amonio. El uso de precipitación alcalina, como preparación de la goma, seguido de neutralización, precipitación, diálisis del sobrenadante y liofilización proporcionan un extracto que muestra el 40% de la actividad. Esto demuestra que las β -glucanasas probablemente sean arrastradas a través del proceso de extracción de las gomas. El principal efecto de estas enzimas en las preparaciones de gomas es el decremento en general de la viscosidad.

Se ha descrito una enzima que solubiliza los β -glucanos de cebada en germinación. Esta enzima aparentemente es una carboxipeptidasa que libera los β -glucanos de las paredes celulares del endospermo a partir de una macromolécula péptido- β -glucano. Dicha enzima probablemente se encuentra también presente en la avena (Wood, 1986).

4.5 Efecto de la fibra de avena sobre los minerales de la dieta.

Los efectos potencialmente profilácticos de la fibra dietética en enfermedades como cáncer de colon y arterosclerosis han sido atribuidos, en parte, a su capacidad para enlazar sustancias dañinas en el tracto intestinal. Sin embargo, la fibra dietética también puede interactuar con los minerales necesarios para una dieta balanceada, resultando en un incremento en el riesgo de desarrollar alguna deficiencia de minerales, y sus consecuentes efectos negativos. El decremento en la absorción de minerales puede deberse, además de la capacidad de enlazar iones de la fibra dietética, a otros factores, como disminución del tiempo de tránsito de los nutrientes a lo largo del intestino delgado y dilución. Además, la disminución en la biodisponibilidad puede no deberse enteramente a la fibra sino también a los fitatos en alimentos no refinados, ya que durante el procesamiento y digestión, los fitatos pueden ser degradados a fosfatos de inositol con un bajo grado de fosforilación, reduciendo los efectos adversos del ácido fítico en la absorción de minerales (De Shriver y Conrad, 1992).

En un estudio sobre la biodisponibilidad de calcio, magnesio, fósforo, hierro y zinc en ratas alimentadas con salvado de avena crudo y horneado, se encontró que

Capítulo IV Carbohidratos

la fibra de avena posee una mayor afinidad por el calcio y magnesio que por los demás minerales y que al hornear el salvado de avena, simulando el proceso de panificación, la capacidad para ligar dichos minerales aumentó aún más, lo que los autores atribuyen al cambio en la composición de la fibra de avena, ya que durante este proceso 27% de los β -glucanos solubles se volvieron insolubles, aunado a esto, se observó una significativa reducción en el tiempo de tránsito de los alimentos por el intestino al ser incorporado el salvado de avena a la dieta de las ratas (De Shriver y Conrad, 1992).

Algunos estudios *in vitro* muestran que el enlace de minerales a la fibra dietética puede variar dependiendo de la fuente y tipo de fibra, la metodología empleada, y las condiciones del experimento (concentración de minerales y pH). La presencia o ausencia de otros factores como el ácido fítico, ácido oxálico y proteínas pueden aumentar o disminuir el enlace de minerales dificultando la diferenciación entre los efectos de la fibra dietética y otros factores. Thomson y Weber (1981) estudiaron la capacidad de ligar cobre, zinc y hierro en salvados de trigo, maíz, soya, arroz, cascárrilla de avena y celulosa a pH 6.5 y 6.8. Los autores encontraron que tanto el pH como el tipo de fibra afectan la capacidad para ligar minerales. Otros investigadores (Camire y Clydesdale, 1981) indicaron que el salvado de trigo y otras fracciones de fibra dietética (celulosa y lignina) tienen una gran capacidad para ligar calcio, magnesio, hierro y zinc. La celulosa posee una baja capacidad para enlazar minerales, mientras que la lignina y pectina poseen una fuerte capacidad de enlace. Se encontró que la capacidad para ligar minerales es dependiente del pH. Casterline y Ku (1993) estudiaron los efectos del pH, concentración de minerales y tiempo de incubación en la capacidad de enlazar zinc del salvado de trigo, fibra de manzana y fibra de avena, encontrando un máximo a pH 7.2 y una concentración inicial de 220 μg de zinc/g de fibra dietética incubada 24 h. Otros investigadores (Idouaine et al, 1996) estudiaron la capacidad de enlazar calcio, magnesio, cobre, y zinc solos y en diferentes combinaciones a pH 7.0 en salvado de trigo, salvado de arroz y fibra de avena y encontraron que la capacidad para enlazar minerales solos o en combinación con otros varía considerablemente, dependiendo de la fuente de fibra dietética, el tipo de minerales y el número de combinaciones. En términos generales, el salvado de trigo enlazó significativamente más calcio y magnesio, ya sea solo o

en combinación, que el salvado de arroz o que la fibra de avena respectivamente. La fibra de avena ligó significativamente más cobre que los salvados de arroz y trigo respectivamente. El zinc solo o en combinación con otros minerales se enlazó más en el salvado de trigo que en el de arroz o que en la fibra de avena.

Los autores proponen que las diferentes fuentes de fibra dietética poseen sitios específicos para enlazar minerales, de ahí que cada tipo de fibra tenga mayor afinidad por un cierto mineral que por otro. Además la composición en las diferentes fuentes de fibra dietética y algunos compuestos asociados como el ácido fítico y ácido oxálico pueden causar la capacidad específica para enlazar minerales. Sin embargo, los agentes quelantes naturales juegan un papel importante en la solubilización de los minerales de la dieta y elementos traza, aumentando así su biodisponibilidad. Ekholm et al (2000) estudiaron el efecto de seis agentes quelantes naturales (ácidos cítrico, láctico, málico y ascórbico, glucosa y xilitol) comunes en los alimentos en la solubilidad de calcio, potasio, magnesio, hierro zinc y manganeso presentes en el salvado de avena y avena en hojuelas (como fuentes de fibra dietética). Bajo la premisa de que los componentes de la fibra dietética como celulosa, hemicelulosa, pectinas, β -glucanos, otros polisacáridos y lignina pueden formar complejos insolubles con los minerales, reduciendo su biodisponibilidad y que en sentido opuesto algunos agentes quelantes naturales presentes en los alimentos vuelven solubles dichos minerales aumentando su biodisponibilidad, los autores encontraron que el alto contenido de fibra de salvado de avena posee una mayor capacidad para captar minerales que la avena en hojuelas cuyo contenido de fibra es menor. La solubilidad de los minerales se ve aumentada en presencia de agentes quelantes naturales. Apparently los grupos carboxilo son la parte más importante de la molécula en formar compuestos complejos solubles. Los grupos hidroxilo por si solos (glucosa y xilitol) no parecen afectar la solubilidad de los minerales en estudio. Así, al parecer es posible aumentar la biodisponibilidad de los minerales de importancia biológica mediante el consumo de alimentos que contengan principalmente ácido cítrico, de tal forma que se aumente la absorción de minerales debido a su capacidad para incrementar la solubilidad de los mismos.

4.6 CASCARILLA

La cascarilla es la capa más externa del grano de avena, y representa del 25 al 30% del peso total del grano (Hoseney, 1991), posee una gran cantidad de celulosa, polisacáridos insolubles no celulósicos y lignina, lo que la hace una excelente fuente de fibra dietética (Smith et al, 1980).

Debido a que la fibra insoluble es deseable en la dieta humana, para mantener saludable la función colónica y reducir la constipación, resultaría interesante utilizar la cascarilla de avena como fuente de fibra insoluble adicional al salvado de trigo.

Los efectos del consumo de cascarilla de avena ya han sido estudiados en animales (Smith et al, 1980. De Shriver y Conrad, 1992.), sin embargo, recientemente se realizó un estudio sobre el efecto de la cascarilla de avena en la función del colon en humanos saludables (Stephen et al, 1997). Los voluntarios fueron 10 varones de entre 20 y 37 años de edad, con un índice de masa corporal (IMC) de 23.7 ± 2 , que participaron en el estudio de ocho semanas de duración, de las cuales 2 períodos de 3 semanas fueron de estricto control dietario; las 3 primeras semanas los voluntarios consumieron una dieta típica norteamericana y durante las siguientes 3 semanas, 25g de fibra de cascarilla de avena fueron incorporados a los alimentos. Al final del experimento el peso fecal incrementó de 113 ± 10.4 g a 155 ± 10.8 g por día, sin ningún cambio en el tiempo de tránsito de los lípidos del suero. Se realizó un análisis de heces y se encontró que no había ocurrido ninguna degradación o fermentación de la cascarilla de avena y por lo tanto se concluyó que la cascarilla de avena es resistente a la fermentación en el colon humano, no produce flatulencia, no tiene efecto en los lípidos, pero tampoco tiene la ventaja de los β -glucanos de ser hipocolesterolémico ni hipoglucémicos.

CAPÍTULO V PROTEÍNAS

Cuando una determinada especie vegetal acumula proteína en cantidades apreciables, ésta se denomina "proteína de almacenamiento" (Cheftel et al, 1993); éste es el caso de la avena (*Avena sativa* L.) cuyo contenido proteico es muy superior al de los demás cereales y va del 13 al 20%. El equilibrio de sus aminoácidos es muy bueno desde el punto de vista de la nutrición, ya que se equipara favorablemente con la proteína estándar establecida por la Organización para la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) (Peterson y Brinegar, 1986. Hoseney, 1991). Presumiblemente la principal razón del gran valor nutritivo de la avena es el alto porcentaje de globulinas, que representa la fracción soluble en soluciones salinas (aprox. 55%), la cual posee una mayor cantidad de lisina que las otras fracciones proteicas como las glutelinas, solubles en soluciones alcalinas o ácidas (20-25%), las prolaminas que en la avena se denominan "aveninas" y son solubles en soluciones alcohólicas (10-15%) y las albúminas que representan la fracción soluble en agua (9-20%) que se considera está constituida principalmente por enzimas (Peterson y Brinegar, 1986). Adicionalmente al valor nutritivo de las proteínas de avena, se han reportado cifras de digestibilidad verdadera que van de 90.3 a 94.2%, valor biológico de 74.5 a 79.6%, utilización neta de la proteína de 69.1 a 72.4% y una relación de eficiencia proteica de 2.25 a 2.38 (Eggum et al, 1989. Eggum y Gullord, 1983).

A pesar del gran contenido de globulinas ricas en lisina, éstas no son suficientes como para que la avena deje de ser, como los demás cereales, limitante en lisina, y en metionina y treonina como aminoácidos limitantes secundarios. Además de estas desventajas nutricionales, la avena tiene la desventaja de no formar gluten, por lo que se tiene la inquietud de que mediante la manipulación genética se mejore la calidad de la proteína de trigo al transferir los genes que sintetizan la proteína de avena en este, o de forma contraria transferir los genes que sintetizan el gluten de trigo a la avena y de esta forma favorecer la elaboración de pan a partir de harina de avena (Lockhart y Hurt, 1986).

A pesar de todas las ventajas nutritivas, el consumo de avena está destinado principalmente a la alimentación animal. De esto se desprende la necesidad de crear mayores aplicaciones de este cereal para la alimentación humana.

5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

5.1.1 Contenido proteico

El contenido proteico que se reporta para la avena va de 13 a 20%, esta variación puede deberse a diversos factores entre ellos la variedad, prácticas de cultivo, factores ambientales y procedimientos analíticos utilizados para su cuantificación.

Tabla 5.1 Contenido proteico de la avena descascarillada

Fuente	% de proteína	No. de variedades empleadas
Kirk y Sawyer (1991)	13.0	---
Matz S.A. (1991)	13.1-16.9	---
Gibinski M. (2000)	13.79	19
Peterson y Brinegar (1986)	12.4-24.4	289
Lockhart y Hurt (1986)	15.1	---

La avena se reconoce por poseer la más alta concentración de proteína comparada con los demás cereales que comúnmente se consumen alrededor del mundo (Lockhart y Hurt, 1986).

Se considera que del 85 al 94 % del contenido de nitrógeno en la avena se encuentra formando grupos amida o amino, así que los datos reportados como proteína en avena son producto de las determinaciones del contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl multiplicado por el factor 6.25 (Matz, 1991).

5.1.2 Clasificación de las fracciones proteicas de acuerdo a su solubilidad

Las principales fracciones proteicas de la avena son las globulinas, glutelinas, prolaminas y albúminas, las cuales son solubles en soluciones salinas, soluciones alcalinas o ácidas, en soluciones alcohólicas y en agua respectivamente.

Generalmente son obtenidas por la técnica de Osborne o alguna variación de ésta, a partir de granos descascarillados y desengrasados. En términos generales las globulinas representan aproximadamente el 55% de la fracción proteica total, las glutelinas de 20 a 25%, las prolaminas de 10 a 15 % y las albúminas de 9 a 20%.

En la mayoría de los cereales la fracción proteica predominante está representada por las prolaminas, sin embargo, en la avena las globulinas constituyen la fracción predominante y es a la que se le atribuye el alto valor nutritivo de las proteínas de avena, debido a su mayor concentración de lisina con respecto a las demás fracciones.

Las prolaminas de la avena se denominan "aveninas" y contrario a lo que ocurre en los demás cereales constituyen una fracción minoritaria en el contenido proteico de la avena. Las albúminas representan la fracción minoritaria de las proteínas de avena y se considera que están constituidas principalmente por enzimas (Hoseney, 1991. Peterson y Brinegar, 1986. Matz, 1991).

5.1.3 Composición de aminoácidos

El contenido de aminoácido en las proteínas de avena es muy bueno desde el punto de vista de la nutrición, ya que se equipara favorablemente con la proteína estándar establecida por la FAO (Hoseney, 1991). En un estudio realizado por Robbins et al (1971) en donde se analizaron 289 muestras de avena descascarillada que representaban 228 variedades y 61 genotipos experimentales, se encontró una variación en la concentración de proteína en el grano de avena de 124 a 244 g de proteína / Kg en base seca. El promedio en la composición de aminoácidos de 289 muestras de granos de avena descascarillados se muestra en la siguiente tabla comparativa en donde se observa que otros autores reportan valores de composición muy similares.

Capítulo V Proteínas

Tabla 5.2 Composición de aminoácidos de diferentes variedades de avena comparado con el patrón de referencia establecido por la ONU/FAO/OMS (g aminoácidos/ Kg de proteína total).

Aminoácido	Promedio de 289 Variedades (Robbins y Pomeranz, 1971)	AC Hill ^a (Zarkadas et al, 1995)	ACLotta ^a (Zarkadas et al, 1995)	Newman ^a (Zarkadas et al, 1995a)	ACStewart ^a (Zarkadas et al, 1995a)	UFP-15 ^a (Pedó et al, 1999)	UFP-16 ^a (Pedó et al, 1999)	FAO/OMS/ONU (1985)
Ácido aspártico	89	72.55	79.55	76.42	69.45			
Treonina	33	28.86	32.35	31.54	32.48	26.8	28.3	34
Serina	42	42.39	44.22	43.28	45.54			
Ácido glutámico	239	232.06	223.18	223.26	229.23			
Prolina	47	60.92	52.84	56.67	47.44			
Glicina	49	44.61	41.95	43.28	44.78			
Alanina	50	45.08	46.38	42.32	43.89			
Cisteína	16	43.53	55.00	47.29	41.62			
Valina	53	56.62	53.13	55.96	54.60	36.8	37.3	35
Metionina	25	14.94	13.83	15.20	16.59	33.4 ^b	36.5 ^b	25 ^b
Isoleucina	39	43.29	41.66	40.46	42.21	33.2	38.0	28
Leucina	74	79.00	75.41	76.19	77.87	79.8	69.4	66
Tirosina	31	42.80	40.57	40.94	43.39			
Fenilalanina	53	53.75	53.06	51.95	57.28	63.0 ^c	76.8 ^c	63 ^c
Histidina	22	24.79	25.00	28.85	27.10	21.9	18.6	19
Lisina	42	37.07	38.43	41.89	42.43	40.0	36.2	58
Arginina	69	61.95	68.04	71.58	68.04			
Triptofano		16.65	16.05	15.25	15.97	11.6	11.2	11

Notas: Datos entre paréntesis indican referencia. ^a Nombre de la variedad. ^b Valores para metionina+ cisteína. ^c Valores para fenilalanina+tirosina.

5.2 LOCALIZACIÓN EN EL GRANO

Las proteínas en el grano de avena descascarillado no se encuentran distribuidas uniformemente.

Tabla 5.3 Distribución de las proteínas y aminoácidos en las diferentes partes estructurales del grano.

Proteína / aminoácido	Grano entero	Eje embrionario	Escutelo	Salvado	Endospermo
Proteína	13.8	44.3	32.4	18.8	9.6
Lisina	4.5	8.2	6.9	4.1	3.7
Histidina	2.4	3.9	3.6	2.2	2.2
Amonio	2.7	1.9	1.8	2.5	2.9
Arginina	6.8	8.3	9.0	6.8	6.6
Ácido aspártico	8.7	10.2	9.7	8.6	8.5
Treonina	3.4	5.0	4.7	3.4	3.3
Serina	4.6	4.8	5.0	4.8	4.6
Ácido glutámico	21.7	14.2	14.9	21.1	23.6
Prolina	5.5	3.3	3.6	6.2	4.6
Cistina	2.1	0.5	1.0	2.4	2.2
Glicina	5.2	6.3	6.2	5.4	4.7
Alanina	5.0	7.2	6.9	5.1	4.5
Valina	5.5	6.0	6.2	5.5	5.5
Metionina	2.2	2.2	2.1	2.1	2.4
Isoleucina	3.9	3.9	3.8	3.8	4.2
Leucina	7.6	7.1	7.1	7.4	7.8
Tirosina	3.0	2.9	3.0	3.5	3.3
Fenilalanina	5.2	4.2	4.4	5.1	5.6

Fuente: Peterson y Brinegar, 1986.

En tabla anterior se muestra que el eje embrionario posee el mayor porcentaje de proteína y el endospermo feculento el menor, mientras que los valores para el escutelo y el salvado fueron intermedios. Sin embargo, debido a que el escutelo y el eje embrionario constituyen solamente un 3% del peso total del grano descascarillado, su contribución a la proteína total del grano es muy pequeña. En términos generales se considera que el salvado contribuye al 49% y el endospermo feculento al 45% de la proteína total del grano descascarillado.

Puede notarse una similitud entre la composición de aminoácidos del eje embrionario y del escutelo y entre el salvado y el endospermo feculento. Sin embargo, el germen posee una mayor concentración de aminoácidos básicos, ácido aspártico-asparagina, treonina, glicina, alanina y valina, mientras que el endospermo posee mayor cantidad de ácido glutámico-glutamina, isoleucina, leucina y fenilalanina (Peterson y Brinegar, 1986).

Las proteínas de almacenamiento en el endospermo de los cereales se encuentran principalmente como "cuerpos proteicos" (Weber y Newman, 1980). En algunas especies, como el trigo, los cuerpos proteicos son degradados por deshidratación al madurar el grano, pero en otros casos, como el de la avena, estos permanecen.

Se han descrito dos tipos de cuerpos proteicos en las carióspsides de los granos de avena. Los cuerpos llamados proteico-carbohidratos y los cuerpos proteicos de la capa aleurona que poseen un cristal globoide central rodeado de una matriz proteica. Se ha confirmado que la naturaleza del globoide es de ácido fítico. Reacciones histoquímicas indican que los cuerpos proteico-carbohidratos representan el mayor sitio de depósito de niacina.

Los cuerpos proteicos en el grano maduro varían en tamaño de aproximadamente 0,3 a 5,0 μm , su forma es irregular y son morfológicamente distintos los que se encuentran en el endospermo feculento de los que se encuentran en la capa aleurona (Peterson y Brinegar, 1986).

A pesar de que se han encontrado grandes similitudes en la composición de los cuerpos proteicos del endospermo y de la capa aleurona, como el contenido de globulina y prolaminas, se ha encontrado que éstos no son idénticos en su composición (Donhowe y Peterson, 1983).

5.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PROTEICA DE LA AVENA *IN VIVO*

Varios autores han evaluado la calidad nutrimental de la avena por métodos químicos y biológicos, y sus resultados confirman el gran valor nutritivo de la avena y su proteína.

Adicionalmente al buen balance de aminoácidos de la proteína de avena es necesario conocer la biodisponibilidad de la misma, esto se hace mediante ensayos biológicos con ratas, los cuales tienden a subestimar la calidad de la proteína de avena, debido a que las ratas tienen requerimientos mayores de aminoácidos sulfurados que los humanos (Torum et al, 1981).

El valor nutritivo de la proteína de avena fue reportado por Eggum y Gullord (1983) y Eggum et al (1989) quienes encontraron una digestibilidad verdadera de la proteína de avena de entre 90.3 y 94.2 %, un valor biológico de 74.5 a 79.6%, una utilización neta de la proteína (NPU) de 69.1 a 72.4 y una relación de eficiencia proteica (PER) de 2.25 a 2.38.

En un estudio reciente realizado para evaluar la calidad proteica de cuatro cultivares de avena, adaptados para su cultivo en el sur de Brasil (Pedó et al, 1999), se encontraron resultados muy similares a los reportados en la literatura y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.4 Índices del valor nutritivo de la proteína de cuatro variedades de avena basados en un experimento de balance de nitrógeno.

Variedades o fuente de proteína	Digestibilidad aparente (Da %)	Valor biológico aparente (Vba%)	Utilización neta de la proteína (NPUa %)	Taza de la eficiencia proteica (PER)
UFP-15	81.61	80.56	65.70	2.43
UFP-16	80.41	81.42	65.34	2.41
CTC-03	82.80	81.41	66.10	2.44
UFRGS-14	85.67	78.78	67.20	2.46
Caseína	93.80	79.96	75.00	2.96
Promedio	84.86	80.39	67.86	2.43

Fuente: Pedó et al. 1999.

