

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
CURSO DE INTERFACULTADES DE POSTGRADO EN
CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**



**CARACTERIZACIÓN ENZIMÁTICO-NUTRICIONAL DEL ALMIDÓN
PRESENTE EN PRODUCTOS DE CEREALES Y LEGUMINOSAS
COMERCIALIZADOS EN VENEZUELA.**

**Trabajo de Grado presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por la
Lic. Carolina Mariluz Peñalver Dupont para
Optar al Título de Magister Scientiarum en
Ciencia y Tecnología de Alimentos.**

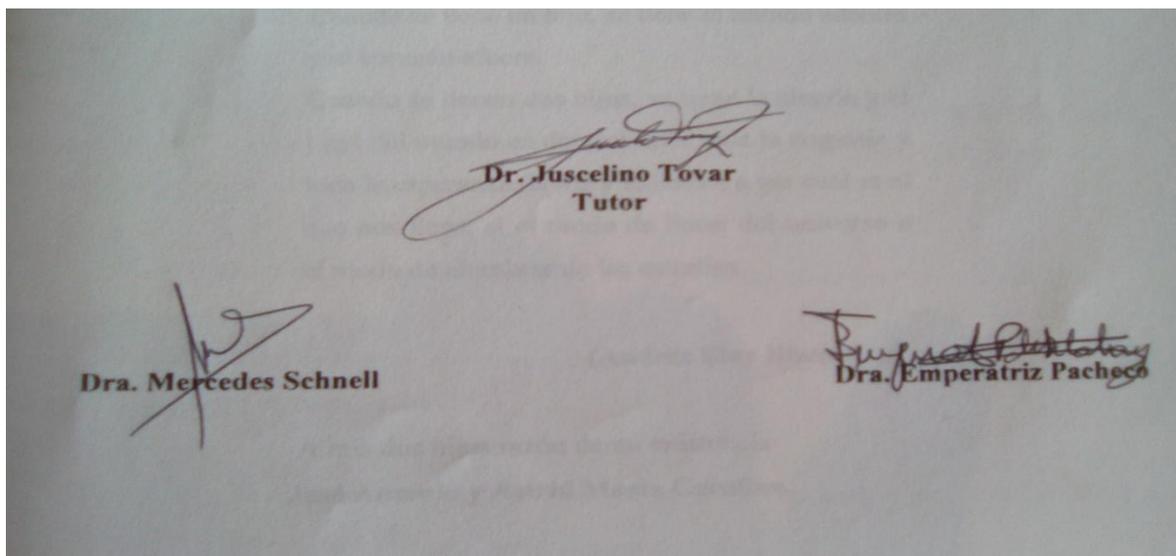
Digirido por:

Dr. Juscelino Tovar

**CARACAS – VENEZUELA
2000**

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias, para examinar el Trabajo de Grado presentado por la Lic. Carolina Mariluz Peñalver Dupont, bajo el título de “Caracterización enzimático-nutricional del almidón presente en productos de leguminosas y cereales comercializados en Venezuela” para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencia y Tecnología de Alimentos, consideramos que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos por los reglamentos respectivos y por lo tanto lo declaramos aprobado.

En Caracas, a los 25 de julio del dos mil.



The image shows three handwritten signatures on a document. The first signature is at the top center, above the printed name "Dr. Juscelino Tovar" and the title "Tutor". The second signature is on the left side, above the printed name "Dra. Mercedes Schnell". The third signature is on the right side, above the printed name "Dra. Emperatriz Pacheco".

Cuando se tiene un hijo, toda risa nos cala, todo llanto nos cripa, venga de donde venga.

Cuando se tiene un hijo, se tiene el mundo adentro y el corazón afuera.

Cuando se tienen dos hijos, se tiene la alegría y el ¡ay! del mundo en dos cabezas, toda la angustia y toda la esperanza, la luz y el llanto, a ver cuál es el que nos llega, si el modo de llorar del universo o el modo de alumbrar de las estrellas.

(Andrés Eloy Blanco).