La digestibilidad aparente fue significativamente mayor en la dieta de caseína seguida de las variedades UFRGS-14 y CTE03, siendo las variedades UFP-15 y UFP-16 las que registraron valores menores. En el caso del valor biológico no se encontraron diferencias significativas entre la dieta de caseína y los cuatro cultivares de avena. En el caso del %NPU la dieta de caseína fue estadísticamente superior a los cuatro cultivares de avena y no se encontraron diferencias significativas entre cultivares.

Sawar et al (1989) reportaron una digestibilidad proteínica de avena de 82%, muy similar a los resultados reportados en este estudio. La FAO reporta una digestibilidad verdadera para avena en humanos de 86% (FAO/WHO/Expert Consultation, 1990).

La digestibilidad proteínica de la avena fue superior a los valores encontrados para trigo (77%), arroz (67.6%) y maíz (80.1%) (Hernández et al, 1984).

Los resultados reportados para el valor biológico aparente fueron superiores a los reportados anteriormente (Eggum et al, 1989) que van de 74.5 a 79.6%. El promedio en los valores de %NPUa fue ligeramente inferior al valor de 70% reportado anteriormente (Eggum y Gullord, 1983. Eggum et al, 1989). El promedio de PER para las cuatro variedades de avena fue el 82% del PER para caseína y no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) en el PER de los cuatro cultivares. El valor promedio de PER reportado para las cuatro variedades de avena fue ligeramente mayor al reportado anteriormente que va de 2.25 a 2.38 (Eggum y Gullord, 1983. Eggum et al, 1989).

5.4 FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO PROTEICO

5.4.1 Maduración

El contenido proteico de la avena aumenta durante su maduración. El balance de aminoácidos de la proteína cruda total cambia significativamente durante la maduración, mientras que, el contenido de lisina, ácido aspártico-asparagina, treonina, alanina e isoleucina disminuye, mientras que el contenido de prolina, cistina, ácido glutámico-glutamina, tirosina y fenilalanina aumenta. Estos cambios en los niveles relativos de aminoácidos reflejan la diferencia en la síntesis de las fracciones proteicas al principio y al final de la maduración.

Los porcentajes de albúmina y glutelina tienden a declinar mientras que los porcentajes de globulina y prolamina aumentan con la maduración. Debido a que estas fracciones poseen diferentes características de composición de aminoácidos, el balance total de los mismos se ve afectado (Peterson y Brinegar, 1986).

5.4.2 Germinación

Durante las primeras etapas de la germinación las proteínas de almacenamiento son hidrolizadas por proteasas y los aminoácidos residuales son transportados hacia el embrión en desarrollo para ser utilizados en la síntesis de proteínas necesarias para el crecimiento del brote y la raíz. Las nuevas proteínas sintetizadas poseen una composición de aminoácidos diferente a las de las proteínas del endospermo, lo cual puede explicar el incremento en el valor nutricional relativo de la avena de 85% a 91% en la avena germinada (Peterson y Brinegar, 1986).

Recientemente se han publicado artículos sobre la caracterización del sistema proteolítico de la avena mediante la investigación de las enzimas que hidrolizan globulinas y aveninas en avena germinada (Mikola y Jones, 2000. Mikola et al, 2001).

Las globulinas de avena representan la mayor fracción proteica de este cereal, son un heterohexámero con dos diferentes subunidades, la alfa (32500-37500Da) y la beta (22000-24000Da). La cantidad de globulinas disminuye durante la germinación y sólo cantidades despreciables se encuentran presentes tras cinco días de germinación. Para caracterizar las endoproteinasas que hidrolizan las globulinas se utilizaron dos métodos, un método electroforético cualitativo en gel de poliacrilamida (PAGE), en donde se utilizaron las globulinas de avena como sustrato incorporado al gel para determinar cuales enzimas hidrolizaban las globulinas. Los productos de la hidrólisis proteolítica fueron estudiados al hidrolizar las globulinas *in vitro* con las endoproteinasas y los productos fueron analizados por electroforesis en gel de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE). Se encontró que las enzimas que hidrolizan las globulinas son las cistein-proteasas las cuales presentaron su mayor actividad a pH 3.8 y al sexto día de germinación, aunque también tuvieron cierta actividad al inicio de la germinación. Extractos de avena con cuatro días de germinación contenían cistein-proteasas que hidrolizaron

las globulinas *in vitro* para formar un polipéptido de tamaño intermedio con un peso molecular aproximado de 34 500. Las cisteín-proteasas obtenidas del octavo día de germinación hidrolizaron las globulinas en meros de 1h (Mikola y Jones, 2000).

Las aveninas o prolaminas representan una fracción minoritaria en el grano de avena, en contraste con otros cereales cuya fracción mayoritaria está representada por esta fracción. Tienen un peso molecular de 22-33 KDa, están constituidas por dos fracciones (α y β) y, al igual que las globulinas, se encuentran presentes en los cuerpos proteicos del endospermo feculento y la capa aleurona del grano maduro. En la caracterización de las endoproteinasas que hidrolizan las aveninas se llevó a cabo la misma metodología que en el caso de las endoproteinasas que hidrolizan las globulinas, obviamente utilizando como sustrato las aveninas y se obtuvieron resultados similares. Las α -aveninas fueron hidrolizadas a pH 3.8 por las cisteín-proteasas al cuarto día de germinación y las β -aveninas fueron hidrolizadas por enzimas similares al octavo día de germinación, probablemente las α y β aveninas fueron hidrolizadas por diferentes clases de cisteín-proteasas sintetizadas o activadas en diferentes etapas del proceso de germinación. Las cisteín-proteasas obtenidas al octavo día de germinación hidrolizaron completamente las aveninas en 24h (Mikola et al, 2001).

Debido a que las endoproteinasas que hidrolizan globulinas como las que hidrolizan aveninas tuvieron un pH óptimo de 3.8 y ambas fueron cisteín-proteasas, se concluye que aparentemente las cisteín-proteasas son responsables de la mayor parte de la hidrólisis de las proteínas de almacenamiento durante la germinación del grano de avena. Además, debido a que la mejor hidrólisis proteica ocurrió a pH 3.8, mucho menor al medido en un estudio anterior (Mikola y Jones, 2000a) al endospermo del grano de avena en germinación (pH 6.2), los autores concluyen que es posible que existan zonas con diferentes valores de pH y que pudiera ser que el pH fuera menor en los cuerpos proteicos donde se localizan y son hidrolizadas las globulinas y aveninas para que posteriormente los productos de dicha hidrólisis sean transportados al embrión en desarrollo (Mikola y Jones, 2000. Mikola et al, 2001).

5.4.3 Fertilización

El uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de avena aumenta el contenido proteico de la misma (Welch y Young, 1980. Humphreys et al, 1994). Sin embargo existe una relación negativa entre los rendimientos de la cosecha y el contenido proteico del grano (Burrows, 1986), es decir al aumentar el contenido proteico del grano, disminuyen los rendimientos de la cosecha.

La calidad de la proteína de avena no se ve afectada significativamente por la fertilización, ya que al aumentar el contenido proteico durante esta práctica, aumenta la concentración de todas las fracciones proteicas proporcionalmente y por lo tanto la composición de aminoácidos sólo cambia ligeramente o no se ve afectada (Burrows, 1986. Peterson y Brinegar, 1986).

Se observó un ligero aumento en el contenido de glutamina-ácido glutámico, asparagina-ácido aspártico, y fenilalanina, y un ligero decremento en el contenido de lisina, prolina, glicina, metionina y triptofano, al aumentar la cantidad de fertilizante nitrogenado (Peterson y Brinegar, 1986).

5.5 ENZIMAS PROTEOLÍTICAS E INHIBIDORES

Este tema ha sido escasamente estudiado y por lo tanto existe poca información publicada al respecto.

Donhowe y Peterson (1983) encontraron actividad proteolítica (hidrólisis de caseína) en los cuerpos proteicos de la capa aleurona a pH 5-6 en semillas de avena sin germinar, sin embargo, no se encontró dicha actividad en los cuerpos proteicos del endospermo.

Durante el proceso de germinación se presenta la mayor actividad proteolítica. En una serie de artículos que tienen por objetivo caracterizar el sistema proteolítico de la avena se encontró que el pH del endospermo de la avena en germinación es de 6.2 y es a este pH que se presentan las actividades de la serin-proteinasa predominantemente y la de las metaloproteinasas. La actividad azogelatinasa de la avena en germinación aumenta en presencia de una mezcla de calcio y cisteína, en cuyas condiciones la actividad de las cistein-proteinasas es predominante (Mikola y Jones, 2000a).

Sin embargo, es a pH 3.8 que se desarrolla la mayor actividad proteolítica, representada por la cisteín-proteínasa, a la cual se le atribuye la mayor parte de la hidrólisis de las proteínas de almacenamiento durante el proceso de germinación (hidrólisis de globulinas y aveninas) (Mikola y Jones, 2000. Mikola et al, 2001). El hecho de que ocurra una mayor actividad enzimática a pH 3.8 y no a pH 6.2 que es el pH del endospermo en germinación se atribuye al posible bajo pH en los cuerpos proteicos donde se lleva a cabo la hidrólisis.

Los inhibidores de proteasas están ampliamente distribuidos en la naturaleza, éstos regulan la hidrólisis de proteínas y en las plantas sirven de defensa contra el ataque de plagas. Se han encontrado inhibidores de tripsina y quimiotripsina en todos los cereales, y en el caso de la avena sin germinar se han encontrado nueve inhibidores de quimiotripsina y cuatro de tripsina, los cuales fueron clasificados en dos grupos de acuerdo a su estabilidad al calor y al pH (Mikola y Mikkonen, 1999). La mayor parte de los inhibidores (cuatro de quimiotripsina y dos de tripsina) son lábiles e inactivados a 80°C o a pH's menores a 3.3. Los inhibidores restantes son estables y resistentes a la ebullición por 30min. Durante la germinación los inhibidores lábiles son inactivados después de dos días de germinación y los estables después de tres días de germinación.

La mayoría de los inhibidores de tripsina y quimiotripsina son lábiles al calor y sensibles al pH bajo. Estos inhibidores aparentemente son inactivados por serin-proteinasas, ya presentes en el grano sin germinar, por lo que no representan un serio problema al consumir avena.

5.6 USOS EN ALIMENTOS Y FUNCIONALIDAD

La avena es una fuente potencial de proteínas de bajo costo y alto nivel nutricional. Se han obtenido aislados proteicos de avena por distintos métodos como molienda húmeda (59-89% de proteína), extracción alcalina y la subsecuente precipitación isoeléctrica (>90%), clasificación por aire (83-88%) y por separación con disolventes acuosos y no acuosos (48-90% de proteína).

Dichos aislados y concentrados proteicos proveen cualidades funcionales como capacidad de hidratación, actividad emulsificante y estabilización de emulsiones. Sin embargo, aunque en general sus propiedades de solubilidad y emulsificación disminuyen a pH 4-7, poseen cualidades nutritivas: buen balance de

Capítulo V Proteínas

aminoácidos, sabor agradable y propiedades funcionales comparables a las de los aislados proteicos de soya, por lo que constituyen una buena opción para su uso en alimentos y en el desarrollo de nuevos productos.

Se han formulado bebidas ácidas y neutras fortificadas con concentrados proteicos de avena (>4%) con cualidades sensoriales aceptables. La adición de 5 a 10% de concentrados de avena (50% de proteína) a harina de trigo en la elaboración de pan, muestra un ligero decremento en el volumen de la hogaza, pero muy satisfactorias cualidades sensoriales (Peterson y Brinegar, 1986). En otro estudio se observó un aumento en la capacidad de absorción de agua y en la estabilidad de la masa durante el mezclado, pero también un decremento en la extensibilidad y resistencia, así como un aumento en el volumen de la hogaza, un mayor tamaño de grano, una miga de color más oscuro y cierto olor no característico en la elaboración de pan con 3 y 6% de harina de avena con alta concentración de proteína (51.6%) (Lapveteläinen et al, 1994). Existe cierta contradicción en el resultado de ambos estudios, en cuanto al volumen de la hogaza, ya que uno reporta un ligero decremento y el otro un aumento, esto puede deberse a la diferencia en las metodologías e ingredientes empleados en la elaboración del pan, a que en el segundo estudio se muestra que el volumen de la hogaza aumentó con respecto a otro pan fortificado con leche en polvo (3 y 6%), mientras que en la primera referencia no se señala con respecto a qué disminuyó el volumen de la hogaza. En el estudio de Lapveteläinen se esperaba un decremento en el volumen de la hogaza debido al alto contenido de grasa (28%) de la harina de avena.

Ma y Wood (1987) sustituyeron proteína de carne con proteína de avena en la elaboración de una salchicha tipo Viena y observaron un decremento en el rendimiento de la cocción, en la cohesividad y firmeza, pero mediante una fuerte succinilación se mejoró la actuación de la proteína de avena en la emulsión de carne. Otros autores utilizaron 1.5 y 3% de harina de avena rica en proteínas (51.6%) en la elaboración de una salchicha y observaron la formación de una capa externa tipo gel en la superficie del embutido, la cual se atribuyó al bajo pH, en el análisis sensorial se juzgó a las salchichas como menos firmes y menos jugosas que el control (salchichas elaboradas sin harina de avena) por lo que los autores consideran que los productos elaborados a partir de cereales, como los productos de

Capítulo V Proteínas

panificación y galletería, serían más adecuados en la utilización de harinas de avena ricas en proteínas (Lapveteläinen et al, 1994).

El uso de concentrados y aislados proteicos de avena en alimentos depende principalmente de sus propiedades fisicoquímicas, frecuentemente definidas como sus propiedades funcionales, especialmente las emulsificantes, de solubilidad, absorción de agua y formación de espuma (Lapveteläinen y Aro, 1994).

Lapveteläinen y Aro (1994) estudiaron las propiedades funcionales de una harina de avena rica en proteínas (aprox. 50%) y sus resultados coincidieron con los de otros autores, entre los que destacan la baja solubilidad de la proteína (<21%) a valores de pH de 3.5 a 7.0, mientras que a pH 3.0 la solubilidad de la proteína de avena aumentó considerablemente (aprox. 61%). La capacidad de absorción de agua de la harina de avena permaneció relativamente constante (1.0-1.5g/g de muestra) a valores de pH de 3-7. La capacidad de emulsificación fue mayor para la harina de avena, ya que ésta emulsificó una mayor cantidad de aceite que el concentrado de soya. Los resultados de este estudio se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5.5 Solubilidad de la proteína, absorción de agua y capacidad emulsificante de una harina de avena rica en proteínas y un concentrado de soya.

pH	Solubilidad %		Absorción de agua g/g de muestra		Capacidad emulsificante g de aceite/g de muestra	
	Harina de avena	Concentrado de soya	Harina de avena	Concentrado de soya	Harina de avena	Concentrado de soya
3.0	61.2	15.1	1.1	4.5	358	363
3.5	8.1	5.8	1.0	4.2		
4.0	2.9	2.4	1.2	4.0		
4.5	2.1	4.2	1.3	3.5		
5.0	3.0	4.3	1.3	3.6	436	311
5.5	4.5	7.1	1.4	4.3		
6.0	7.2	16.0	1.5	4.7		
6.5	10.6	18.8	1.2	5.2		
7.0	48.0	20.1	1.3	5.4	410	311

Fuente: Lapveteläinen y Aro. 1994.

Ma y Harwalkar (1984) evaluaron la funcionalidad de las diferentes fracciones proteicas de avena en la variedad Sentinel, descascarillada, desengrasada, molida y tamizada y cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.6. Propiedades funcionales de las fracciones proteicas de la avena

Fracción	EAI ^a m ² /g	ESI ^b min	FBC ^c mL/g	WHC ^d ML/g	Formación de espuma %	Estabilidad de la espuma 30min	Estabilidad de la espuma 60 min.
Albúminas	31.2	3.2	2.8	2.4	240	70	47
Globulinas	27.6	3.0	1.6	0.8	100	73	60
Prolaminas	36.8	9.5	1.7	0.9	50	67	63
Glutelinas	45.0	2.0	2.1	1.9	45	37	27

Notas: ^a Índice de actividad emulsificante. ^b Índice de estabilidad de la emulsión. ^c Capacidad de enlazar grasa. ^d Capacidad de hidratación.
Fuente: Ma y Harwalkar. 1984

Primeramente se evaluó la solubilidad y se observó que las albúminas fueron casi completamente solubles (aprox. 100%) en un amplio rango de valores de pH (0-11). Las globulinas mostraron una curva de solubilidad con una mínima solubilidad a pH 6 a 7 y una alta solubilidad (>90%) en los extremos ácidos (pH <3.0) y alcalinos (pH >9.0). Las prolaminas (aveninas) presentaron un comportamiento similar a las globulinas, con una mínimas solubilidad (<10%) a pH 5-6, y una mayor solubilidad (>90%) a pH alcalino (pH >9.0) que a pH ácido (aprox. 60% a pH 3.0). Las glutelinas presentaron una baja solubilidad (<20%) a valores de pH entre 3 y 8, mientras que a pH 10.5 presentó una alta solubilidad (aprox. 90%). La alta solubilidad de todas las fracciones proteicas de la avena a pH alcalino sugiere una alta extractabilidad de las proteínas de avena en estas condiciones, que ya se ha demostrado anteriormente (Ma, 1983).

El índice de actividad emulsificante (EAI), que está relacionado con el área interfacial de la emulsión, va de 27.6 m²/g para las globulinas y 45 m²/g para las glutelinas. Se encontró que las albúminas poseían un mayor EAI en condiciones de pH ácidas (3.0 – 4.5) y alcalinas (pH 9.5) que en condiciones neutras (pH 6.0-7.5), sin embargo, en condiciones muy ácidas (pH 1.5) las albúminas presentaron el menor valor de EAI. Las otras fracciones se comportaron de forma semejante a los valores de pH-solubilidad.

La capacidad de absorción de grasa es una propiedad funcional importante para aplicaciones como extensores de carne. Las albúminas poseen una capacidad de ligar grasa (FBC por sus siglas en inglés) considerablemente mayor que las otras fracciones. Se encontró que las albúminas y glutelinas poseían una mayor capacidad de hidratación que las globulinas y prolaminas (aveninas). Algunos compuestos no proteicos en la albúmina como carbohidratos, posiblemente contribuyan a la alta capacidad de hidratación en esta fracción.

Los autores encontraron que las albúminas poseían la mayor capacidad de formación de espuma que las otras fracciones y la compararon con la capacidad de formación de espuma (250%) de la clara de huevo líquida.

La estabilidad de la espuma fue alta en todas las fracciones excepto en la glutelina. Las albúminas poseen baja formación de espuma y estabilidad de la misma a pH ácido con un mínimo a pH 3.0, ambos parámetros aumentan gradualmente al aumentar el pH y se estabiliza arriba de pH 6.5.

La estabilidad de la espuma para las globulinas y glutelinas aumenta al incrementarse el pH, mientras que en las prolaminas la estabilidad de la espuma es menor a pH alcalino que a pH ácido o neutro.

En este estudio (Ma y Harwalkar, 1984) se concluyó que las fracciones solubles de la avena poseen actividad emulsificante y capacidad de enlazar grasa comparable a aquellas del gluten y los aislados de soya, además, la albúmina de avena posee mejor capacidad de formación de espuma y estabilidad de la misma.

La excepcional alta temperatura de desnaturalización de las globulinas de avena, puede tener una importancia práctica en alimentos, por ejemplo, esta fracción proteica pudiera ser utilizada en formulaciones para alimentos que requieran alta estabilidad térmica. Sin embargo, dicha estabilidad pudiera limitar el uso de las globulinas de avena en el desarrollo de alimentos que requieran un cambio de estado a temperaturas convencionales de procesamiento, por ejemplo, el calor induce a gelación o coagulación en productos de panificación y emulsiones cárnicas.

En vista de que existe poca información reciente sobre la fracción proteica de la avena, es necesario renovar el interés de los investigadores por este tema, ya que las proteínas de este cereal poseen cualidades funcionales que sugieren múltiples aplicaciones como ingrediente en alimentos que requieren ser evaluadas en diversas formulaciones y varios sistemas alimenticios.

**CAPÍTULO VI
LÍPIDOS**

El contenido de lípidos en la avena es superior al de los demás cereales, esto determina en gran medida su contenido energético y tiene un gran impacto en su calidad nutricional, por su alto contenido de ácidos grasos insaturados.

Los ácidos grasos libres constituyen una buena porción de la fracción lipídica, sin embargo, una cantidad excesiva de éstos afectaría el sabor y la calidad de la avena durante su almacenamiento. Es por esto que los productores que destinan la avena para consumo humano consideran deseable un bajo porcentaje de grasa, ya que esto disminuye las dificultades durante el procesamiento, el contenido calórico y el potencial de rancidez, en contraste con la que se destina para alimentación animal donde se desea que tenga un alto contenido lipídico (Youngs, 1986. Lockhart y Hurt, 1986).

Tabla 6.1 Contenido lipídico de algunos cereales

Grano entero	Porcentaje de grasa (base seca)
Avena	5.4
Arroz	2.2
Maíz	4.4
Trigo	2.1

Fuente: Lockhart y Hurt, 1986.

6.1 EXTRACCIÓN

La extracción de la fracción lipídica con disolventes orgánicos y la posterior cuantificación gravimétrica, ha sido el método más ampliamente utilizado en la determinación del contenido lipídico de los granos en general. Este método explota las propiedades de solubilidad de los lípidos en disolventes orgánicos, utilizando una serie de sistemas de extracción en los que se incluyen el Soxhlet y el Goldfish (Zhou et al, 1999).

Existen una serie de variables que deben ser consideradas al utilizar un método de extracción, como el disolvente o mezcla de disolventes empleados, tiempo de extracción, relación volumen de disolvente-peso de muestra, temperatura y equipo. En cuanto a las variables relacionadas con el grano se encuentran la humedad, tamaño de partícula y tiempo de almacenamiento del grano molido. Este último parámetro es de gran importancia, ya que la actividad de la enzima lipasa aumenta considerablemente al romperse la estructura del grano (Youngs, 1986)

Sin embargo, el factor más importante al emplear un método de extracción es el disolvente a utilizar. Pocos disolventes extraen lípidos eficientemente. Los disolventes no polares como el hexano, éter etílico o éter de petróleo, son efectivos en mayor o menor proporción en la extracción de lípidos libres o no enlazados como los triglicéridos, ácidos grasos libres, esteroides y diglicéridos. Al utilizar disolventes no polares como el hexano es importante cerciorarse que la muestra haya tenido un buen secado, ya que ligeras variaciones en el contenido de humedad impactan significativamente en la polaridad. Los disolventes no polares son poco efectivos en la extracción de lípidos polares como glicolípidos o fosfolípidos asociados a las membranas, que evidentemente son mejor extraídos con disolventes polares. Los disolventes polares tienen el inconveniente de que pueden extraer además otros compuestos diferentes a los de naturaleza lipídica, pero con una re-extracción con un disolvente menos polar como el cloroformo puede obtenerse la fracción lipídica total a partir del grano. En algunas ocasiones para obtener por separado la fracción lipídica libre de la enlazada, primero se hace una extracción con disolventes no polares para obtener los lípidos libres o no enlazados, y posteriormente se hace una extracción con disolventes polares para obtener la fracción lipídica enlazada, así la suma de las dos fracciones constituye la fracción lipídica total. Si lo que se desea es

hacer una extracción total de la fracción lipídica, entonces puede hacerse una hidrólisis de los lípidos con ácido clorhídrico y posteriormente extraerlos (Youngs, 1986).

En un estudio realizado por Saharabude (1979) se compararon siete sistemas de disolventes en la extracción de lípidos de avena de la variedad Hinoat y se encontraron diferencias significativas tanto en el porcentaje total de lípidos como en sus fracciones. Puede observarse que el disolvente que extrajo la mayor cantidad de lípidos totales fue el etanol, debido a su naturaleza polar. Esto muestra la importancia del disolvente empleado en el método de extracción.

Tabla 6.2 Efecto del disolvente empleado en el método de extracción

Disolvente(s)	Lípidos totales (%)	Esteres de esteroil	Triglicéridos	Glicéridos parciales	Glicolípidos	Fosfolípidos
n-Hexano	5.57	0.088	3.61	0.68	0.08	0.31
Isopropanol	5.59	-	3.21	1.18	0.49	1.06
n-Hexano+ éter dietílico (8:2)	6.29	0.64	3.61	1.3	0.34	0.38
Cloroformo/metanol (2:1)	6.31	0.13	3.39	0.68	0.60	1.55
Sol. Acuosa saturada con butanol	6.93	2.09	3.13	0.67	0.10	0.92
Metanol (85%)	8.03	-	3.19	1.5	0.68	2.64
Etanol	8.84	2.04	3.58	1.09	0.38	1.69

Fuente: Saharabude M.R, 1979.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA

La fracción lipídica puede ser clasificada con base en su solubilidad en disolventes orgánicos, de acuerdo a su distribución en el grano de avena o a su estructura química. Estas clasificaciones no son excluyentes (Youngs, 1986. Zhou et al, 1999).

6.2.1 Clasificación por su solubilidad

Los lípidos de la avena pueden ser clasificados por sus propiedades de solubilidad en disolventes orgánicos en libres o enlazados.

El 80% de los lípidos en el grano son lípidos extraíbles con disolventes no polares como el hexano, siendo el 20% restante lípidos enlazados que requieren disolventes polares para su extracción.

Los lípidos enlazados tienen una alta concentración de ácido palmítico y una baja concentración de ácido oleico (Zhou et al, 1999).

6.2.2 Clasificación por su distribución en el grano

La cascarilla constituye entre el 20 y 36% de la masa total del grano y se reportan contenidos lipídicos de 0.05 a 2.9 %, sin embargo, se debe tener precaución en la interpretación de los datos reportados para salvado, ya que como esta parte anatómica no está muy bien definida en la estructura del grano, su composición puede variar de acuerdo a las condiciones de procesamiento.

En la tabla 6.3 se muestra más alta en el escutelo y en el germen que en el endospermo feculento o el salvado, sin embargo, las dos últimas fracciones representan la mayor parte de la fracción lipídica total, ya que tanto el germen como el escutelo son partes relativamente pequeñas en proporción con el grano total. Esto contrasta con lo que ocurre con otros cereales (Zhou et al, 1999).

Tabla 6.3 Clasificación lipídica por su distribución en el grano.

Fracción	Concentración lipídica (g/Kg base seca)		Distribución en el grano (%)
	Libre	Unido	
Cascarilla	22	6	---
Grano	68	15	---
Embrión	116	37	2.1
Escutelo	205	35	6.4
Salvado	80	13	38.2
Endospermo feculento	60	10	53.3

Fuente: Zhou et al, 1999 .

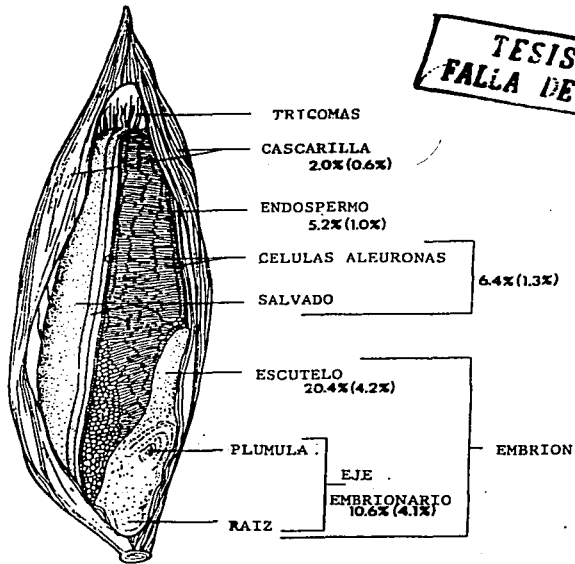


Figura 3. Distribución de lípidos en el grano de avena.
(Escárcega P.J., 2001)

6.2.3 Clasificación química

El contenido lipídico total de la avena puede ser clasificado en triglicéridos, fosfolípidos, glicolípidos, ácidos grasos libres y esteroides.

Los resultados reportados por los diferentes investigadores varían considerablemente, por lo que la comparación de los mismos resulta complicada, debido a las diferencias en el método analítico empleado, la forma de expresar los resultados y particularmente el disolvente empleado en la extracción (Zhou et al, 1999).

Tabla 6.4 Clasificación química de la fracción lipídica según diferentes autores.

Triglicéridos	Ácidos grasos libres	Fosfolípidos	Glicolípidos	Esteroides	Lípidos polares (unidos)
72.9	---	10.1	17.0	---	---
64.2-85.0	2.8-7.2	6.0-17.2	6.9-11.2	0.1-0.6	---
32.4-50.6	2.0-11.0	7.1-12.1	10.9-11.9	1.4-2.8	---
43.1-56.4	4.0-10.5	11.6-26.0	5.8-9.6	2.1-4.0	20.2-34.2
78	2	10	9	---	---
78-79	3-4	---	---	---	17-19

Fuente: Zhou et al, 1999.

Diferentes autores concuerdan en que los triglicéridos constituyen la parte más abundante de la fracción lipídica (Sahasrabudhe, 1979. Lockhart y Hurt, 1986. Youngs, 1986. Zhou et al, 1999.). Los ácidos oleico principalmente y linoleico son los ácidos grasos que se encuentran predominantemente en la fracción triglicéridica.

Los fosfolípidos y glicolípidos pueden clasificarse también en lípidos enlazados (Youngs, 1986). Como puede observarse en la tabla 6.4, los fosfolípidos muestran un porcentaje de 6 a 26% del total de la fracción lipídica, del cual el 45 a 51% es fosfatidilcolina (lecitina) y el resto esta compuesto por otra clase de fosfolípidos como fosfatidilinositol, que en avena representa el doble de la cantidad encontrada en otros cereales, mientras que el digalactosil diglicérido representa la mayor parte de los glicolípidos reportados para avena.

Los esteroides constituyen la menor fracción de lípidos totales reportados para avena y muestran una amplia variación en los resultados (0.1-4.0%) debido principalmente al método analítico empleado y la forma de reportarlos, ya que

Capítulo VI Lípidos

algunos autores los reportan como ésteres de esteroil, otros como la suma de ésteres de esteroil o como esteroides libres y otros como la suma de los glucósidos de esteroil más esteroides.

El esteroil más abundante es el sitoesteroil, seguido del campaesteroil y el estigmaesteroil con 69%, 10% y 8% respectivamente del total de los esteroides reportados.

El contenido de ácidos grasos libres y esterificados reviste gran importancia tecnológica, nutricional y por su potencial de rancidez, ya que, por ejemplo, los ácidos grasos linoleico y linoléico son esenciales en la nutrición humana. El ácido palmítico incrementa la estabilidad de la grasa a la peroxidación, mientras que el ácido linoléico aumenta la inestabilidad de la grasa. Es por esto que han recibido mayor atención que otros componentes lipídicos (Youngs, 1986. Zhou et al, 1999).

Se reportan valores de ácidos grasos libres que van de 2 a 11% del total del contenido lipídico (ver tabla 6.5 y 6.4), de los cuales los ácidos linoleico, oleico, palmítico, estearico y linoléico constituyen el 95% del total de los ácidos grasos, mientras que otros ácidos grasos como el palmitoténico y araquidónico son detectados pero en menores cantidades.

Los lípidos enlazados contienen una alta concentración de ácido palmítico y una baja concentración de ácido oleico. El ácido oleico es el ácido graso que se encuentra predominantemente en los triglicéridos, mientras que el linoleico predomina en los fosfolípidos y glicolípidos. Esto es de esperarse, ya que los lípidos polares como los fosfolípidos se encuentran en la fracción lipídica enlazada.

Tabla 6.5. Distribución de los ácidos grasos en las principales clases de lípidos

	Mirístico (14:0)	Palmítico (16:0)	Estearico (18:0)	Oleico (18:1)	Linoleico (18:2)	Linoléico (18:3)	20:x ^a	22:x ^b
Triglicéridos	1.5	14.8	2.2	43.3	35.0	2.0	0.5	0.1
Glicolípidos	4.3	22.1	4.4	25.1	36.2	4.0	3.0	1.2
Fosfolípidos	2.2	28.1	4.2	21.3	38.1	2.8	2.0	0.3

Fuente: Youngs, 1986.

Notas: La concentración de ácidos grasos esta dada en % en mol.

a Incluye 20:1 (ácido gadolénico) y 20:4 (ácido araquidónico).

b Incluye 22:0 (ácido behénico), 22:1 (ácido erúico) y 24:0 (ácido lignocérico).

Capítulo VI Lípidos

Tabla 6.6 Proporción relativa de los diferentes ácidos grasos del total del contenidos lipídico en avena (%) de acuerdo a diferentes autores.

Mirístico	Palmitico	Palmitoleico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linoléico	Araquidónico	Otros
	16.1		2.0	42.3	37.8	1.8		
0.3-1.3	20.2-8.0		0.5-2.1	24.5-33.6	40.5-47.7	1.0-2.0		
0.7	18.0	0.1	1.24	36.34	42.02	1.59		
	14-23		1-4	29-53	24-48	1-5		
	15.4-23.9		0.9-2.5	18.8-35	43.5-53.0	1.8-3.6		
	15.6-17.7		1.4-1.7	33.5-39.4	40.1-46.5	2.3-2.9		
0.4-0.8	16.2-21.8		1.2-2.0	28.4-40.3	36.6-45.8	1.5-2.5		
0.4-0.5	17.0-20.6		2.6-1.9	36.9-41.7	36.9-38.8	1.3-1.4		
0.9	25.7		2.0	28.8	41.0	1.4		
-0.2	17.2-23.6		0.8-1.8	26.5-47.5	33.2-46.2	0.9-2.4	-0.2	
0.5-4.9	14.9-25.8		1.6-3.9	25.8-41.3	31.3-41.0	1.7-3.7		0-3.1
	15.9-17.0		1.25-2.67	37.7-47.1	33.0-39.1	1.07-2.08		
	30.7-39.4		1.4-2.7	17.9-27.6	33.3-38.8	0.7-3.0		
0.4	16.4	0.3	1.6	37.8	38.6	1.7		3.0
	13.2-17.4		0.8-1.4	37.2-42.1	38.6-42.5	1.3-2.0		0.8-1.5
	15.6		1.4	42.3	38.1	1.3		1.3

Fuente: Zhou et al, 1999.

Se han encontrado interesantes correlaciones entre contenido de ácidos grasos y la fracción lipídica total, en donde se muestra que cuando el contenido lipídico total aumenta, los ácidos palmítico y linoleico disminuyen, mientras que el ácido oleico aumenta. El efecto neto es que la instauración de la grasa aumenta un poco. Esto puede deberse a que como los triglicéridos representan la mayor parte de la fracción lipídica al aumentar esta, aumenta también la concentración de ácido

oleico que es el principal ácido graso presente en los triglicéridos. Mientras que los ácidos palmítico y linoleico disminuyen debido a que se encuentran asociados a los glicolípidos o fosfolípidos cuya proporción es menor en el contenido lipídico total (Youngs, 1986. Zhou et al, 1999).

6.3 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN LIPÍDICA

6.3.1 Factores ambientales y agronómicos

El contenido lipídico se ve influenciado en gran manera por la variedad cultivada, según revela un estudio realizado a 17 variedades de avena, mientras el lugar de cultivo no significó un factor importante a este respecto (Krishnan et al, 1994).

En otro estudio llevado a cabo en Australia, se observó que la composición lipídica de avena está determinada principalmente por la variedad y que prácticamente no se ve afectada por factores ambientales (Zhou et al, 1998).

La síntesis de lípidos se ve afectada por la temperatura de crecimiento. Las bajas temperaturas están asociadas con un aumento en el contenido de aceite y un aumento en la concentración de ácidos oleico y linoléico, y una disminución en la concentración de ácidos esteárico y palmítico. El contenido y grado de instauración de los ácidos grasos totales es mayor en cultivos de invierno que en cultivos de primavera, lo cual indica que a bajas temperaturas hay una mayor síntesis de ácidos grasos insaturados (Saastamoinen, 1989).

El contenido lipídico también se ve afectado por la madurez. Los lípidos son sintetizados inmediatamente después de la floración, cuando el grano contiene más de un 50% de humedad. Al comienzo de la síntesis lipídica, el porcentaje de ácido linolénico es alto, pero después disminuye y aumenta el porcentaje de ácido linoléico. Con la maduración del grano la concentración de triglicéridos aumenta y la concentración de ácidos grasos libres disminuye, también los niveles de esteroides libres y fosfatidilcolina disminuyen (Youngs, 1986).

Se ha observado una correlación negativa entre el contenido proteico y lipídico en el grano de avena, ya que mientras la adición de fertilizantes nitrogenados disminuye la concentración lipídica en el grano de avena, el contenido proteico aumenta (Humphreys et al, 1994).

6.3.2 Procesamiento

Un adecuado tratamiento térmico es esencial en la obtención de productos derivados de avena, estables durante su almacenamiento, ya que de otra forma son altamente susceptibles a la actividad lipolítica que ocasiona la rápida liberación de ácidos grasos libres y su posterior oxidación para causar rancidez (Molteberg et al, 1995).

En harina seca de avena obtenida por un método industrial que incluye descascarillado y subsecuente tratamiento térmico húmedo de los granos, la proporción de triacilglicéridos fue menor y la proporción de ácidos grasos libres mayor que en la harina obtenida de granos sin tratamiento, lo cual indica que hubo cierta hidrólisis de los triacilglicéridos durante el descascarillado o durante el tratamiento térmico. La inmersión en agua de harina de avena induce a un significativo decremento en la proporción de ácido linoleico, lo cual sugiere una pérdida selectiva de ácidos grasos poliinsaturados esterificados debido al remojo (Liukkonen, 1992).

Un tratamiento térmico comercial típico para avena incluye estabilización con vapor para inactivar la mayoría de las enzimas, seguido de un secado, el cual contribuye al desarrollo del sabor. Los granos de avena pueden ser descascarillados antes o después del tratamiento térmico; la elección del procedimiento, incluyendo el tiempo de descascarillado, afecta la intensidad del tratamiento térmico y la calidad del producto. El procesamiento puede tener varios efectos en el contenido de ácidos grasos libres. En términos generales el procesamiento comercial de la avena no afecta significativamente los niveles de ácidos grasos libres (Molteberg et al, 1995).

Se ha reportado que el contenido de ácidos grasos libres y la acidez se ven reducidos en un 50% durante el procesamiento, los autores sugieren que esta reducción en el contenido de ácidos grasos libres se debe a la formación de complejos con almidón o proteínas, mientras que la reducción relativa de ácido linoleico durante el procesamiento se relaciona con el incremento en el contenido de productos volátiles de oxidación, específicamente hexanal que es el mayor compuesto volátil en avena que se usa como indicador de oxidación lipídica. Estos cambios se dan principalmente en el contenido de ácidos grasos libres ya que el

contenido lipídico total no cambió significativamente durante el procesamiento (Molteberg et al, 1995).

Molteberg et al (1996) en un estudio sensorial y químico sobre la oxidación lipídica en harina de avena con y sin tratamiento térmico, observaron que el tratamiento térmico disminuye los niveles de ácidos grasos libres y de la mayoría de los sabores en estudio, particularmente el amargo y el astringente. Los niveles de hexanal y sabor a avena aumentaron, mientras que la mayoría de los volátiles permanecieron constantes. La estabilidad a la oxidación lipídica se vio incrementada por el tratamiento térmico.

Otros autores (Liukkonen et al, 1995) reportaron que el contenido de ácidos grasos libres se ve reducido por inmersión en agua en condiciones alcalinas, sugiriendo una reducción en la actividad lipasa. Concluyó que las modificaciones durante el procesamiento pueden ser usadas para estabilizar lípidos en cereales. A valores arriba de pH 8, la hidrólisis se ve reducida de 0 a 20%, observándose un pH óptimo de alrededor de 7.

La estabilidad lipolítica de la avena se ve incrementada también por el malteo, es decir, la germinación del grano y subsecuente secado (Heiniö et al, 2002), lo cual contribuye al desarrollo del sabor, que puede ser modificado mediante el uso de diferentes condiciones de temperatura y humedad durante el tratamiento térmico (Heiniö et al, 2001).

A pesar de las acciones tomadas para mejorar la estabilidad lipolítica de la avena y sus productos, como el tratamiento térmico, la vida de anaquel es más corta que los productos equivalentes de otros cereales de bajo contenido lipídico. Cuando se compara el estudio de Molteberg (1996) en el que se utilizan operaciones como remojo, tratamiento térmico con vapor y secado, con el de Heiniö et al (2002) en el que utilizan germinación y secado, se observa que las características sensoriales aceptables de la avena procesada permanecen estables hasta por cinco semanas en el estudio de Molteberg (1996), mientras que en el de Heiniö et al (2002) la estabilidad se prolonga hasta por tres meses, después de este tiempo, en ambos casos se observa un aumento en la concentración de compuestos volátiles como pentanal, 2-pentilfuran y hexanal que se usa como un indicador de la rancidez de la avena: esta formación de hexanal se relaciona con la oxidación de lípidos polares

(asociados a la membrana). La oxidación de los lípidos polares sugiere que el tratamiento térmico induce a la desintegración de las estructuras de la membrana y la desintegración de antioxidantes hábiles al calor. A pesar de estas observaciones, el tratamiento térmico de la avena y sus productos debe permanecer como una práctica común, ya que de otra manera la rápida formación de ácidos grasos libres que lleven a la formación de sabores amargos y rancidez podría ocurrir. Sin embargo, la severidad del tratamiento térmico debería ser reconocida como un parámetro clave en la obtención de productos de avena con una mayor vida de anaquel. El tratamiento térmico debería lograr una inactivación selectiva de las lipasa para evitar la oxidación de los lípidos polares durante un almacenamiento prolongado (Lehtinen et al, 2003).

Recientemente se llevó a cabo un estudio (Lehto et al, 2003) en el que se demuestra que la avena posee un sistema enzimático basado en la actividad de la aldehído deshidrogenasa que transforma el hexanal en ácido hexanoico con un rendimiento del 80%, es decir, la avena posee un mecanismo intrínseco de resistencia contra las manifestaciones de la rancidez, ya que transforma un producto de oxidación lipídica, de bajo umbral de percepción, francamente asociado a los olores desagradables de la rancidez (hexanal), en un producto sin estas características (ácido hexanoico). Sin embargo, el tratamiento térmico que normalmente se lleva a cabo para la inactivación de enzimas hidrolíticas (lipasas), excede la temperatura de tolerancia (70°C) de la aldehído deshidrogenasa, por lo que se demuestra que debe reconsiderarse las condiciones en las que se lleva a cabo el tratamiento térmico para lograr una mayor vida de anaquel de la avena y sus productos.

6.4 RELACIÓN LÍPIDOS-ALMIDÓN

El almidón aislado de avena contiene grandes cantidades de lípidos que van de 1-3% (Zhou et al, 1998a), comparado con el almidón de los demás cereales que posee solo entre 0.5 y 1% de lípidos (Wang y White, 1994a).