A mis dos hijos razón de mi existencia

José Antonio y Astrid María Carolina.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central por continuar siendo mi casa de estudio y formadora de mis conocimientos...

Al Consejo de Desarrollo Humanístico Científico por haber financiado este proyecto...

A mi tutor Dr. Juscelino Tovar a quien le agradezco su gran orientación y dedicación en este trabajo y al cual admiro como investigador y excelente persona y profesor...

A mi jurado, la Dra. Mercedes Schnell y la Dra. Emperatriz Pacheco por la evaluación de este trabajo...

A los profesores Elevina Pérez y Zurima González grandes orientadoras en mi camino de estudiante...

A los profesores Andrés Carmona, Gina Borges, Marcia Escala, Dagmar Stojanovic, Alexander Laurentin, Meris Casotto, Beatriz de la Torre, quienes colaboraron en este trabajo y me dieron palabras de aliento para seguir adelante...

A todos los profesores que formaron parte de mi preparación y formación...

A mis compañeros en la Universidad que siempre me dieron aliento y con quienes pasé muy gratos momentos...

A mis compañeros de trabajo quienes también me animaron y me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida...

Al Servicio de Alimentación del Ejército para el cual trabajé y a mis jefes que me permitieron que pudiera realizar mis estudios y quienes les agradezco la estimulación y ayuda de ellos...

A mis padres a quienes le debo toda mi vida y todo lo que soy, los cuales siempre han sido mi gran apoyo en todo lo que hago...

A mi esposo y mis hijos por haber permitido lograr mi sueño apoyando y comprendiendo mi esfuerzo y dedicación...

A mis amigos y familiares que estimularon y orientaron con cariño mis esperanzas, mi trabajo y mi esfuerzo hacia la culminación de esta investigación con gran éxito...

A Dios y a todos aquellos que de alguna manera me ayudaron y alentaron para lograr finalizar este trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	
I.- Introducción.....	1
II.- Antecedentes.....	3
1.-Cereales: Características generales y consumo.....	3
2.-Leguminosas: Características generales y consumo.....	8
3.-Cocción de cereales y leguminosas.....	16
4.- Características generales del almidón.....	20
5.- Aspectos nutricionales del almidón.....	29
5.1.-Digestión y absorción del almidón.....	29
5.2.-Biodisponibilidad de almidones.....	30
5.3.-Metabolismo, utilización de los almidones y respuesta glicémica.....	40
5.4.-Almidón resistente.....	47
5.4.1.-Definición y clasificación.....	47
5.4.2.-Metodología para determinar almidón resistente.....	53
5.4.3.-Comportamiento <u>in vivo</u> y consecuencias fisiológicas del almidón resistente.....	57
6.- Efecto del procesamiento de almidones sobre la biodisponibilidad del almi- dón.....	62
7.- Consideraciones generales de fibra dietética.....	64
III.- Objetivos.....	73
IV.- Justificación del presente trabajo.....	74
V.- Materiales y métodos.....	75
1.-Materiales.....	75
1.1.-Identificación de muestras.....	75
1.2.-Procesamiento de las muestras.....	76
1.3.-Equipos, utensilios y reactivos utilizados.....	85
2.- Métodos.....	86
2.1.-Evaluación del almidón potencialmente disponible (Holm y col., 1986)....	86
2.2.-Evaluación del almidón total (Holm y col., 1985).....	87