La mayor parte de lípidos de almidón de avena son lisofosfolípidos y en menor proporción ácidos grasos libres, más específicamente, el 51.6% de los lípidos de almidón de avena es lisofosfatidilcolina, 5.1% lisofosfatidiletanolamina, 5.1%

Capítulo VI Lípidos

lisofosfatidilinositol y 7.7% ácidos grasos libres (Youngs, 1986). Se han identificado tres clases de lípidos en el almidón de avena que se pueden distinguir experimentalmente. Los lípidos internos que residen dentro de los gránulos de almidón, ya sea formando un complejo en la cavidad de la hélice de amilosa o en los espacios entre la amilosa y la amilopectina, los cuales son considerados como los verdaderos lípidos de almidón. Dichos lípidos están compuestos exclusivamente por monoacil lípidos (ácidos grasos libres y lisofosfolípidos). Los lípidos que se localizan en la superficie del almidón se derivan de la matriz proteínica que rodea el endospermo y se tiene la hipótesis que estos compuestos, que también son monoacil lípidos, forman complejos de inclusión con la amilosa en las regiones superficiales del gránulo. Los demás lípidos derivados del endospermo (aleurona y germen) se denominan lípidos no almidonáceos y en su mayoría están muy acetilados (triglicéridos, diacilglicolípidos y fosfolípidos) y se pueden encontrar en estado libre o enlazado con las proteínas de la superficie del gránulo. También se pueden encontrar ácidos grasos libres y monoglicéridos derivados de la lipólisis por aislamiento y almacenaje del almidón (Zhou et al, 1998a).

Los lípidos del almidón son extraídos por diferentes métodos que incluyen extracción por reflujo con n-propanol (Hartunian-Sowa y White, 1992) o hidrólisis parcial del almidón, precipitación de los ácidos grasos libres y recuperación por extracción con cloroformo-metanol (2:1 v/v) (Wang y White, 1994), entre otros (Zhou et al, 1998a).

Se ha encontrado una correlación positiva entre el contenido de lípidos y el de amilosa en almidones aislados de avena, se sugiere que dicha correlación es debida a que los lípidos juegan un papel importante en la regulación de la biosíntesis del almidón (Hartunian-Sowa y White, 1992. Wang y White, 1994a.).

El papel de los lípidos en la estructura y propiedades del almidón, es de considerable importancia; los almidones obtenidos de granos con un alto contenido lipídico generan geles rígidos y tienden a una menor retrogradación. El porcentaje de transmitancia (%T) se usa como una medida de la claridad. La claridad se ve afectada por la blancura y la refracción heterogénea de los remanentes granulares. Los lípidos contribuyen a la opacidad, quizá mediante la restricción al hinchamiento del gránulo. Se ha encontrado una correlación negativa entre el %T y el contenido

lipídico del almidón y con el contenido de amilosa. El contenido lipídico en el gránulo de almidón, retarda la capacidad de hinchamiento a 85°C y la dispersión de las moléculas de almidón (Wang y White, 1994a).

6.5 ENZIMAS LIPOLÍTICAS

La avena posee una considerable actividad lipolítica incluso antes de la germinación y a niveles bajos de humedad en granos quebrados (Matlashewski et al, 1982. Urquhart et al, 1984). En el procesamiento de productos de avena destinados para consumo humano, generalmente se considera necesaria la inactivación de lipasas, por medio de un tratamiento térmico con vapor. Una efectiva inactivación de las enzimas lipolíticas se alcanza a temperaturas de 90 a 100°C y un contenido de humedad arriba de 12% (Ekstrand et al, 1993). Las lipasas y lipooxigenasas son las principales enzimas lipolíticas de la avena, de las cuales, las lipasas son las que han recibido mayor atención. La lipasa es una enzima hidrolítica que produce ácidos grasos libres a partir de triglicéridos y glicéridos parciales. La avena se distingue de los demás cereales debido a que posee una gran actividad lipolítica en los granos aún sin germinar; se ha reportado que dicha actividad se ve reducida en un 45 a 50% en dos años de adecuado almacenamiento. La mayor concentración de lipasas se encuentra localizada en la superficie de las carióspsides. Las lipasas están asociadas con la capa aleurona, en el grano de avena con 12% de humedad, el salvado contiene aproximadamente 69.2% de lipasas y 1% en el germen (Youngs, 1986).

Se ha reportado que a pH neutro y alcalino la actividad lipasa es efectiva al hidrolizar triglicéridos, di y monoglicéridos (Lee y Hammond, 1990) indicando que la actividad lipasa a pH alcalino está más relacionada con los procesos metabólicos iniciados por el crecimiento del embrión (Ekstrand et al, 1992).

Ekstrand et al (1992) no encontraron diferencias significativas en la actividad lipasa en diferentes variedades de avena con contenidos lipídicos de 5 a 7%, sin embargo, otros autores reportan grandes diferencias en la actividad lipasa entre diferentes variedades de avena (Miller et al, 1989. Lee y Hammond, 1990).

La actividad lipasa puede ser medida por diferentes métodos espectrofotométricos (Youngs, 1986) o por métodos fluorofotométricos (Ekstrand et al, 1992).

Capítulo VI Lípidos

Algunos autores han concluido que durante el almacenamiento el grado de saturación de los ácidos grasos libres aumenta debido al incremento en la actividad lipooxigenasa que actúa principalmente sobre el ácido linoleico libre, esta conclusión se basa en anteriores observaciones de que la lipooxigenasa oxida los lípidos de avena hidrolizados, más rápidamente que los no hidrolizados. Cuando se añade linoleato de sodio al aceite de avena, la oxidación disminuye, así entonces los ácidos grasos libres son más susceptibles a la oxidación. Las lipooxigenasas catalizan la formación de hidroperóxidos y dichos hidroperóxidos son descompuestos por las lipoperoxidasas a hidroxiácidos. La actividad lipooxigenasa es mayor a pH 6.7.

De lo anterior se puede concluir que la actividad lipolítica de las enzimas mencionadas anteriormente, aparentemente tiene lugar en etapas, primero las lipasas hidrolizan los glicéridos y liberan ácidos grasos, los ácidos grasos insaturados son convertidos a hidroperóxidos, los cuales a su vez son transformados a hidroxiácidos por lipooxigenasas, lipoperoxidasas y otras enzimas (Youngs, 1986).

CAPITULO VII ANTIOXIDANTES

El uso de antioxidantes en alimentos con alto contenido lipídico o en grasas y aceites directamente, es deseable debido a que previene la autooxidación lipídica de dichos productos, ya sea retardando el comienzo o disminuyendo la velocidad de autooxidación. Esto conlleva un aumento en la vida de anaquel que va del 15 al 200% permitiendo así, su transportación o almacenamiento por periodos prolongados sin que aparezcan las características indeseables propias de la rancidez oxidativa. Previenen, además, la pérdida del valor nutritivo de los alimentos por autooxidación de los ácidos grasos esenciales poliinsaturados (Fennema, 1993). Los antioxidantes son importantes también, en la prevención de enfermedades, mediante la inhibición de radicales libres asociados con el daño a las membranas celulares, envejecimiento, enfermedades del corazón y cáncer (Bailey y Williams, 1993).

Antioxidantes sintéticos como el butil-hidroxi-anisol (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT) y el terbutilhidroxiquinona (TBHQ) son ampliamente utilizados en la industria alimentaria por su efectividad y relativamente bajo costo, sin embargo, existe cierta preocupación por sus posibles efectos tóxicos y carcinogénicos (Peterson, 2001) por lo que ha aumentado el interés por sustituirlos con antioxidantes naturales.

La avena (*Avena sativa* L.) posee propiedades antioxidantes únicas, su actividad antioxidante se atribuye principalmente a compuestos del tipo fenólico, predominantemente derivados de los ácidos cafeico y ferúlico, que se obtienen por extracción. Dichos compuestos fenólicos contribuyen adicionalmente a las propiedades sensoriales del grano, entre ellos la vainillina, que además de ser un compuesto aromático, posee actividad antioxidante; muchos otros compuestos fenólicos relacionados con el sabor son desarrollados durante el tratamiento térmico (Webster, 1986. Duve y White, 1991. Dimberg, 1993).

La harina de avena fue empleada como una fuente de antioxidantes naturales cuando, en 1937, se propuso su uso en alimentos y en empaques para alimentos (Peters y Musher, 1937) denominándosele Avenex o Aveno. Posteriormente un extracto con hexano de harina de avena se llamó Avenol, sin embargo, estos productos fueron reemplazados por BHA y BHT (Webster, 1986). Por lo tanto, sería

interesante retomar el concepto de estos productos naturales y aplicarlos en la industria alimentaria, brindando al consumidor cierta tranquilidad al tratarse de un producto natural que ha sido consumido por generaciones.

7.1 EXTRACCIÓN

La extracción con disolventes orgánicos es el método más utilizado para aislar los antioxidantes naturales de la avena (Duve y White, 1991. Tian y White, 1994. Xing y White, 1997. Auerbach y Gray, 1999). Con los disolventes de mayor polaridad se obtienen los mayores rendimientos en la extracción de los antioxidantes (Tian y White, 1994). En un estudio realizado en la Universidad de Iowa se probaron ocho sistemas de disolventes y se concluyó que la mayor actividad antioxidante fue derivada de los extractos de metanol a partir de avena desengrasada (Duve y White, 1991), sin embargo, los resultados entre disolventes no son reportados, en un estudio posterior se obtuvieron mejores rendimientos al aumentar el volumen de disolvente (Xing y White, 1997). Recientemente fue realizado un estudio comparativo entre metanol e isopropanol como disolventes utilizados en la extracción de antioxidantes en avena molturada. La eficiencia en el método de extracción fue determinada al cuantificar la concentración total de los compuestos fenólicos. Con ambos métodos se obtuvieron muy buenos rendimientos: para metanol 156mg/Kg y para isopropanol 104mg/Kg (Auerbach y Gray, 1999), resultados comparables con los reportados anteriormente de 171 mg/Kg (Daniels y Martin, 1967), 30 mg/Kg (Tian y White, 1994), y 230 mg/Kg (Xing y White, 1997), los dos últimos utilizaron metanol como disolvente en la extracción.

El isopropanol contiene aproximadamente el 70% de la actividad cuantificada en el extracto metanólico, a pesar de esto, las ventajas de aplicar el método de extracción con isopropanol en la industria serían mayores, ya que el tiempo de extracción y la cantidad de disolvente empleado son significativamente menores con este disolvente que con metanol, (2h/1.2 litros con isopropanol comparado con 10 días y 11 litros totales de metanol). Sin mencionar la alta toxicidad del metanol. Cabe mencionar que el método de extracción industrial con isopropanol de la grasa de avena ya ha sido patentado (Myllymäki et al, 1989).

7.2 COMPOSICIÓN

La actividad antioxidante de la avena se atribuye principalmente a compuestos de tipo fenólico (Daniels y Martín, 1967. Collins, 1986. Webster, 1986. Duve y White, 1991. Xing y White, 1997), a pesar de que se han identificado numerosos compuestos con actividad antioxidante en la avena (Madhavi et al, 1996), existen pocos datos cuantitativos de los mismos (Collins, 1986. Collins, 1989. Collins, 1991. Duve y White, 1991. Dimberg et al, 1993. Dimberg et al, 1996. Xing y White, 1997), los cuales pueden variar debido al método de extracción empleado, la forma de reportar los datos, parte del grano utilizada, variedad, etc. lo cual dificulta su comparación.

Varios de los compuestos han sido identificados como ésteres de glicerol de los ácidos hidroxicinámico, ferúlico y cafeico, cuyas estructuras son muy similares a las del BHA y BHT, lo que nos hace pensar que esto contribuye a las propiedades antioxidantes de la avena (figura 7.1).

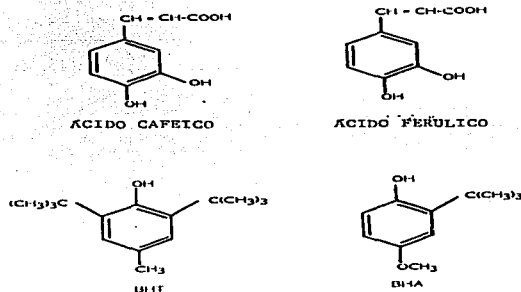


Figura 7.1 Comparación de las estructuras de los ácidos cafeico y ferúlico con respecto a las del BHT y BHA.

Capítulo VII Antioxidantes

Los ácidos fenólicos libres, relacionados con los compuestos del sabor, constituyen una parte minoritaria en los cereales, que rara vez exceden los 200mg/Kg de la masa seca total. Otro grupo de compuestos fenólicos denominados avenantramidas, incluyen compuestos derivados del ácido cinamoilantranílico, hidroxí y/o metoxi-sustituído, los cuales constituyen 200 a 800 mg/Kg de la avena descascarillada y poseen también, propiedades antioxidantes.

A continuación se muestran los resultados de un estudio reciente, en donde se observa la composición de algunos compuestos con actividad antioxidante más importantes, todos ellos son compuestos fenólicos obtenidos a partir del grano y de la cascarilla de avena.

Tabla 7.1. Compuestos fenólicos con actividad antioxidante en el grano y cascarilla de avena

Compuesto	Grano de avena (mg/Kg)	Cascarilla de avena (mg/Kg)
Acido ferúlico	147.2	142.3
Acido p-cumánico	44.9	59.7
Acido cafeico	16.8	-
Acido vainillínico	16.1	24.3
Acido p-hidroxibenzolco	3.5	50.0
Vainilina	3.4	54.2
Acido 4-hidroxifenil acético	0.6	4.6
Catecol	trazas	0.1
Acido o-cumárico	-	6.9
Acido sinápico	-	5.6
Acido salicílico	-	3.1
Total	232.5	350.8

Fuente: Xing y White, 1997

7.3 LOCALIZACIÓN EN EL GRANO

Se han realizado pocos estudios para determinar la parte del grano que presenta la mayor actividad antioxidante o la mayor concentración de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, los más comunes son aquellos realizados en la cascarilla y grano de avena (Collins, 1989. Collins, 1991. Duve y White, 1991. Xing y White, 1997), algunos resultados representativos de dichos estudios se encuentran en la tabla 7.1, en donde se observa una mayor concentración de compuestos fenólicos en la cascarilla de avena que en el grano.

Mediante el uso de técnicas histoquímicas se ha observado una alta concentración de compuestos fenólicos en las capas exteriores del grano, especialmente en las paredes celulares de la capa aleurona (Fulcher, 1986).

Recientemente se realizó un estudio utilizando diversas fracciones de avena (Emmons et al, 1999) y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7.2 Concentración de compuestos fenólicos en diferentes fracciones de avena

Fracción	HBA	VA	CA	VAN	PCA	FA	AVA	AVK	AVC	FD	CFT
Tricomias	39	0	2	7	2	3	12	9	5	1	139
Harina seca	7	5	1	1	1	1	14	12	13	1	89
Harina de avena verde	2	11	1	1	1	1	25	27	22	1	156
Grano perlado 1.66%	29	15	4	4	1	1	55	47	48	7	342
Grano perlado 2.97%	30	20	4	4	1	2	68	61	56	7	337
Grano perlado 7.14%	20	13	3	3	1	1	50	43	44	5	274
Grano verde perlado 5%	10	16	5	2	1	1	50	51	40	4	324
Aspiraciones	16	11	2	3	1	1	5	4	3	4	107

Los datos están reportados en mg/Kg. HBA (ácido p-hidroxibenzoico), VA (ácido vanílico), CA (ácido cateico), VAN (vainilina), PCA (ácido p-cumárico), FA (ácido ferúlico), AVA (avenantramida A), AVK (avenantramida k), AVC (avenantramida C), FD (derivado de ferulato, es reportado como equivalentes de ácido ferúlico), CFT (compuestos fenólicos totales).

Fuente: Emmons et al, 1999.

La mayor concentración de compuestos fenólicos totales se encontró en las fracciones perladas, lo que indica que la mayor parte de los compuestos fenólicos totales se encuentra en las capas aleurona y subaleurona. Se observa un decremento en la concentración de los compuestos fenólicos totales a medida que aumenta el porcentaje de grano perlado, lo que indica que al adentrarse al interior del endospermo feculento del grano disminuye la concentración de los compuestos fenólicos totales, además se encontró una alta correlación positiva entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante, lo que indica que los compuestos fenólicos son responsables en gran medida de la actividad antioxidante de la avena (Emmons et al, 1999).

Recientemente se realizó un estudio similar (Peterson et al, 2001) en el que se determinó la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en avena sometida a un tratamiento de perlado con duración de 5 a 180 segundos, este tratamiento removió de <1 a 15% del peso del grano. El material obtenido de tiempos de perlado más cortos, era principalmente salvado. Tiempos de perlado mayores aumentaban la cantidad de endospermo feculento en las fracciones obtenidas. Se observó que tanto la actividad antioxidante como la concentración de compuestos fenólicos totales aumentaba al disminuir los tiempos de perlado, es decir, que los compuestos fenólicos se encuentran en mayor concentración en las capas externas del grano de avena. También se determinó la concentración de avenantramidas, sin embargo, no se encontró ninguna correlación con el tiempo de perlado, lo que se atribuye a que están más uniformemente distribuidas en el grano de avena.

7.4 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Como se mencionó anteriormente, la actividad antioxidante se atribuye principalmente a los compuestos de tipo fenólico, predominantemente los derivados de los ácidos ferúlico y cafeico que se obtienen por extracción para obtener la fracción lipídica polar que se encuentra enriquecida con los compuestos fenólicos de interés (Duve y White, 1991. Tian y White, 1994. Auerbach y Gray, 1999).

Existen diferentes métodos para detectar y estimar cuantitativamente los antioxidantes, estos van desde la detección cualitativa por reacciones colorimétricas a los métodos semicuantitativos y cuantitativos como la espectrofotometría,

Capítulo VII Antioxidantes

voltarometría, polarografía y los métodos cromatográficos como la cromatografía en papel, en capa fina, en columna, cromatografía gas-líquido (GLC) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Madhavi et al, 1996).

La efectividad de los antioxidantes es medida mediante la determinación de la estabilidad oxidativa de los lípidos de los alimentos. Después de que la muestra ha sido oxidada bajo condiciones controladas, se mide el grado de oxidación por métodos químicos, instrumentales o sensoriales. Muchos de estos estudios están dirigidos a la medición de la extensión en el período de inducción por la adición del antioxidante. El período de inducción es la etapa de la autooxidación lipídica en donde hay una rápida formación de radicales libres, peróxidos e hidroperóxidos y coincide con el inicio en el desarrollo de olores y sabores característicos de la rancidez oxidativa (Madhavi et al, 1996).

Los métodos acelerados de estabilidad, son los más utilizados para evaluar la actividad antioxidante en avena mediante estudios de almacenamiento bajo diferentes condiciones de temperatura, los cuales están basados en el incremento en el período de inducción de la oxidación lipídica de un aceite (generalmente de soya) al cual se le ha agregado un extracto metanólico, rico en antioxidantes de avena, comparándosele con antioxidantes naturales.

En una serie de estudios realizados en la Universidad de Iowa (Duve y White, 1991. Tian y White, 1994. Xing y White, 1997) se utilizó este método para cuantificar la actividad antioxidante de diferentes concentraciones de un extracto metanólico de avena; estos extractos fueron añadidos a aceite de soya (por ser un aceite fácilmente oxidable) y su efectividad fue comparada con antioxidantes comerciales como el BHA, BHT y TBHQ (0.02%, límite legal), y por supuesto contra un control (aceite de soya sin aditivos). Las temperaturas utilizadas en estos estudios fueron 30°C y 60°C. Cada dos días se determinaba Índice de Peróxidos (IP) como un indicador del grado de oxidación del aceite, durante 20 días, al término de los cuales se calculaba el porcentaje de inhibición mediante la fórmula $[(IP \text{ control} - IP \text{ tratamiento}) / IP \text{ control}] \times 100$.

En términos generales se encontró que los extractos de avena tienen poco efecto antioxidante a concentraciones menores de 0.05% (basado en el contenido fenólico

Capítulo VII Antioxidantes

total) y se llegó a la conclusión de que al aumentar la concentración del extracto metanólico aumentaba la actividad antioxidante, siendo la concentración 0.3% la que no presentaba diferencia significativa comparada con el TBHQ (0.02%) que en todos los casos obtuvo la mejor actividad antioxidante. Estos resultados pueden ser ejemplificados por la siguiente tabla.

Tabla 7.3 Índice de Peróxidos (IP) y Porcentajes de Inhibición de los extractos de avena en aceite de soya al día 20.

	Extractos de grano de avena					Extractos de cascarilla de avena				
	Control	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	Control	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%
IP (meq/Kg)	151	21.5	17.8	16.7	2.4	91.6	12.0	6.8	4.2	3.3
Inhibición (%)	-	85.8	88.2	89.0	98.4	-	87.0	92.6	95.5	96.4

Fuente: Xian y White, 1997

Como puede observarse, al aumentar la concentración del extracto metanólico, aumenta el porcentaje de inhibición y disminuye el índice de peróxidos lo cual nos indica un aumento en la actividad antioxidante, es decir, existe una mayor protección a la autooxidación lipídica del aceite de soya.

Se cuantificaron diversos compuestos fenólicos con actividad antioxidante, pero en todos los casos, el que se encontró en mayor cantidad fue el ácido ferúlico.

Recientemente se ha sugerido el uso de la quimioluminiscencia como un método conveniente para la medición de la actividad antioxidante (Ashida et al, 1991. Burkow et al, 1995. Hirayama et al, 1997. Auerbach y Gray, 1999). En un estudio reciente, se comparó este método contra uno espectrofotométrico basado en la decoloración de una solución de β -caroteno y ácido linoléico añadida a un extracto lipídico polar rico en antioxidantes de avena.

El método de quimioluminiscencia consiste en transformar diversas diluciones de extracto de avena en un compuesto luminoso al hacerlos reaccionar con luminol y citocromo c, el compuesto luminoso puede ser detectado por un detector de quimioluminiscencia y mediante la ayuda de un integrador se genera una gráfica parecida a un cromatograma. Las áreas de pico de estas diluciones fueron medidas y comparadas con el área de un pico obtenido por la mezcla de disolventes sin

extracto de avena, el cual fue considerado como el 100%. La actividad antioxidante de cada extracto de avena fue calculada como concentración de inhibición.

Se llegó a la conclusión de que la quimioluminiscencia demostró ser un método conveniente, confiable, rápido y sensible para medir la actividad antioxidante, en el caso de la avena, comparado con el método de decoloración del β -caroteno. Es por esto que es susceptible a ser utilizado a nivel industrial en algún proceso destinado a recuperar los antioxidantes de la avena, ya que no requiere de grandes cantidades de muestra, con algunos gramos o miligramos de harina de avena son suficientes para extraer y medir la actividad antioxidante. La temperatura de trabajo es de aproximadamente 35°C, por 24 horas, lo cual evita las elevadas temperaturas de los métodos acelerados de estabilidad y los tiempos prolongados que estos requieren (días/semanas/meses).

7.5 FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES

7.5.1 Factores agronómicos

Existen muy pocos estudios sobre el efecto de la variedad y las condiciones ambientales en el contenido de antioxidantes en el grano de avena.

Dimberg et al (1996) compararon tres variedades de avena secas y encontraron que diferían significativamente en el contenido de avenantramidas y de los ácidos ferúlico, p-cumárico, cafeico y vainillínico. Los rangos de concentración de las tres avenantramidas fueron de 21 a 62 mg/Kg, 10 a 30 veces mayores que las concentraciones de los compuestos fenólicos simples mencionados, que iban de 1.3 a 2.7 mg/Kg.

Emmons y Peterson (2001) estudiaron el efecto de la variedad y lugar de cultivo sobre la actividad antioxidante y contenido fenólico en avena. Utilizaron tres variedades de avena cultivadas en siete lugares de Wisconsin (E.U.A.) y encontraron diferencias significativas entre variedades de avena en la actividad antioxidante, concentración de todos los compuestos fenólicos determinados, excepto los ácidos p-cumárico y ferúlico, y para el contenido fenólico total. El lugar de cultivo afectó significativamente la concentración de cinco compuestos fenólicos y el contenido fenólico total, pero no afectó la actividad antioxidante.

Capítulo VII Antioxidantes

En la siguiente tabla se muestra el efecto de la variedad sobre la actividad antioxidante y la concentración de compuestos fenólicos.

Tabla 7.4 Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos de tres variedades de avena.

PARÁMETRO	VARIEDAD		
	Dane	Belle	Gem
Actividad antioxidante (% de inhibición)	77.0a	72.5a	67.7b
Ácido cafeico	0.41a	0.40a	0.23b
Vainillina	2.01b	2.29a	1.33c
Ácido p-cumárico	0.67a	0.65a	0.71a
Ácido ferúlico	2.48a	2.03b	2.34*
Avenantramida A	12.0b	22.5a	22.1*
Avenantramida B	22.2c	42.1a	27.8b
Avenantramida C	37.1c	62.2b	65.7*
Contenido fenólico total	275c	323a	310b

Notas: Promedio de los valores obtenidos para los siete lugares de cultivo. Los datos están reportados en mg/Kg. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes con un nivel de probabilidad de 0.05.

Las variedades que muestran mayor actividad antioxidante son Dane y Belle, seguidas por Gem. La concentración de ácido cafeico fue significativamente mayor en las variedades Dane y Belle que en Gem. Dane tuvo una mayor concentración de ácido cafeico en cinco de los siete lugares de cultivo a esto se atribuye su mayor actividad antioxidante con respecto a las otras variedades, ya que aunque tuvo una menor concentración de otros antioxidantes, el ácido cafeico ha sido reportado como el compuesto fenólico que aporta una mayor actividad antioxidante en comparación con otros compuestos fenólicos simples.

La concentración de avenantramidas fue mucho mayor que la de los compuestos fenólicos simples en las tres variedades cultivadas. Sin embargo, la variedad Belle tuvo una mayor concentración de avenantramidas, seguida de Gem y Dane, esta misma tendencia se observa en el contenido fenólico total.

En la tabla 7.5 se observa el efecto del lugar de cultivo sobre los antioxidantes de avena.

Capítulo VII Antioxidantes

Tabla 7.5 Promedio de la actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos de avena cultivada en siete lugares de Wisconsin (E.U.A.).

PARÁMETRO	LUGAR DE CULTIVO						
	SBY	SPO	MAR	CHI	ASH	MAD	ARL
Actividad antioxidante (% de inhibición)	75.5 a	73.8 a	73.4 a	73.3 a	71.1 a	70.3 a	69.6 a
Ácido cafeico	0.32 a	0.48 a	0.53 a	0.30 a	0.45 a	0.36 a	0.03 b
Vainillina	1.68 a	1.65 a	1.99 a	1.65 a	2.20 a	1.78 a	2.18 a
Ácido p-cumárico	1.14 a	0.63 b	0.68 b	0.50 b	0.54 b	0.56 b	0.66 b
Ácido ferúlico	2.26 a	2.29 a	2.41 a	2.05 a	2.55 a	1.88 a	2.53 a
Avenantramida A	51.9 a	16.4 c	10.9 d	16.0 c	9.4 e	18.2 b	9.3 e
Avenantramida B	77. a	28.1 c	19.2 d	27.6 c	13.2 f	32.2 b	15.9 e
Avenantramida C	145.3 a	51.7 b	30.6 c	55.1 b	27.3 d	53.2 b	25.4 de
Contenido fenólico total	417 a	288 c	275 cd	287 c	264 d	322 b	267 cd

Notas: Promedios de tres variedades de avena. Datos en mg/Kg. Valores con la misma letra son significativamente diferentes a un nivel de probabilidad de 0.05. SBY, Sturgeon Bay; SPO, Spooner; MAR, Marshfield; CHI, Chilton; ASH, Ashland; MAD, Madison; ARL, Arlington.

Se encontraron diferencias significativas entre lugares de cultivo en cinco de ocho compuestos fenólicos cuantificados y para el contenido fenólico total. La concentración de ácido cafeico fue significativamente menor en Arlington que en los demás lugares de cultivo. La concentración de ácido cafeico fue significativamente mayor en Sturgeon Bay que en otros lugares. Las concentraciones de ácido ferúlico y vainillina no fueron significativamente diferentes entre lugares de cultivo. Las concentraciones de avenantramidas fueron mucho mayores (>100%) en Sturgeon Bay que en cualquier otro lugar de cultivo. El contenido fenólico total también fue mayor en Sturgeon Bay, seguido de Madison.

Las causas exactas del efecto del lugar de cultivo no se han identificado, sin embargo, se cree tienen que ver con las condiciones climáticas y posición geográfica, por ejemplo, el clima de Sturgeon Bay se ve afectado por su posición en la península del Lago Michigan, cuya temperatura generalmente fue de 2 a 4°C menor que en los demás lugares de cultivo, excepto por Ashlana que es adyacente al lago superior. Las bajas temperaturas de Sturgeon Bay por las mañanas se ven a acompañadas por neblina.

7.5.2 Molienda y tamizado

Los cereales pueden ser molturados mediante un proceso húmedo o seco. La molienda húmeda permite la separación de fracciones relativamente puras, mientras que la molienda en seco produce una harina más gruesa con una mezcla de diferentes componentes; además, la molienda en seco es considerablemente más barata que la molienda húmeda. La molienda en seco puede realizarse por impacto, o mediante rodillos, en la primera se obtienen partículas pequeñas y la composición de la harina es la misma que la del grano entero, mientras que la molienda con rodillos permite que el grano se rompa de tal forma que las partículas de salvado permanezcan de mayor tamaño (fracción rica en salvado) y las partículas de endospermo pequeñas (fracción rica en almidón), así salvado y endospermo pueden ser separados mediante tamizado. Bajo la premisa de que las capas exteriores del grano de avena poseen una mayor cantidad de compuestos con actividad antioxidante, Gray et al (2000) utilizaron esta técnica de molienda y subsecuente tamizado en la obtención de una harina de avena enriquecida con antioxidantes y encontraron que la fracción rica en salvado con tamaño de partícula $>420\mu\text{m}$ poseía una actividad antioxidante mayor que la fracción rica en almidón ($<420\mu\text{m}$) por lo que concluyeron que el uso de la molienda en seco con rodillos como una tecnología del grano de trigo adaptada al grano de avena, ofrece la oportunidad de obtener fracciones de harina de avena con una mayor funcionalidad como ingrediente en alimentos y a un bajo costo.

Peterson et al (2001) también demostraron la posibilidad de producir fracciones de harina de avena por molienda en seco con una elevada concentración de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, además sugirieron que es posible manipular el proceso de molienda en seco para producir una fracción o fracciones que contengan la concentración deseada de uno o más de los antioxidantes de tipo fenólico.

7.5.3 Efecto de las altas temperaturas

Los antioxidantes sintéticos comercialmente usados como el BHA, BHT y TBHQ, son efectivos en la protección contra la oxidación a temperatura ambiente, pero son sensibles a las altas temperaturas y volátiles, así que rápidamente pierden su actividad antioxidante a temperaturas de frío (Madhavi et al, 1996).

En un estudio donde se analizó la volatilidad del BHA, BHT y TBHQ, después de cuatro horas de calentamiento a 180°C en aceite de soya, la concentración inicial de 200 ppm de todos los antioxidantes, disminuyó a 60 ppm. (Buck, 1981).

White y Armstrong (1986) reportaron que el Δ^5 -avenaesterol, un esteroide encontrado en la avena y obtenido por extracción alcohólica, era efectivo en retardar el deterioro del aceite de soya a 180°C. La efectividad de los esteroides para prevenir la oxidación a temperaturas de frío se atribuye a una cadena lateral que posee un grupo etilidieno, el cual reacciona rápidamente con los radicales libres proveniente del aceite calentado a temperaturas de frío, interrumpiendo así la cadena de oxidación (Gordon y Magos, 1983).

Adicionalmente a su estabilidad a las altas temperaturas, los extractos antioxidantes de avena, poseen otra cualidad sobresaliente, su efecto antipolimerizante (White y Armstrong, 1986. Tian y White, 1994a). Cuando son añadidos a concentraciones de 0.05 ó 0.1% de extracto metanólico o de éter de petróleo de grano o de cascarilla de avena, reducen la polimerización del aceite de soya a temperaturas de frío por 14 días, pero no mejoran la estabilidad del aceite cuando es almacenado a 60°C (Duve y White, 1991).

Un extracto metanólico de avena fue probado para comprobar su actividad antipolimerizante en aceite de soya y en aceite de algodón calentados a 180°C por 10 horas al día, durante 10 días, así mismo, se realizó un estudio para conocer su propiedades de "arrastre" en cubos de pan freídos en estos aceites con y sin extractos metanólicos de avena. Los aceites de soya y de algodón contenían 0.005 ó 0.007% del extracto de avena (basado en el contenido fenólico total) y se formaron cantidades significativamente menores de compuestos polares de alto peso molecular que los aceites que contenían 0.02% de TBHQ, 1ppm de dimetilpolisiloxano (DMS, un antiespumante para aceites que son utilizados a altas

Capítulo VII Antioxidantes

temperaturas) y que los aceites que no contenían ningún aditivo (controles), según se determinó por HPSEC.

También se determinó la composición de ácidos grasos y se observó que los aceites que contenían cualquiera de las dos concentraciones de extracto de avena, mantenían una significativamente alta proporción de ácidos linoléico y palmítico (18:2/16:0) que cualquiera de los otros tratamientos.

El aceite extraído con hexano de los cubos de pan freídos a 180°C en los aceites que contenían TBHQ y extracto de avena y luego almacenados a 60°C en la oscuridad por más de 14 días, tenían un índice de peróxidos significativamente menor y una proporción 18:2/16:0 significativamente mayor que los aceites extraídos de los cubos de pan freídos en aceite que contenían DMS y el aceite control (Tian y White, 1994a). Debido a la volatilidad del TBHQ, los cubos de pan fueron incorporados al aceite antes de alcanzar la temperatura de freído para permitir que el TBHQ penetrara en los cubos de pan y conservara así su efecto antioxidante.

Podemos notar entonces las grandes ventajas que ofrecen los extractos de avena, ya que además de ser efectivos antioxidantes, son estables a las altas temperaturas y poseen efecto antipolimerizante.

Adicionalmente, puede decirse que muchos compuestos fenólicos con actividad antioxidante contribuyen también al sabor, tal es el caso de la vainillina (Burri et al, 1989) y otros son desarrollados a partir de compuestos fenólicos mediante tratamiento térmico (Collins, 1986), sin embargo, esto no impacta significativamente en las cualidades antioxidantes de la avena como se demostró anteriormente, lo cual se atribuye principalmente a ciertas avenantramidas con propiedades antioxidantes que son estables a las altas temperaturas y por lo tanto contribuyen a la estabilidad oxidativa de la avena tratada térmicamente (Dimberg et al, 1993).

Capítulo VII Antioxidantes

El efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos de avena con y sin cascarilla fue probado mediante un tratamiento térmico comercial típico en un horno con inyección de vapor a 100° C por 10 min. previo remojo de los granos en agua por 2 min. Posteriormente los granos de avena con y sin cascarilla fueron secados a 100° C por 4 y 3.5 horas respectivamente. Se encontraron 10 compuestos de interés, por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). A continuación se muestran los resultados de dicho tratamiento térmico aplicado a la avena con y sin cascarilla comparada contra un control (avena sin tratamiento térmico) (Dimberg et al, 1996).

Tabla 7.6 Efecto del tratamiento térmico sobre algunos compuestos fenólicos

Compuesto fenólico	Control	Con cascarilla	Sin cascarilla
Ácido vainillínico	1.2	>1.7	<0.8
Ácido cafeico	>3.1	1.6	1.8
Ácido p-cumárico	0.8	>2.8	0.7
Ácido ferúlico	<2.0	2.5	2.3
Vainillina	1.7	>3.3	1.7
p-hidroxí benzaldehído	0.3	>2.0	0.3
Coniferol	0.2	>2.0	0.2
Avenantramida 1	>33	27	26
Avenantramida 3	>48	39	38
Avenantramida 4	>50	28	31

Fuente: Dimberg, 1996

Al comparar con el control, se aprecia que en el grano con cascarilla y tratamiento térmico, la vainillina, el ácido p-cumárico, el ácido ferúlico, el p-hidroxibenzaldehído, el coniferol y el ácido vainillínico aumentaron considerablemente, en porcentajes que van del 25% al 900%. Los niveles de ácido ferúlico también aumentaron en las muestras sin cascarilla tratadas térmicamente; este incremento fue de aproximadamente el 20%.

Se reporta que no hubo diferencias significativas entre el ácido cafeico y ninguna de las avenantramidas en cualquiera de los tratamientos con y sin cascarilla.

Sabemos que los compuestos fenólicos de bajo peso molecular, por ejemplo los ácidos aromáticos y aldehídos se encuentran mayormente esterificados en los polisacáridos de las paredes celulares de las gramináceas y que en los granos, las más altas concentraciones de estos compuestos se encuentran en las capas exteriores del grano (Fulcher, 1986. Hartley y Keene, 1984. Emmons et al, 1999), por lo tanto, el incremento en el contenido de compuestos fenólicos libres, en los granos de avena con cascarilla tratados térmicamente puede ser atribuido a la liberación térmica de las paredes celulares de los compuestos fenólicos enlazados, tanto en la cascarilla como en el grano. Presumiblemente los compuestos fenólicos se encuentran conjugados con la lignina (Lam et al, 1992) por lo que sus monómeros, el ácido p-cumárico, el p-hidroxibenzaldehído y el coniferol, probablemente fueron liberados exclusivamente de la cascarilla y transportados hacia el grano durante el tratamiento térmico.

Se sabe que el ácido caféico es sensible al calor y se observó que dicho ácido fue el único que disminuyó en ambos tratamientos térmicos. Aunque los ácidos ferúlico y p-cumárico son susceptibles al rompimiento térmico (Collins, 1986) no se observó un decremento de dichos ácidos, posiblemente su degradación fue enmascarada por la liberación de los ácidos fenólicos enlazados en las paredes celulares.

Se observó una reducción relativamente pequeña (20%) en los niveles de avenantramidas 1 y 3 durante ambos tratamientos térmicos, lo cual concuerda con anteriores resultados que muestran la relativa estabilidad al calor de algunas avenantramidas (Dimberg, 1993).

En este caso se trabajó con grano entero y no con un extracto metanólico como en el caso anterior, por lo tanto, se puede concluir que la estabilidad de los antioxidantes de avena se puede atribuir principalmente a algunas avenantramidas (que también son compuestos fenólicos) y de algunos compuestos fenólicos liberados de las paredes celulares del grano y principalmente de la cascarilla en algunos casos, que adicionalmente contribuyen al sabor.

**CAPÍTULO VIII
VITAMINAS Y MINERALES**

Los productos alimenticios elaborados a base de avena contribuyen poco a cubrir los requerimientos diarios de vitaminas y minerales de los seres humanos, siempre y cuando, estos no hayan sido sujetos a un excesivo procesamiento. A continuación se muestra el contenido de vitaminas y minerales en las siguientes tablas.

Tabla 8.1 Contenido de vitaminas en el grano de avena y avena en hojuelas

Vitamina	Contenido ^a (grano)	%RDA/oz ^b (grano)	Contenido ^a (hojuelas)	%RDA/oz ^b (hojuelas)
Tiamina (B1)	0.77	15	0.67	14
Riboflavina (B2)	0.14	2	0.14	2
Niacina	0.97	2	0.98	2
Ácido pantoténico	1.36	10	1.48	10
Piridoxina (B6)	0.12	2	0.13	2
Ácido fólico	0.06	4	-	-
αTocoferol	-	-	1.94	5

Fuente: Lockhart y Hurt, 1986

^a Contenido como miligramos por 100 g de muestra.

^b %RDA/oz (% de dosis diaria recomendada / oz de muestra)

Capítulo VIII Vitaminas y Minerales

Tabla 8.2 Contenido de minerales en avena.

Mineral	Contenido (mg/oz)	% RDA ^a
Calcio	15.4	2
Fosforo	155	19
Potasio	120	6
Magnesio	52	15
Hierro	1.3	13
Zinc	1.0	7
Manganeso	1.3	52
Cobre	0.13	7

Fuente: Lockhart y Hurl, 1986

^a %RDA (%Dosis diaria recomendada)

Como se desprende de esta información, la avena es una buena fuente de manganeso, magnesio y hierro, así como de cobre, zinc y calcio además de vitaminas como la tiamina y el ácido pantoténico.

La relativamente alta concentración de fósforo en el grano de avena, ha sido cuestionada debido a que este se encuentra principalmente en la forma de ácido fítico. En granos maduros, del 60 a 80 % del fósforo se encuentra como fitato. En los granos en germinación como el arroz, cebada y maíz los fitatos son eliminados completamente, mientras que al final del mismo período de tiempo, la avena posee más de la mitad del fitato original. Sin embargo, el arroz y el trigo, poseen una alta actividad fitasa, mientras que en avena la actividad de esta enzima es mucho menor en condiciones similares. El ácido fítico es nutricionalmente importante debido a que puede atrapar minerales esenciales como el calcio, zinc y magnesio, y de esta forma impedir que sean absorbidos por el cuerpo. Se han observado deficiencias en humanos y animales monogástricos cuyas dietas han consistido predominantemente en granos y legumbres ricas en ácido fítico.

En cuanto a minerales traza como el cromo, níquel, cobalto, vanadio, silicio y estaño, se ha realizado muy poca investigación dirigida a determinar la concentración en la que se encuentra en avena u otros cereales.

Capítulo VIII Vitaminas y Minerales

El contenido de vitaminas y minerales no se encuentra distribuido uniformemente en el grano de avena, siendo el salvado en donde se encuentra la mayor concentración de dichos nutrientes. De ahí se desprende la necesidad de consumir el grano entero, ya que la separación y aislamiento de las diferentes fracciones por molienda u otros procesos alteran el valor nutricional relativo del producto resultante.

A continuación se muestra la biodisponibilidad de la biotina en diferentes cereales, determinada por un bioensayo en pollos.

Tabla 8.3 Biodisponibilidad de la biotina en diferentes cereales.

Grano	Biotina ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)	%Disponible en pollos
Maiz	45	100
Trigo	104	0
Cebada	144	20
Avena	208	32
Sorgo	209	20

Fuente: Lockhart y Hurt, 1986.

A pesar de que el contenido de biotina en el maíz fue bajo, la biodisponibilidad relativa fue excelente. En sorgo, cebada y avena la disponibilidad biológica relativa fue de 20 y 32%. Sin embargo, estos datos no pueden ser aplicados directamente al ser humano debido a las diferencias en los requerimientos nutricionales entre ambas especies.

Es necesario realizar una mayor investigación sobre el efecto del procesamiento y almacenamiento en el contenido de vitaminas y minerales del grano de avena, establecer la biodisponibilidad relativa de estos nutrientes en seres humanos y de aquellos micronutrientes de los cuales se tiene poca o nula información disponible (Lockhart y Hurt, 1986. Matz, 1991).

CAPÍTULO IX VALOR NUTRITIVO

La avena posee un valor nutritivo único entre los cereales, tanto en el contenido de aminoácidos esenciales, como en fibra dietética y ácidos grasos (Lockhart y Hurt, 1986. Hosenev, 1991.). Sin embargo, su uso como ingrediente en alimentos destinados para consumo humano es muy pobre comparado con el de otros cereales como el maíz, trigo y arroz. La avena ofrece un gran potencial para ser utilizada en diferentes formulaciones alimenticias y en el desarrollo de nuevos productos mediante la aplicación de los conocimientos de sus propiedades químicas y valor nutritivo (Lockhart y Hurt, 1986). Esto podría cumplir con la doble función de disminuir las deficiencias nutricionales de los individuos de los diferentes sectores de nuestro país, brindando alimentos de alto contenido nutricional y bajo costo, así como disminuir los problemas ocasionados por una sobrealimentación como la obesidad, mediante el aprovechamiento del alto contenido de fibra dietética que posee la avena.

9.1 Proteínas

Comparada con otros cereales la avena se caracteriza por poseer un alto contenido proteico y lipídico y un bajo contenido de carbohidratos (Matz, 1991). La calidad proteica de la avena también es superior debido a que posee un alto contenido de globulinas que aportan una mayor cantidad de lisina (Lockhart y Hurt, 1986), además el equilibrio de sus aminoácidos se equipara favorablemente a la proteína estándar establecida por la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) (Hosenev, 1991). En la tabla 9.1, el contenido de aminoácidos de la avena es comparado con el de otros cereales, huevo y el estándar de calidad proteica establecido por la FAO.

Capítulo IX Valor nutritivo

Tabla 9.1 Perfiles de aminoácidos esenciales de algunos cereales y huevo, comparados con el estándar de la FAO.

Aminoácido	Huevo	Avena	Harina de Avena	Trigo	Maíz	Cebada	Valores de la FAO
Lisina	6.4	3.7	3.79	2.9	2.7	3.5	4.2
Histidina	2.4	2.1	2.32	2.3	2.7	2.1	----
Arginina	6.6	6.3	6.77	4.6	4.2	4.7	----
Treonina	5.0	3.3	3.26	2.9	3.6	3.3	2.8
Valina	7.4	5.1	5.46	4.4	4.8	5.0	4.2
Metionina	3.1	1.7	1.73	1.5	1.9	1.7	2.2
Isoleucina	6.6	3.8	4.16	3.3	3.7	3.6	4.2
Leucina	8.8	7.3	7.33	6.7	12.5	6.7	4.8
Fenilalanina	5.8	5.0	5.15	4.5	4.9	5.1	2.8
Triptofano	1.6	1.3	1.62	1.1	0.7	1.5	1.4
%Proteína	----	15.1	----	12.2	9.5	11.0	----

Fuente: Lockhart y Hurt, 1986

* Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (2000).

La composición de aminoácidos generalmente permanece constante aunque el contenido proteico varíe en un amplio rango (Lockhart y Hurt, 1986).

La distribución de proteína en la avena es diferente a la de otros cereales, las prolaminas (en la avena conocidas como "aveninas") solubles en alcohol constituyen el 10 a 15 por ciento de la proteína total, la clase predominante parece ser la de las globulinas (aproximadamente el 55 por ciento), y las gluteninas con un 20 a 25 por ciento (Hoseney, 1991. Peterson y Brinegar, 1986).

La avena como los demás cereales es limitante en lisina, metionina y treonina.

Adicionalmente al valor nutritivo de las proteínas de avena, se han reportado cifras de digestibilidad verdadera que van de 90.3 a 94.2%, valor biológico de 74.5 a 79.6%, utilización neta de la proteína de 69.1 a 72.4% y una relación de eficiencia proteica de 2.25 a 2.38 (Eggum y Gullord, 1983. Eggum et al, 1989).

9.2 Lípidos

El interés en la avena como alimento para consumo humano se ha enfocado en su gran cantidad de fibra dietética, sin embargo, el aceite de avena ha demostrado tener un gran potencial tecnológico y nutritivo. Los productores destinan las cosechas de avena con gran contenido lipídico a la alimentación animal, mientras que la avena que se destina para consumo humano se prefiere que tenga un bajo contenido de grasa, ya que esto reduce las dificultades en el procesamiento, el contenido calórico y el potencial de rancidez. La avena no ha sido utilizada como fuente de lípidos para aceite de cocina debido a que la cantidad lipídica en las carióspsides de las variedades comerciales de avena que se cultivan es relativamente baja comparada con la cantidad de aceite que producen las cosechas de semillas oleaginosas destinadas a este propósito. Sin embargo, la avena posee cantidades mucho mayores de lípidos que cualquier otro cereal, lo que la hace una excelente fuente de energía y ácidos grasos insaturados (Zhou et al., 1999) como se muestra en la tabla 9.2.

El uso de la avena en el desarrollo de nuevas aplicaciones en alimentos se ha visto frenada por los problemas relacionados con su contenido lipídico. El contenido de ácidos grasos libres por ejemplo constituye una gran proporción de la fracción lipídica y se ha demostrado que una excesiva cantidad de ácidos grasos libres afecta el sabor y la calidad de la avena durante el almacenamiento (Zhou et al., 1999), ya que aunado a la gran cantidad de lípidos de la avena, también posee un sistema lipásico muy activo que de no ser desnaturalizado los productos tendrán muy corta duración (Hoseney, 1991).

Tabla 9.2 Contenido lipídico de algunos cereales

Cereal	Contenido Energético Kcal	Grasas totales (g)	Ácidos grasos saturados totales (g)	Ácidos grasos monoinsaturados (oleico) (g)	Ácidos grasos poliinsaturados (linoleico) (g)
Avena (hojuelas)	385	6.3	1.16	2.21	2.44
Arroz (harina)	363	0.6	...	...	...
Arroz (pulido)	364	1.0	...	...	...
Cebada	348	1.9	...	...	...
Cebada (perla)	344	1.0	...	...	...
Centeno (grano)	334	1.7	...	...	...
Malz (hojuelas)	389	0.3	...	...	...
Malz (harina nixtamalizada)	377	4.5	0.01	1.30	1.30
Trigo (entero)	337	2.6	...	...	...
Trigo (harina refinada)	377	1.2	...	...	...
Trigo (hojuelas)	354	1.6	...	...	...

Fuente: Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán (1992).
Valores reportados en gramos por 100g de alimento neto.

9.3 Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen alrededor del 80% del aporte calórico de la humanidad (Wisther y Daniel, 1993).

El Departamento de Agricultura de los E. U. en sus Recomendaciones Dietarias ha reconocido la importancia de incrementar el consumo de carbohidratos complejos y fibra dietética derivados principalmente de productos elaborados a partir de cereales.

Las condiciones derivadas de enfermedades crónicas como diabetes, arterosclerosis y padecimientos digestivos parecen mejorar con la inclusión en la dieta de más carbohidratos complejos y fibra. En este mismo tenor, el aspecto nutrimental al cual se le ha dado mayor importancia en el contenido de carbohidratos de avena es su alta concentración de β -glucanos que se encuentran en gran concentración en las gomas de avena, son solubles en agua y resistentes a los

procesos digestivos en los humanos (Lockhart y Hurt, 1986). Esta importancia se debe a sus efectos positivos en la salud humana como la disminución de los niveles de colesterol y glucosa en sangre (Anderson et al, 1994. Wood, 1994).

En un estudio realizado para evaluar el efecto laxante de diferentes fuentes de fibra dietética como salvado de trigo, salvado de avena y goma de avena, en personas adultas, se observó un incremento en la frecuencia de los movimientos peristálticos en las dietas que contenían salvado de trigo y refinosa, en las dietas que contenían salvado de avena y goma de avena sólo hubo un ligero aumento en la frecuencia de los movimientos peristálticos. Las dietas que contenían salvado de trigo como fuente de fibra dietética claramente produjeron un aumento en el volumen fecal, el salvado de avena y goma de avena también produjeron un aumento en el volumen fecal cuando los resultados fueron comparados con la dieta control. Las dietas que contenían salvado de trigo y refinosa causaron cierto malestar estomacal en los pacientes, mientras que las dietas que contenían salvado de avena produjeron poco o ningún problema (Lockhart y Hurt, 1986).

9.4 Vitaminas y minerales

El contenido de vitaminas y minerales se encuentra concentrado en el salvado de avena por lo que el consumo de productos elaborados a base del grano entero es altamente recomendable.

Tabla 9.4 Contenido de vitaminas en avena y algunos de sus productos

Vitamina	Avena entera *	Avena descascarillada*	Cascarilla*
Tiamina	0.72	0.77	0.15
Riboflavina	0.17	0.15	0.16
Niacina	1.51	0.97	1.04
Piridoxina	0.29	0.12	...
Ácido pantoténico	0.78	1.36	...
Ácido fólico	...	0.06	...
Tocoferoles	2.98	1.20	...

Fuente: Matz S.A., 1991. * Datos reportados en mg/100g

Tabla 9.3 Contenido de minerales en avena entera

Mineral	Contenido p.p.m.	Número de muestras	Mineral	Contenido p.p.m.	Número de muestras
Calcio	430	...	Fósforo	3400	233
	650	10		3640	1205
	1170	1205		4300	16
Cloro	680	...	Magnesio	1600	76
	1300	38		1810	1205
Bromo	3	3	Potasio	4800	99
				5700	1205
Flúor	3	...	Manganeso	30	2
				42,5	16
				96	5
Yodo	0,006	13	Litio	0,05	...
Azúfre	1900	1257	Sodio	33-80	...
Hierro	51	14	Zinc	22-38	...
	70	1205			
	79	34			
Cobre	5,2	16	Lead	0.1	...
	11	29			

Fuente: Matz, 1991.

La avena puede ser considerada una buena fuente de magnesio, manganeso, hierro, calcio, zinc y cobre. La alta concentración de fósforo se ha puesto tela de juicio debido a que se encuentra en el grano de avena principalmente en la forma de ácido fítico, el cual tiene un efecto antinutricional al quelar minerales esenciales como calcio, zinc y magnesio e impedir que estos puedan ser absorbidos por el organismo.

La avena y productos derivados de la avena contribuyen poco en el aporte de vitaminas a la dieta de las personas como tiamina y ácido pantoténico, pero este aporte pudiera ser significativo si se aumentara el consumo de la avena y sus productos (Matz, 1991. Lockhart y Hurt, 1986).

CAPÍTULO X INDUSTRIALIZACIÓN

A pesar de ocupar el sexto lugar en producción de grano, solamente el 5% de la producción mundial de avena es industrializada (Robles, 1983). En los Estados Unidos solamente el 10% de la cosecha se procesa para el consumo humano (Hoseney, 1991).

La avena se clasifica por el color, siendo la blanca la avena molturable. La mayor parte de la avena que se consume directamente como alimento se ofrece en forma de cereal de desayuno; siendo la forma de presentación más popular es la de copos de avena (Hoseney, 1991). La práctica de producir hojuelas de avena en vez de avena molturada evolucionó a escala comercial durante la segunda mitad del siglo XIX y ofreció la ventaja de convertir una gran cantidad de granos de avena en un producto de mayor valor agregado. Los copos de avena requieren menor tiempo de cocción. El tratamiento térmico con vapor se utiliza para mantener los granos descascarillados intactos mientras son sujetos a presión, además de impartir la ventaja de ser parcialmente precocidos antes del laminado y así obtener un producto "instantáneo". Aparentemente el primer registro de dichos productos llamados cereales instantáneos ocurrió en 1877, con el símbolo "3 minutos" (Dean y Commers, 1986).

Los principales pasos en la industrialización de la avena son: limpieza, descascarillado, tratamiento térmico con vapor y laminado.

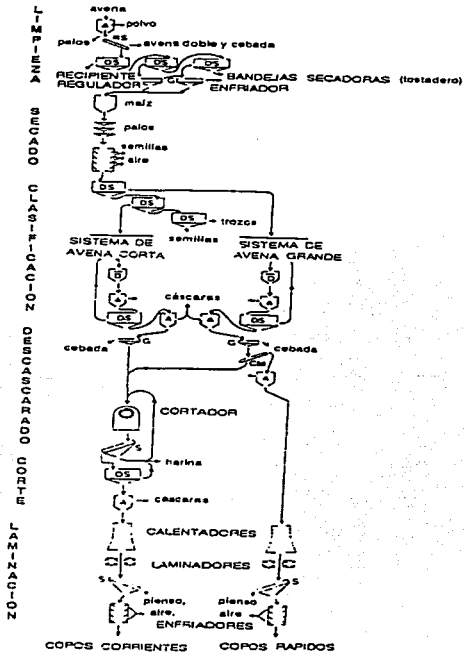


Figura 10.1 Esquema de industrialización de la avena.
(Hoseney, 1991)

10.1 Limpieza

10.1.1 Prelimpieza

El propósito de la limpieza preliminar es remover cualquier objeto que pueda dañar el equipo, así como eliminar tierra, paja, hojas y otras impurezas provenientes del campo, y plagas que pudieran desarrollarse durante el almacenamiento.

La limpieza preliminar de la avena antes del almacenamiento es sólo inicial y es una limpieza burda que no pretende reemplazar la operación de limpieza antes de la molienda.

La cantidad total de impurezas removidas durante la limpieza preliminar (basura, impurezas burdas y finas, objetos pequeños tamizados) rara vez excede el 0.5% en peso de la avena ingresada y más comúnmente se obtiene un promedio de aproximadamente 0.25%.

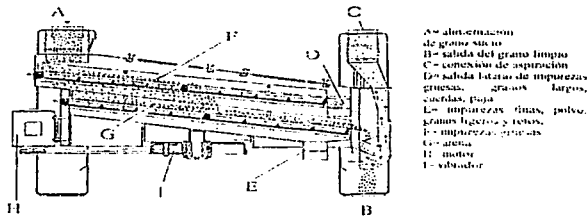


Figura 10.2 Máquina de criba doble
(Escárcega P. J., 2001)

10.1.2 Limpieza y clasificación por tamaño

Esta es una limpieza más fina en la que se utilizan máquinas que, además, clasifican la avena en tres fracciones, avena corta, avena de tamaño mediano y avena larga, cada una tiene su tipo particular y tamaño de impurezas, por lo que reciben un tratamiento de limpieza individual más selectivo y más eficiente que si toda la avena fuera limpiada junta. Esto se logra mediante una serie de tamices por los que se pasa la avena para ser clasificada así como sus impurezas.

10.2 Secado y enfriado

La avena descascarillada contiene aproximadamente 6.5% de grasa, una cantidad que no se encuentra en ningún otro cereal. Durante el almacenamiento normal de la avena, por ejemplo a 13 % de humedad y más de 18°C, el contenido de ácidos grasos libres aumenta muy lentamente, pero si la avena es quebrada o molida, la producción de ácidos grasos libres aumenta considerablemente en dos o tres días. Esta cantidad de ácidos grasos más la acción de enzimas del tipo lipasas produce rancidez; sin embargo, si la avena se somete a un tratamiento térmico las lipasas son inactivadas en unos cuantos minutos a una temperatura de 90-100°C y una humedad no menor a 12%.

El siguiente paso en la industrialización de la avena es por lo tanto, el secado y enfriado. El objetivo de esta operación es inactivar las enzimas lipolíticas lo suficientemente como para prevenir el desarrollo de sabores indeseables durante el procesamiento, prevenir la rápida rancidez del producto final y desarrollar un ligero sabor a tostado que se considera deseable, además de hacer la cascarilla más frágil y quebradiza del tal forma que se facilite la subsecuente operación de descascarillado.

Durante el secado que dura aproximadamente 1 hora, se utilizan temperaturas de 88 a 93°C y generalmente se elimina de 3 a 5% de humedad. La avena entra al secador con una humedad de aproximadamente 12% y lo deja con un contenido de humedad de entre 7 y 10%.

Seguido del secado, la avena es enfriada mediante un flujo de aire para disminuir la temperatura, al final de esta operación la avena posee un contenido de humedad de aproximadamente 8 a 10 % y una temperatura de 38 a 49°C. Cuando la

avena es enfriada, ésta todavía muestra un 20 a 40% de la actividad lipasa original. El proceso térmico con vapor, que posteriormente se detallará, completa la inactivación de las lipasas.

10.3 Descascarillado

Después de la operación de enfriado la avena está lista para ser descascarillada. La eficiencia del descascarillado es mejorada por una previa clasificación por tamaño, ya que la máquina descascarilladora funciona bien cuando es alimentada con tamaños homogéneos de avena en vez de a un amplio rango de valores. En el sistema que previamente se describió, la clasificación por tamaños se lleva a cabo durante el proceso de limpieza, lo cual resulta en tamaños de avena largos, medianos y cortos, sin embargo algunos industriales prefieren realizar la limpieza, secado y enfriado directamente y posteriormente clasificar por tamaños en un sistema de procesamiento separado justo antes del descascarillado.

Seguido del descascarillado viene la separación de una mezcla de avena descascarillada, cascarilla y avena entera, así los subproductos como la cascarilla y partículas finas son descartados por aspiración con aire, la avena entera entra nuevamente a la descascarilladora y la avena desnuda es pulida para eliminar pelusa y partículas finas adheridas para continuar con el proceso.

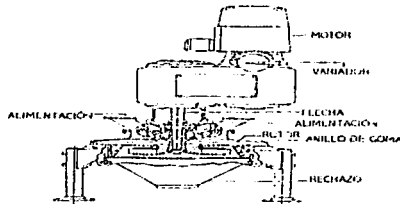


Figura 10.3 Descascarilladora
(Escárcega P. J., 2001)

10.4 Corte y laminado

Ahora la avena descascarillada se encuentra lista para ser procesada al producto final. En términos generales, la avena que se utiliza para consumo humano es comercializada en la forma de hojuelas y en menor proporción como harina de avena. La avena en hojuelas constituye el principal producto final y se producen al someterla a una alta presión mediante rodillos que giran en sentidos opuestos.

Para prevenir la desintegración de la avena en partículas muy finas, se deben mantener las partículas unidas, esto se logra mediante someter la avena a un proceso térmico con vapor justo antes de la operación de laminado; el calor y la humedad sirven para mantener unida la avena laminada. Adicionalmente se logra la inactivación total de las enzimas productoras de rancidez y sabores indeseables.

El grano de avena produce hojuelas muy grandes que son difíciles de manipular, almacenar y empacar, debido a esto, la avena generalmente es cortada en dos o cuatro piezas uniformes por grano de avena antes del proceso térmico con inyección de vapor, esto resulta en un tamaño de hojuela más compatible con los requerimientos del empaque y la aceptación del consumidor.

El tiempo del tratamiento térmico con vapor es de 12 a 15 minutos en el cual la temperatura aumenta de temperatura ambiente a 99 – 104°C. El vapor incrementa la humedad de la avena cortada de 8 a 10% cuando entra, y sale con una humedad de aproximadamente 10 a 12%. Algunos industriales prefieren realizar este tratamiento antes de la operación de corte, ya que argumentan que esto favorece el que haya menos producción de partículas finas durante el corte y pueden continuar con el proceso de laminado.

La avena previamente cortada es sometida a presión por medio de rodillos de acero inoxidable de 30.5x76.2 cm. a 71.1x132.1 cm. dependiendo del flujo y capacidad de producción, dichos rodillos giran en sentidos opuestos a la misma velocidad la cual puede variar de 250 a 450 r.p.m. para producir hojuelas relativamente delgadas, para cereales de desayuno de rápido cocimiento; estas hojuelas tienen un grosor aproximado de 0.25 a 0.38mm. La avena que no se somete a la operación de corte y es laminada directamente pierde de un 50 a un 75% de su grosor original hasta alcanzar de 0.5 a 0.63mm para un cereal de

desayuno regular. El contenido de humedad de la avena laminada es de aproximadamente 10 a 12%.

A continuación las hojuelas se pasan a través de tamices, donde las partículas finas producidas durante el laminado son removidas, así como los aglomerados de hojuelas producidos por sobrecocción. Finalmente las hojuelas son sometidas a un proceso de enfriado por corrientes de aire para reducir el contenido de humedad de 10-12% a 9-11.5% y reducir la temperatura de 93°C a 43°C aproximadamente, de esta forma las hojuelas pueden ser empacadas y se asegura una buena vida de anaquel.

El producto final representa del 50 al 60% en peso de la avena industrializada, este rendimiento depende de la calidad de la avena y de la eficiencia general del sistema de procesamiento.

10.5 Productos y subproductos

10.5.1 Productos

Aunque la avena en hojuelas constituye el principal producto final, ya sea en hojuelas regulares o en hojuelas de cocción rápida (instantáneas), algunos productores también manufacturan harina de avena, la cual se utiliza principalmente como alimento para bebés o en cereales de desayuno "listos para comer", los cuales son una fuente de proteínas de buena calidad y con cualidades sensoriales agradables.

10.5.2 Subproductos

10.5.2.1 Cascarilla

Por lo menos el 25% de la avena lo constituye la cascarilla y consecuentemente un gran volumen debe ser molida mediante una máquina trituradora de impacto. La cascarilla obtenida es utilizada como ingrediente en la alimentación animal o en la producción de disolventes industriales, principalmente furfural.

10.5.2.2 Rechazo

Está constituido por avena ligera, doble y tipo alfiler, la cual es reinovida durante la operación de limpieza y generalmente es utilizada en alimentación animal. Aunque es indeseable en el proceso de industrialización de la avena, ésta es nutricionalmente equivalente a la avena regular por lo que es una excelente fuente de nutrimentos para animales de granja. Esta fracción representa aproximadamente del 8 al 11% de la avena original, la cantidad puede variar considerablemente dependiendo de la calidad de la avena adquirida y de la región de origen.

10.5.2.3 Mezcla de granos y semillas

Durante la operación de limpieza se obtiene aproximadamente 2 a 3 % de una mezcla de maíz, trigo, cebada, soya, semillas de girasol y maleza, la cual es posteriormente molturada y vendida como alimento para animales.

10.5.2.4 Avena de segunda calidad

Conocida como avena fina, subproducto de las operaciones de corte y laminado, representa aproximadamente del 3 al 5% en una planta eficiente. Puede ser vendida como suplemento alimenticio de alta concentración de proteína para la alimentación animal o incorporarse al sistema de molienda para la producción de harina de avena.

**CAPÍTULO XI
CAMBIOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO**

11.1 PROTEÍNAS

Existe poca información sobre el efecto del almacenamiento en las proteínas de avena, sin embargo, en términos generales, las malas condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, tiempo) pueden afectar el contenido proteico de los cereales, así como sus propiedades químicas y fisicoquímicas por reacciones de Maillard o por desnaturalización de las proteínas.

El oscurecimiento no enzimático por reacciones de Maillard generalmente requiere altas temperaturas para llevarse a cabo, pero también pueden ocurrir a temperaturas ligeramente superiores a los 20°C durante tiempos prolongados de almacenamiento. Estas reacciones pueden ocurrir óptimamente a humedades relativas entre 60 y 70%, pero pueden ser inhibidas arriba de este nivel o por abajo del 25% de humedad relativa.

En el almacenamiento de los cereales en condiciones de humedad baja, el calor es la causa más frecuente de desnaturalización, lo cual resulta en la pérdida de varias propiedades funcionales como la solubilidad y actividad enzimática (Multon, 1988).

Durante el almacenamiento de la pasta elaborada con harina de trigo se presentan pérdidas de lisina de aproximadamente 25% en 40 a 50 semanas a 25°C y de 6 a 12 semanas a 45°C (Fabriani y Lintas, 1988).

El contenido total de proteína en el grano de arroz no cambia significativamente durante el almacenamiento, mientras que sus propiedades químicas y fisicoquímicas cambian significativamente. La solubilidad de su fracción proteica, así como la actividad de las proteasas disminuye durante el almacenamiento. Especialmente a altas temperaturas de almacenamiento se ha encontrado un marcado decremento en el contenido de aminoácidos. Durante el almacenamiento del grano de arroz se han observado cambios de color relacionados con el oscurecimiento no enzimático por reacciones de Maillard. A elevadas

Capítulo XI Cambios durante el almacenamiento

temperaturas de almacenamiento se ha observado un aumento significativo en el peso molecular y en el número de puentes de azufre (Chastril, 1994).

Se examinó el comportamiento de la globulina de avena almacenada en solución con dodecil sulfato de sodio (SDS) en concentraciones de 0 a 37mM por electroforesis en gel de poli(acrilamida) (SDS-PAGE) y se encontró que las soluciones de globulina de avena almacenadas con SDS (20mM) a temperatura ambiente mostraron disociación de sus subunidades (58,000Da) en polipéptidos ácidos y básicos de aproximadamente 36,000 y 22,000 Da de peso molecular respectivamente. Esta disociación de subunidades en ausencia de agentes reductores como el β -mercaptoetanol fue causada por una reacción de intercambio sulfidril-disulfuro catalizada por un medio básico mientras que al bloquear los grupos sulfidrilos libres con iodoacetato o N-etilmalimidato se previno la disociación de las subunidades. Estos cambios enfatizan la necesidad de evitar prolongar el almacenamiento antes del análisis SDS-PAGE de la globulina de avena y otras proteínas que contengan puentes disulfuro y grupos sulfhidrilo (Harwalkar, 1994).

11.2 CARBOHIDRATOS

Los mecanismos por los cuales los β -glucanos disminuyen los niveles de colesterol y glucosa en sangre no se conocen del todo, pero el incremento en la viscosidad luminal en el tracto gastrointestinal se sabe que es de gran importancia. Gallaher et al (1993) demostraron una relación entre la viscosidad y la disminución en los niveles de colesterol en sangre. La solubilidad y el peso molecular podrían ser factores determinantes de la viscosidad en el tracto gastrointestinal.

Es posible que el procesamiento, el cocinado e incluso el almacenamiento puedan cambiar las propiedades fisicoquímicas de los β -glucanos y de esta forma se vean modificados sus efectos fisiológicos, sin embargo, es necesario realizar una mayor investigación al respecto.

Durante el almacenamiento a -20°C de panecillos elaborados con salvado de avena, la cantidad de β -glucanos extraídos por digestión *in vitro* disminuyó, es decir, disminuyó su solubilidad. No se encontró ningún cambio en el peso molecular de los β -glucanos durante el almacenamiento (Beer et al, 1997).

11.3 LÍPIDOS

La avena es el cereal con mayor contenido lipídico y debido a que posee un sistema lipásico muy activo, resulta de suma importancia controlar las condiciones de almacenamiento, así como la aplicación de un tratamiento térmico previo para desnaturalizar dicho sistema lipásico, ya que de lo contrario este cereal y sus productos tendrían muy corta duración, debido a la rápida liberación de ácidos grasos, causando la eventual oxidación de los mismos y por lo tanto su rancidez.

Mientras la estructura del grano de avena permanezca intacta, la humedad sea baja y temperatura ambiental, durante el almacenamiento, los lípidos mostrarán muy pocos cambios (Liukkonen et al, 1992).

En términos generales, la concentración de ácidos grasos libres en cereales aumenta al aumentar la humedad y el tiempo de almacenamiento.

El contenido crítico de humedad durante el almacenamiento para la mayoría de los cereales es de 14.5-15%, mientras que para la avena es de 13.5-14%, arriba de este nivel, las lipasas y otras enzimas degradativas incrementan su actividad (Zhou et al, 1999).

En un estudio llevado a cabo en Noruega (Molteberg, 1995) investigaron los efectos de tiempo de almacenamiento, contenido de humedad durante el almacenamiento y el efecto del tratamiento térmico (en muestras con y sin cascarilla) en el contenido y composición de los ácidos grasos libres de tres variedades de avena (Kapp, Mustang y Svea) durante 3.5 y 15.5 meses de almacenamiento. Y estos fueron algunos de los resultados que se obtuvieron:

Contenido lipídico

No se encontraron diferencias significativas en el contenido lipídico entre los dos tratamientos (muestras con y sin cascarilla). La variedad Kapp poseía un mayor contenido lipídico que el de las variedades Mustang y Svea, lo cual es deseable en alimentación animal, mientras que la variedad Mustan se usa para procesamiento industrial.

El contenido lipídico (extracción con éter) fue menor en aquellas muestras almacenadas a la mayor humedad. No se encontraron diferencias en el contenido lipídico obtenido con extracción con éter después de la hidrólisis ácida en las

Capítulo XI Cambios durante el almacenamiento

diferentes condiciones de almacenamiento y fue mayor que el obtenido por extracción con éter solamente, ya que con el primer método se obtienen los lípidos totales.

Acidez: En todos los casos la acidez aumentó significativamente con el aumento de la humedad relativa y a mayor tiempo de almacenamiento.

Ácidos grasos totales y ácidos grasos libres: La cantidad de ácidos grasos libres totales aumentó con el incremento de la humedad relativa y el tiempo de almacenamiento y disminuyó con el tratamiento térmico. La reducción de los ácidos grasos libres totales fue mayor en las muestras tratadas térmicamente con cascarillas (61%) que las muestras descascarilladas (52%).

Un estudio posterior (Molteberg, 1996) comparó los compuestos volátiles, producto de la oxidación lipídica, con el análisis sensorial descriptivo de harinas de avena con y sin tratamiento térmico. Los niveles de ácidos grasos totales disminuyeron significativamente durante el almacenamiento de las harinas de avena sin tratamiento térmico, particularmente entre las semanas 18 y 42. Las harinas de avena tratadas térmicamente por los dos métodos, con y sin cascarilla, fueron igualmente estables durante el almacenamiento. Se observó una mayor liberación de ácidos grasos libres durante las cinco primeras semanas. La composición relativa de ácidos grasos libres cambió durante el almacenamiento resultando en un decremento de la relación ácidos grasos libres insaturados contra los ácidos grasos libres saturados. Los niveles relativos de C:18:1 y C:18:0 también disminuyeron durante el almacenamiento. De los compuestos volátiles productos de la oxidación lipídica, el hexanal fue el que predominó en las muestras sin tratamiento térmico y tuvo el mayor cambio de concentración durante el almacenamiento y tratamiento térmico, aumentó durante el almacenamiento y disminuyó con el tratamiento térmico, siendo menor en el tratamiento térmico sin cascarilla. En términos generales el contenido de volátiles en muestras sin tratamiento térmico cambió un poco durante las primeras cinco semanas de almacenamiento, los mayores cambios ocurrieron entre las semanas 18 y 42 de almacenamiento. El almacenamiento de las harinas de avena tratadas térmicamente resultó en un pequeño incremento en el contenido de la mayoría de los compuestos volátiles. Se utilizaron métodos estadísticos para relacionar el contenido de compuestos volátiles con el análisis sensorial descriptivo

Capítulo XI Cambios durante el almacenamiento

que se llevó a cabo para las harinas con y sin tratamiento térmico, las harinas que obtuvieron mayores cambios en el sabor, los niveles de ácidos grasos libres y el contenido de volátiles fueron aquellas que no fueron tratadas térmicamente, debido a que no fueron inactivadas las enzimas lipolíticas. Durante las primeras cinco semanas de almacenamiento, se observaron cambios como el aumento del sabor amargo y la reducción de los sabores dulce y a avena. Estos cambios pueden estar relacionados con el aumento en la cantidad de ácidos grasos libres como el ácido linoleico que se relaciona con un débil sabor amargo o a los monohidroxiciglicéridos que son conocidos por su importante contribución al sabor amargo. Después de 18 semanas de almacenamiento, la oxidación de ácidos grasos insaturados libres fue evidente, debido al aumento de volátiles, a la disminución de los niveles de ácidos grasos totales y a la disminución en la relación entre los ácidos grasos libres (insaturados a saturados) y los ácidos grasos totales. Sin embargo, los mayores cambios en todos los parámetros ocurrieron durante las subsecuentes 24 semanas de almacenamiento.

11.4 ANTIOXIDANTES

La avena no procesada comúnmente consiste en mezclas de diferentes variedades domésticas que han sido almacenadas a 15% de humedad, a temperatura ambiente, de 6 a 15 meses. A pesar de que al mantener la estructura del cereal intacta se restringe la actividad enzimática, condiciones adversas de almacenamiento, podrían permitir la degradación lipídica o de otros componentes del cereal (Molteberg, 1996a).

Existe poca información de cómo afecta el almacenamiento a los compuestos fenólicos responsables de la actividad antioxidante de la avena, sin embargo, en la siguiente tabla se muestra el efecto del tiempo de almacenamiento y la humedad relativa en algunos compuestos fenólicos cuantificados (Dimberg et al, 1996).

Capítulo XI Cambios durante el almacenamiento

Tabla 11.1 Efecto de la humedad relativa y el tiempo de almacenamiento sobre algunos compuestos fenólicos obtenidos de la avena.

	% Humedad Relativa			Tiempo de almacenamiento (meses)	
	30	55	80	3.5	15.5
Compuestos	30	55	80	3.5	15.5
Ácido vainillínico	1.2	1.0	>1.5	1.0	>1.3
Ácido cafeico	<1.6	2.4	>2.7	1.3	>3.1
Ácido p-cumárico	1.3	1.2	>2.0	1.3	>1.7
Ácido ferúlico	2.0	2.3	2.5	2.0	>2.5
Vainillina	2.3	2.1	2.3	2.0	>2.4
p-hidroxi benzaldehído	0.9	0.9	0.8	0.8	>0.9
Coniferol	>1.0	0.8	0.7	0.9	0.8
Avenantramida 1	31	28	27	28	30
Avenantramida 3	44	42	40	39	45
Avenantramida 4	38	37	33	36	36

Fuente: Dimberg et al, 1996

Puede observarse que al aumentar la humedad relativa (80%) aumentan algunos compuestos fenólicos tales como el ácido vainillínico, el ácido p-cumárico y el ácido cafeico, mientras que el coniferol tuvo la mayor concentración al 30% de humedad relativa, otros compuestos no presentaron prácticamente ningún cambio durante el almacenamiento a las diferentes condiciones de humedad relativa. Los autores reportan que el cambio en la humedad relativa durante el almacenamiento tiene solamente un efecto mínimo sobre la variación total de los compuestos fenólicos.

Capítulo XI Cambios durante el almacenamiento

Al aumentar el tiempo de almacenamiento aumentan también la mayoría de los compuestos fenólicos de interés, con excepción de las avenantramidas que permanecen prácticamente estables durante el almacenamiento. Resalta el caso del ácido cafeico que tuvo un incremento en su concentración de casi el 150% de los 3.5 meses de almacenamiento a los 15.5 meses. Estos resultados contrastan con los reportados anteriormente para harina de trigo (Sosulski et al, 1982) en donde el contenido de ácidos fenólicos libres disminuye considerablemente durante 6 meses de almacenamiento. En este estudio el almacenamiento se llevó a cabo como grano entero y no como harina de avena, por lo que de esta forma se previno la degradación de los ácidos fenólicos.

Un estudio posterior sobre el impacto que pudiera tener el almacenamiento en las cualidades sensoriales del grano de avena, reveló que al aumentar el tiempo de almacenamiento de 3.5 meses a 15.5 meses, se veían reducidas las intensidades en los atributos de textura, dulzura, resabio, olor y sabor a avena (Molteberg, 1996a).

CONCLUSIONES

- La avena ocupa el sexto lugar en producción de granos a nivel mundial después del trigo, arroz, maíz, sorgo y cebada, sin embargo, se ha observado un decremento en la producción de este cereal a través del tiempo (1970-2001).
- La composición química de la avena varía dependiendo de factores tales como, el cultivar, lugar geográfico de cultivo, condiciones ambientales, estado de madurez del grano, entre otros.
- La avena posee un gran valor nutritivo, muchos de los nutrientes de la avena se encuentran concentrados en las capas externas del grano (aleurona y subaleurona) por lo que la ingesta de este cereal entero (integral) es altamente recomendable. Nutricionalmente, este cereal es limitante en lisina, metionina y treonina
- De 1963 a la fecha, los (1-3)(1-4)- β -D-glucanos de avena han recibido mucha atención por sus efectos fisiológicos de disminución de los niveles de colesterol y glucosa en sangre, sin embargo, es necesario realizar una mayor investigación sobre el impacto que pudiera tener el procesamiento sobre estas cualidades benéficas.
- La capacidad de los β -glucanos de formar geles en soluciones acuosas lo hacen un hidrocóide con múltiples aplicaciones potenciales en la industria alimentaria. Alcanza altas viscosidades a bajas concentraciones, es extremadamente pseudoplástico a concentraciones $\geq 0.5\%$, es estable en soluciones de sacarosa al 40% y en presencia de sal.
- El contenido de lípidos en la avena es superior a los demás cereales, esto determina en gran medida su contenido energético y tiene un gran impacto en su calidad nutricional por su alto contenido de ácidos grasos insaturados.
- La avena es una buena fuente de manganeso, magnesio y hierro, así como de calcio, zinc y cobre, además de vitaminas como la tiamina y el ácido pantoténico. Siendo el salvado donde se encuentran en mayor concentración dichos nutrientes.

Conclusiones

- Posee propiedades antioxidantes únicas, atribuidas principalmente a los compuestos del tipo fenólico. Los extractos metanólicos de avena ofrecen la ventaja de además de ser eficientes antioxidantes (a partir de 0.3% basado en el contenido fenólico total); son estables a las altas temperaturas y poseen efecto antipolimerizante aún en concentraciones menores a 0.007%.
- El almacenamiento se ve afectado por tres factores principales que son temperatura, humedad y tiempo. El grano es estable y exhibe pocos cambios físicos, químicos y nutricionales en condiciones de almacenamiento de 20° C y 12-14% de humedad por aproximadamente un año de almacenamiento.
- El contenido crítico de humedad de almacenamiento para la avena es de 13.5-14%, arriba de este nivel las lipasas y otras enzimas degradativas aumentan su actividad, lo que ocasiona un aumento en la concentración de ácidos grasos libres al aumentar la humedad y tiempo de almacenamiento.
- El hexanal es un compuesto volátil producto de la oxidación lipídica que se usa como indicador del contenido total de productos de oxidación que aumenta al incrementarse el contenido de humedad y tiempo de almacenamiento.
- El oscurecimiento no enzimático por reacciones de Maillard puede ocurrir a temperaturas ligeramente superiores a los 20°C, a humedades relativas entre 60 y 70% durante tiempos prolongados de almacenamiento.
- Las altas temperaturas de almacenamiento en condiciones de humedad baja ocasionan desnaturalización de las proteínas, lo cual resulta en pérdida de propiedades funcionales y actividad enzimática.
- La solubilidad de los β -glucanos disminuye al aumentar el tiempo de almacenamiento.
- Al aumentar el tiempo de almacenamiento aumentan también la mayoría de los compuestos fenólicos con actividad antioxidante, con excepción de las avenantramidas que permanecen prácticamente estables.
- Las altas temperaturas afectan los compuestos fenólicos con actividad antioxidante, por un lado los ácidos ferúlico, cafeico y p-cumárico son susceptibles al rompimiento térmico, mientras que otros son desarrollados o

Conclusiones

aumentan su concentración por acción del tratamiento térmico como el ácido vainillínico, vainillina, p-hidroxibenzaldehído y coniferol.

- Las cualidades sensoriales de la avena se ven afectadas por el almacenamiento. Al aumentar el tiempo de almacenamiento se ven reducidas las intensidades en los atributos de textura, dulzura, resabio, olor y sabor a avena, y aumenta el sabor amargo, asociado al deterioro lipídico.
- Durante su procesamiento industrial, el tratamiento térmico con vapor constituye una operación fundamental, ya que elimina la actividad lipasa garantizando la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aastrup S. 1979. The effect of rain on β -glucan content in barley grains. *Carlsberg Reserch Community* 44: 381-393.
2. Aman P. and Graham H. 1987. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1-3)(1-4)- β -D-glucan in barley and oats. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 35: 704-709.
3. Anderson J.W. and Chen W.L. 1986. Cholesterol-lowering properties of oat products. En *Oats: Chemistry and Technology*, F.H. Webster, ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul MN, (U.S.A.), Capitulo 11 pp. 309-333.
4. Anderson J.W., Jones A.E., and Riddell-Manson S. 1994. Ten different dietary fiber have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *Journal of Nutrition* 124: 78-83.
5. Ashida S., Okazaki S., Tsuzuki W. and Suzuki T. 1991. Chemiluminiscence method for the evaluation of antioxidant activity using lipid hydroperoxide-luminol. *Anal. Sci.* 7: 93 - 96.
6. Auerbach R.H., and Gray D.A. 1999. Oat antioxidant extraction and measurement towards a commercial process. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 385-389.
7. Autilo K., Myllymaki O. and Malkki Y. 1987. Flow properties of solutions of oat β -glucan. *Journal of Food Science* 52: 1364-1369.
8. Bailey G.S., and Williams D.E. 1993. Potencial mechanisms for food related carcinogens and anticarcinogens. *Food Technology*, 47: 105 - 118.
9. Beer M.U., Arrigoni E. and Amadó R. 1996. Extraction of oat gum from oat bran: Effects of process on yield, molecular weight distribution, viscosity and (1-3)(1-4)- β -glucan content of the gum. *Cereal Chemistry* 73: 58-62.
10. Beer M.U., Wood P.J., Weisz J. and Fillion N. 1997. Effect of cooking and storage on the amount and molecular weight of (1-3)(1-4)- β -D-glucan extracted from oat products by in vitro digestion system. *Cereal Chemistry* 74: 705-709.
11. Brunner B.R. and Freed R.D. 1994. Oat grain β -glucan content as affected by nitrogen level, location and year. *Crop Science* 34: 473-476.
12. Buck D.F. 1981. *Journal of the American Oil's Chemists Society* 58: 275-281.
13. Burkow I.C., Vikersveen L. and Saarem K. 1995. Evaluation of antioxidants for cod liver oil by chemiluminiscence and the rancimat method. *JACCS* 72: 553-557.
14. Burri J., Graf M., Lambelet P. and Löliger J. 1989. Vanillin: More than a flavoring agent-a potent antioxidant. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 48: 49-56.

Bibliografía

15. Burrows B.D. 1986. Breeding oats for food and feed: Conventional and new techniques and materials. En *Oats: Chemistry and Technology*; Webster F.H. ed; American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN (USA). Capítulo 2 pp 13-116.
16. Camire A.L. and Clydesdale F.M. 1981. Effect of pH and heat treatment on the binding of calcium, magnesium, zinc and iron to wheat bran, and fractions of dietary fiber. *Journal of Food Science* 46: 548 – 551.
17. Carr J.M., Glatters S., Jeraci J.L. and Lewis B.A. 1990. Enzymatic determination of β -glucan in cereal based foods products. *Cereal Chemistry* 67:226-229.
18. Casterline J.L., and Ku Y. 1993. Binding of zinc to apple fiber, wheat bran and oat fiber component. *Journal of Cereal Science* 58: 365 –368.
19. Chastril J. 1994. Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice. En *Rice Science and Technology*. Marshall W.E. y Wodsworth J. I. Editores. Marcel Dekker Inc. N.Y. (USA). Capítulo 4. pp 49-81.
20. Collins F.W. 1989. Oat Phenolics: Avenanthramides, Novel Substituted N-Cinnamoylanthranilate Alkaloids from Oat Groats and Hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 60-66.
21. Collins F.W. 1986. Oats phenolics: Structure, occurrence and function. En *Oats: Chemistry and Technology*. F.H. Webster, ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, U.S.A. pp.227-295.
22. Collins F.W., McLachlan D.C., and Blackwell B.A. 1991. Oat Phenolics: Avenaluminic acids, a new group of bound phenolic acids from groats and hulls. *Cereal Chemistry* 68: 227 – 295.
23. Daniels D.G.H. and Martin H.F. 1967. Antioxidants in oats: Monoesters of caffeic and ferulic acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18: 589-595.
24. Dawkins N.L. and Nnanna I.A. 1993. Oat gum and β -glucan extraction from oat bran and rolled oats: Temperature and pH effects. *Journal of Food Science* 58: 562-566.
25. De Schrijver R. and Conrad S. 1992. Availability of calcium, magnesium, phosphorus, iron, and zinc in rats fed oat bran containing diets. *J.Agric.Food Chem.* 40:1166-1171.
26. Dean D. and Commers E. 1986. Oat cleaning and processing. En *Oats: Chemistry and Technology*; Webster F.H. ed; American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN (USA). Capítulo 13 pp 371- 412 .
27. Deguyte-Fomins L., Sontag-Strohm T., and Salovaara H. 2002. Oat bran fermentation by rye sourdough. *Cereal Chemistry* 79: 345-348.
28. Dimberg H.L., Theander O. and Lingnert H. 1993. Avenanthramides a group of phenolic antioxidants in oats. *Cereal Chemistry* 70: 637-641.

Bibliografía

29. Dimberg L.H., Molteberg E.L., Solheim R., and Frolch W. 1996. Variation in oat grats due to variety, storage and heat treatment. I : Phenolic Compounds. *Journal of Cereal Science* 24: 263-272.
30. Donhowe E.T. and Peterson D.M. 1983. Isolation and characterization of oat aleurone and starchy endorperm protein bodies. *Plant Physiology* 71: 519-523.
31. Duve K.J. and White P.J. 1991. Extraction and identification of antioxidants in oats. *JAOCS*. 68: 365-370.
32. Eggum B.O. and Gullord M. 1983. The nutritional quality of some oat varieties cultivated in Norway. *Qual Plant-Plant Food for Human Nutrition* 32: 67-73.
33. Eggum B.O., Hansen I. and Larsen T. 1989. Protein quality and digestible energy of selected food determined in balance trials with rats. *Plants Food for Human Nutrition* 39: 13-21.
34. Ekholm P., Virkki L., Ylinen M., Johansson L., and Varo P. 2000. Effects of natural chelating agents on the solubility of some physiologically important mineral elements in oat bran and oat flakes. *Cereal Chemistry* 77: 562-566.
35. Ekstrand B., Gangby I., Akesson G., Stöllman U., Lingnert H., and Dahl S. 1993. Lipase activity and development of rancidity in oat and oats products related to heat treatment during processing. *J. Cereal Sci.* 17: 247-254.
36. Ekstrand B., Gangby I., and Akesson G. 1992. Lipase activity in oats-distribution, pH dependance and heat inactivation. *Cereal Chemistry* 69: 379-381.
37. Emmons C.L. and Peterson D.M. 2001. Antioxidant activity and phenolic content of oat as affected by cultivar and location. *Crop Science* 41: 1676-1681.
38. Emmons C.L., Peterson D.M. and Paul G.L. 1999. Antioxidant capacity of Oat (*Avena sativa* L.) Extracts 2. In vitro Antioxidant Activity and Contents of Phenolic and Toccol Antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 4894-4898.
39. Escárcega Pliego J.J. 2001. Comportamiento reológico y de panificación en mezclas de harina de trigo y avena sometida a un tratamiento térmico. Tesis Profesional. Facultad de Química. U.N.A.M. México D.F.
40. Fabriani G. and Lintas C. 1988. Durum wheat: Chemistry and Technology. American Association fo Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN (USA). pp 93-119.
41. FAO/WHO/Expert Consultation. 1990. Protein Quality Evaluation. FAO/WHO Nutrition Meetings, Report Series 724. Food and Agriculture Organization/World Health Organization, Roma.
42. FAO/WHO/ONU. 1985. Energy and Protein requirements. FAO/WHO Nutriton meetins. Food and Agriculture Organization/ World Health Organization, Report Series 724.
43. Fennema O.R. 1993. Química de los Alimentos. Edit. Acribia S.A. España. pp. 725,726, 966 223-2330.

44. Fulcher R.G. 1986. Morphological and chemical organization of the oat kernel. En *Oats: Chemistry and Technology*. Webster F.W: Ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN. Captulo 3. pp. 47-74.
45. Gallager D.D., Hassel C.A., Lee K.J. and Gallager C.M. 1993. Viscosity and fermentability as attributes of dietary fiber responsible for hypocholesterolemic effect in hamsters. *Journal of Nutrition* 123:244-252.
46. Gibinski M. 2000. Chemical composition of the selected varieties and strains of oats. *Zywnosc* 7: 84-91.
47. Givens D.I., Davies T.W. and Laverick J.D. 2000. Dietary fibre fractions in hulled and naked winter oat grain: effects of cultivar and various agronomic factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 491-496.
48. Gordon M.H. and Magos P. 1983. *Food Chemistry*. 10: 141-148.
49. Gray D.A., Auerbach R.H., Hill S., Wang R., Campbell G.M., Webb C. and South J.B. 2000. Enrichment of oat antioxidant activity by dry milling and sieving. *Journal of Cereal Science* 32: 89-98.
50. Hallfrisch J. and Behall K. M. 2003. Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (Nu-trimX).I. Breath hydrogen, methane, and gastrointestinal symptoms. *Cereal Chemistry* 80: 76-79.
51. Hallfrisch J., Scholfield D.J., and Behall K. M. 2003. Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (Nu-trimX).II. Comparison of glucose and insulin responses. *Cereal Chemistry* 80: 80-83.
52. Hartley R.D. and Keene A.S. 1984. Aromatic aldehyde constituents of graminaceous cell walls. *Phytochemistry* 23: 2233-2237.
53. Hartunlian-Sowa S.M., and White P.J. 1992. Characterization of oat starch isolated from groats with different amounts of lipids. *Cereal Chemistry* 69: 521- 527.
54. Harwalkar V.R., Ma C.Y. and Boutin-Muma B. 1989. Changes of oat globulin during storage with sodium dodecyl sulfate. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 4: 387-389.
55. Heinl  R.L., Lehtinen P., Oksman-Caldentey K.M., and Pautanen K. 2002. Differences between sensory profiles and development of rancidity during long-term storage of native and processed oat. *Cereal Chemistry* 79: 367-375.
56. Heinl  R.L., Oksman-Caldentey K.M., Latva—kala K., Lehtinen P., and Poutanen K. 2001. Effect of drying treatment conditions on the sensory profile of germinated oat. *Cereal Chemistry* 78: 707 – 714.
57. Hern andez M., Vega A. y Sotello A. 1984. Determinaci n de la digestibilidad proteica *in vitro* e *in vivo* en cereales y leguminosas crudos y cocidos. *Arch. Latinoam. Nutr.* 34: 513-522.

Bibliografía

58. Hirayama O., Takagi M., Hukumoto K. and Katoh S. 1997. Evaluation of Antioxidant Activity by chemiluminescence. *Anal. Biochem.* 247: 237-241.
59. Hosney R.C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, España. pp 24,25, 82, 174-178.
60. Humphreys D.G., Smith D.L. and Mather D.E. 1994. Nitrogen fertilizer and seeding date induced changes in protein, oil and β -glucan contents of four oat cultivars. *Journal of Cereal Science* 20: 283-290.
61. Idouaine A., Khan M.J., and Weber C.M. 1996. In vitro binding capacity of wheat bran, rice bran, and oat fiber for Ca, Mg, Cu, and Zn alone and in different combinations. *J. Agric. Food Chem.* 44: 2067 – 2072.
62. Inglett G.E. 2000. Soluble hydrocolloid food additives and method of making. US patent 6060519.
63. Inglett G.E. 2001. New grain products and their beneficial components. *Nutrition Today* 36: 66-68.
64. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. 1992. Tablas de Uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Comisión Nacional de la Alimentación. Pág. 1 A – 2 B.
65. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. 2000. Tablas de composición de alimentos mexicanos. Dirección de Nutrición. Departamento de Ciencia y tecnología. Departamento de Informática e investigación.
66. Izydorczyk M.S., Billaderis C.G., Marci L.J. and MacGregor A.W. 1998. Fractionation of oat (1-3)- β , (1-4)- β -D-glucans and characterization of the fractions. *Journal of Cereal Science* 27: 321-325.
67. Jiménez C.A. Abril 1992. Descripción de variedades de avena cultivadas en México. Folleto técnico No. 3. SAGAR.
68. Johanson L., Virkki L., Maunu S., Lehto M., Ekholm P. and Varo P. 2000. Structural characterization of water-soluble β -glucan from oat bran. *Carbohydrate Polymers* 42: 143-148.
69. Kahlon T.S. and Woodruff C.L. 2003. *In vitro* binding of bile acids by rice bran, oat bran, barley and β -glucan enriched barley. *Cereal Chemistry* 80: 260-263.
70. Kirk R.S., and Sawyer R. 1991. Pearson's composition and analysis of foods, Longman Scientific and Technical, 9a. U.S.A. 9thed. pp 283-329.
71. Kobayashi S., Schwartz S.J. and Lineback D.R. 1986. Comparison of the structures of amylopectins from different wheat varieties. *Cereal Chemistry* 63: 71-76.

72. Krishnan P.G., Park W.J., Kephart K.D., Reeves D.L., and Yarrow G.L. 1994. Measurements of protein and oil content of oat cultivars using near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Foods World* 39: 105-108.
73. Lam T.B.T., Ilayama K. and Stone B.A. 1992. Cinnamic acid bridges between cell wall polymers in wheat and phalaris internodos. *Phytochemistry* 31: 1179-1183.
74. Lapveteläinen A. and Aro T. 1994. Protein composition and functionality of high-protein oat flour derived from integrated starch-ethanol process. *Cereal Chemistry* (71) 133-139.
75. Lapveteläinen A., Poulanne E. and Salovaara H. 1994. High-protein oat functionality assessment in bread and sausage. *Journal of Food Science* 59: 1081-1085.
76. Lee I. and Hammond E.G. 1990. Oat (*Avena sativa* L.) caryopses as a natural lipase bioreactor. *JAOCs* 67: 761 – 765.
77. Lehtinen P., Kiliäläinen K., Lehtomäki I., and Laakso S. 2003. Effect of heat treatment on lipid stability in processed oats. *Cereal Chemistry* 37: 215-221.
78. Lehto S., Laakso S., and Lehtinen P. 2003. Enzymatic oxidation of hexanal by oat. *Journal of Cereal Science* 38: 199-203.
79. Lim H.S., White P.J. and Frey J. 1992a. Genotypic effects on β -glucan content of oat lines grown in two consecutive years. *Cereal Chemistry* 69: 262-265.
80. Lim W.J., Liang Y.T., Seib P.A. and Rao C.S. 1992. Isolation of oat starch from oat flour. *Cereal Chemistry* 69: 233-236.
81. Liukkonen K. H., Montfort and Laakso S.V. 1992. Water -induced lipid changes in oat processing. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 40: 126 – 130.
82. Liukkonen K.H., Johnsson T., and Laakso S. 1995. Alkaline sensitivity of lipase activity in oat flour: Factors contributing to inhibition. *Journal of Cereal Science* 21: 79 – 85.
83. Lockhart H.B. and Hurt D.H. 1986. Nutrition of oats. En *Oats: Chemistry and Technology*; Webster F.H. ed; American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN (USA). Capitulo 10 pp 297-308.
84. Luhaloo M., Martensson A-C, Andersson R. and Aman P. 1998. Compositional analysis and viscosity measurements of commercial oat bran. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76: 142-148.
85. Ma C-Y and Harwalakar V.R. 1984. Chemical characterization and functionality assessment of oat protein fractions. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 32: 144-149.
86. Ma C-Y. 1983. Chemical characterization and functionality assessment of protein concentrates from oats. *Cereal Chemistry* 60: 35-42.
-

Bibliografía

87. Ma C-Y., and Wood D.F. 1987. Functional Properties of oat proteins modified by acylation, trypsin hydrolysis or oleate treatment. *JAOCS* 64: 1726-1731.
88. MacArthur-Grant L.A. 1986. Sugars and nonstarchy polysaccharides in oats. En *Oats: Chemistry and Technology*. F.H. Webster, ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN. (U.S.A.). Capítulo 4 pp. 75-91.
89. Madhavi D.L., Deshpande S.S., and Salunkhe D.K. 1996. *Food Antioxidants*. Marcel Dekker, Inc. New York . pp. 93-104.
90. Matlashewski G.J., Urquhart A.A., Sahasrabudhe M.R., and Altosaar I. 1982. Lipase activity in oat flour suspensions and soluble extracts. *Cereal Chemistry* 59: 418 – 422.
91. Matz S.A. 1991. *The Chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed*. Published by Van Nostrand Reinhold. 2a. Ed. NY (USA). Capítulo 3 pp 107- 134.
92. Mikola M. and Jones B.L. 2000. Characterization of oat endoproteinases that hydrolyze oat globulins. *Cereal Chemistry* 77: 572-577.
93. Mikola M. and Jones B.L. 2000a. Electrophoretic and 'In solution' analysis of oat endoproteinases extracted from germinated oats. *Journal of Cereal Science* 31: 15-23.
94. Mikola M. and Mikkonen A. 1999. Occurrence and stabilities of oat trypsin and chymotrypsin Inhibitors. *Journal of Cereal Science* 30: 227-235.
95. Mikola M., Brinck O. and Jones B.L. 2001. Characterization of oat endoproteinases that hydrolyze oat avenins. *Cereal Chemistry* 78: 55-58.
96. Miller S.S., Fulcher R.G., and Altosaar I. 1989. Evaluation of 4-Methylumbelliferyl heptane as a substrate of oat lipase. *J. Cereal Sci.* 10: 61-68.
97. Molteberg E.L., Solheim R., Dimberg L.H. and Frolin W. 1996a. Variation in oat groats due to variety, storage and heat treatment II: Sensory Quality. *Journal of Cereal Science* 24: 273-282.
98. Molteberg E.L., Magnus E.M., Bjørge J.M., and Nilsson A. 1996. Sensory and chemical studies of lipid oxidation in raw and heat-treated oat flours. *Cereal Chemistry* 73: 579 – 587.
99. Molteberg E.L., Vogt G., Nilsson A. and Frolin W. 1995. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. *Cereal Chemistry* 72: 88-93.
100. Multon J.L. 1988. *Preservation and Storage of grains, seeds and their by- products*. (Cereals, oil seeds, pulses and animal feed). Lavoisier Publishing Inc. Francia. pp 18-98.
101. Myllymäki O., Mälkki Y. and Autio K. 1989. A process for fractionating crop into industrial raw material. PCT Patent Appl WO 89/01294.
102. Parson D.B. 1989. *Manuales para la educación agropecuaria. Trigo, cebada y avena*. SEP/Trillas. 2ª. Ed. México. pp 1-28.

Bibliografía

103. Palon D. 1986. Oat Starch: Physical, Chemical and Structural Properties. En Oats: Chemistry and Technology. F.H. Webster, ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN. (U.S.A.). Capítulo 5 pp. 93-120.
104. Pedó I., Sgarbieri V.C. and Gutkoski L.C. 1999. Protein evaluation of four oat (*Avena sativa* L.) cultivars adapted for cultivation in the south of Brazil. Plant Foods for Human Nutrition 53: 297-304.
105. Peters F.N. Jr. and Musher S. 1937. Oat flour as an antioxidant. Industrial and Engineering Chemistry 29: 146-151.
106. Peterson DM. 1991. Genotype and environment effects on oat beta-glucan concentration. Crop Science 31: 1517-1520.
107. Peterson D.M. 2001. Oat antioxidants. Journal of Cereal Science 33: 115-129.
108. Peterson D.M. and Brinegar A.C. 1986. Oat storage proteins. En Oats: Chemistry and Technology; Webster F.H. ed; American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN (USA). Capítulo 7 pp 153-203.
109. Peterson D.M., Emmons C.L., and Hibbs A.H. 2001. Phenolic antioxidants and antioxidant activity in pearling fractions of oat groats. Journal of Cereal Science 33: 97-103.
110. Robbins G.S. and Pomeranz Y. 1971. Amino acid composition of oat groats Journal of Agricultural Food Chemistry 19: 536-539.
111. Robles S.R. 1983. Producción de granos y forrajes. Limusa. 4ª. Ed. México D.F. pp 267 -283.
112. Saastamoinen M., Kumpulainen J., and Nommela S. 1989. Genetic and environmental variation in oil content and fatty acid composition of oats. Cereal Chemistry 66: 296-300.
113. SAGAR. 1990 - 2001. Anuario estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Centro de Estadística Agropecuaria.
114. Saharabudhe M.R. 1979. Lipid composition of oats (*Avena sativa* L.). JAOCS 56: 80-84.
115. Sarwar G., et al. 1989. Digestibility of protein and amino acid in selected foods as determined by rat balance method. Plant Foods for Human Nutrition 39: 23-32.
116. Schrickel D.J. 1986. Oats production, value, and use. En Oats: Chemistry and Technology. Webster F.W; Ed. American Association of Cereal Chemists. St .Paul MN. Capítulo 1. pp. 1-11.
117. Shinnick F.L., Mathews R. and Ink S. 1991. Serum cholesterol reduction by oats and other fiber sources. Cereal Foods World 36: 815-821.
118. Skendi A., Billaderis C.G., Lazaridou A., Izidorczyk M.S. 2003. Structure and rheological properties of water soluble β -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena byzantina*. Journal of Cereal Science 38: 15-31.

119. Smith T., Broster W.H., and Siritler J.W. 1980. An assessment of barley straw and oat hulls as energy sources for yearling cattle. *J. Agric. Sci.* 95: 677 -868.
120. Sosulski F., Krygier K and Hogge L. 1982. Free, esterified and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 30: 337-340.
121. Stephen A.M., Dahl W.J., Johns D.M., and Englyst H. N. 1997. Effect of oat hull fiber on human colonic function and serum lipids. *Cereal Chemistry* 74: 379 -383.
122. Thomson S.A. and Weber C.W. 1981. Copper and zinc binding to dietary fiber sources: anion exchange column method. *J. Food Science* 47: 125-127.
123. Tian L.L. and White P.J. 1994. Antioxidant activity in oat extract in soybean and cottonseed oils. *JAACS* 71: 1079-1086.
124. Tian L.L. and White P.J. 1994a. Antipolymerization Activity of Oat Extract in Soybean and Cottonseed Oils under Frying Conditions. *JAACS* 71: 1087-1094.
125. Torum B., Vitery F.E. and Young Y.R. 1981. Nutritional role of soya protein for humans. *Journal of the American Oil Chemists Society* 58: 400-406.
126. Urquhart A.A., Brunell C.A., Allosar I., Matlashewski G.J., and Sahasrabudhe M.R. 1984. Lipase activity in oats during maturation and germination. *Cereal Chemistry* 61: 105 - 108.
127. Wang L.Z. and White P.J. 1994. Structure and Properties of Amylose, Amylopectin, and Intermediate Materials of Oat Starches. *Cereal Chemistry* 71: 263-268.
128. Wang L.Z., and White P.J. 1994a. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid contents. *Cereal Chemistry* 71: 443 - 450.
129. Weber E. and Newmann O. 1980. Protein bodies, storage organelles in plant seeds. *Biochemical Physiology* 75: 279-306.
130. Webster F.H. 1986. *Oats: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. U.S.A. pp. 219,220, 416-420, 301.
131. Welch R.W. and Lloyd J.D. 1989. Kernel (1-3)(1-4)- β -D-glucan content of oat genotypes. *Journal of Cereal Science* 9: 35-40.
132. Welch R.W. and Young Y.Y. 1980. The effects of variety and nitrogen fertilizer on protein production in oats. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31: 541-548.
133. Welch R.W., Leggett J.M. and Loyd J.D. 1991. Variation in the kernel (1-3)(1-4)- β -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science* 13: 173-178.
-

Bibliografía

134. Westertud E, Anderson R. and Aman P. 1993. Isolation and chemical characterization water-soluble mixed-linked β -glucans and arabinoxylans in oat millin fractions. *Carbohydrate Polymers* 20: 115-123.
135. White P.J. and Armstrong L.S. 1986. Effect of selected oat sterols on the deterioration of heated soybean oil. *JAOCS*. 63: 525-529.
136. Wisther R.L. y Daniel J.R. 1993. Carbohidratos. En *Química de los Alimentos*. Fennema O. R. Editorial Acribia S.A. España. Capítulo 3 pp. 81-156.
137. Wood P.J. 1986. Oat β -glucan: Structure, Location and Properties. . En *Oats: Chemistry and Technology*. F.H. Webster, ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN. (U.S.A.). Capítulo 6 pp. 121-152.
138. Wood P.J. 1994. Evaluation of oat bran as a soluble fiber source. Characterization of oat β -glucan and its effect on glycaemic response. *Carbohydrate Polymers* 42: 143 – 148.
139. Wood P.J. 1994. Evaluation of oat bran as soluble fiber source. Characterization of oat β -glucan and its effects on glycaemic response. *Carbohydrate Polymers* 25: 331 – 336.
140. Wood P.J., Braaten J.T., Frezer W.S., Riededel D. and Poste L.M. 1990. Comparison of viscous properties of oat and guar gum and effects of these and oat bran on glycemic Index. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 38: 753-757.
141. Wood P.J., Weisz J. and Blackwell B.A. 1994. Structural studies of (1-3)(1-4) β -glucans by ^{13}C -nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high performance anion exchange chromatography of oligosaccharides release by lichenase. *Cereal Chemistry* 71: 301-307.
142. Wood P.J., Weisz J., and Fedec P. 1991. Potential for β -glucan enrichment in brans derived from oat (*Avena sativa* L.) cultivars of different (1-3)(1-4)- β -D-glucan concentration. *Cereal Chemistry* 68: 48-51.
143. www.fao.org. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Bellino Norman (Representante de la FAO en México). 2000. México D.F.
144. Xing Y. and White P.J. 1997. Identification and function of antioxidants in oats from groats and hulls. *JAOCS*. 74: 303-307.
145. Youngs V.L. 1986. Oat lipids and lipid-related enzymes. En *Oats: Chemistry and Technology*; Webster F.H. ed; American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN (USA). Capítulo 8. pp 205-301.
146. Zarkadas C.G., Yu Z. and Burrows V.D. 1995a. Assessment of the protein quality of two new canadian- developed oats cultivars by aminoacid analysis. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 43: 422-428.

Bibliografia

147. Zarkadas C.G., Yu Z. and Burrows V.D. 1995. Protein quality of three new canadian- developed naked oats cultivars using aminoacid compositional data. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 43: 415-421.
148. Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., and Helliwell S. 1999. Oat lipids. *JAOCS* 76:159-169.
149. Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., and Helliwell S. 1998a. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry* 75: 273 – 281.
150. Zhou M.X., Robards K., Glennie-Holmes M., and Helliwell S. 1998. Fatty acid composition of lipids of Australian oats. *Journal of Cereal Science* 75: 311-319.