2.3.-Determinación del contenido de almidón resistente a hidrólisis.....	87
2.3.1.- Método de Saura-Calixto y col. (1993).....	87
2.3.2.- Método de Goñi y col. (1996).....	88
2.4.-Determinación del almidón resistente a hidrólisis a fibra dietética insoluble Johansson y col. (1984), modificado por Tovar y col. (1992).....	90
2.5.-Evaluación de la tasa de amilólisis del almidón <u>in vitro</u> . Método de Holm y col. (1985).....	91
2.6.-Evaluación del Índice de Hidrólisis en un sistema restringido masticación/digestión/diálisis (Granfeldt y col., 1992).....	92
2.7.- Diálisis de difusión del colorante rojo de metilo en las condiciones del ensayo de evaluación del Índice de Hidrólisis.....	93
2.8.- Microscopía óptica de las harinas de granos hervidos y enlatados.....	94
2.9.-Análisis estadístico.....	94
VI.- Resultados y discusión.....	95
VII.- Conclusiones.....	132
VIII.- Recomendaciones.....	134
IX.- Anexo.....	135
Anexo A. Contenido de humedad en los cereales y leguminosas.....	135
X.- Bibliografía.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1.- Tabla I. Principales causas de muerte en Venezuela para los años 1994, 1995 y 1996.....	15
2.- Tabla II. Clasificación nutricional del almidón "in vitro".....	32
3.- Tabla III. Clasificación del almidón resistente.....	49
4.- Tabla IV. Efectos probables del almidón resistente sobre el organismo.....	60
5.- Tabla V. Principales componentes de la fibra dietética.....	66
6.- Tabla VI. Relación entre las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y su efecto fisiológico.....	68
7.- Tabla VII. Principales métodos de análisis de fibra dietética.....	71
8.- Tabla VIII. Contenido de almidón disponible en las muestras de cereales.....	100
9.- Tabla IX.- Contenido de almidón resistente de los cereales evaluados por dos métodos.....	103
10.- Tabla X. Contenido de almidón disponible y total de las muestras de caraotas negras.....	106
11.- Tabla XI. Contenido de almidón resistente de las caraotas negras evaluado por dos métodos diferentes.....	109
12.- Tabla XII. Efecto del procesamiento de las caraotas negras sobre el índice de hidrólisis y el índice glicémico estimado.....	122
13.- Tabla XIII. Contenido de almidón resistente tipo III en leguminosas cocidas y deshidratadas.....	127
14.- Tabla XIV. Contenido de almidón resistente tipo III en leguminosas recién cocidas.....	128
15.- Tabla XV. Contenido de fibra dietética insoluble (FDI), almidón resistente (AR ₃) y fibra dietética insoluble corregida (FDIC) en leguminosas cocidas y deshidratadas.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS Y ESQUEMAS

	<u>Pág.</u>
1.- Fig.1. Representación de la estructura de la molécula de amilosa	22
2.- Fig.2. Representación de la estructura de la molécula de amilopectina.....	23
3.- Fig.3. Organización molecular de los constituyentes del almidón.....	25
4.- Fig.4. Complejo monoglicérido-amilosa helicoidal.....	37
5.- Esquema I. Efecto fisiológico de la ingestión de fibra dietética y su influencia en diferentes enfermedades.....	69
6.- Esquema II. Esquema tecnológico de caraotas negras enlatadas.....	80
7.- Esquema III. Esquema tecnológico del fororo.....	81
8.- Esquema IV. Esquema tecnológico del gofio.....	82
9.- Esquema V. Esquema tecnológico de la harina de arroz.....	83
10.- Esquema VI. Esquema tecnológico de la harina de avena.....	84
11.- Fig. 5. Hidrólisis de los atoles de cereales en base al almidón disponible.....	113
12.- Fig. 6. Hidrólisis del almidón presente en caraotas negras.....	115
13.- Fig. 7. Microscopía óptica de las harinas (micrografía tomada a 20X).....	117
14.- Fig. 8. Microscopía óptica de las harinas (micrografía tomada a 40X).....	118
15.- Fig. 9. Curva de hidrólisis en un sistema basado en masticación/diálisis de almidón presente en caraotas procesadas.....	121
16.- Fig. 10. Difusión del colorante rojo de metilo en las condiciones del ensayo de evaluación del índice de hidrólisis.....	124

RESUMEN

Se evaluó la digestibilidad de los almidones presentes en algunos productos de cereales consumidos en Venezuela, como harina de arroz, harina de avena, fororo, gofio canario y de caraotas negras (Phaseolus vulgaris L) sometidas a diferentes procesamientos.

Los cereales fueron analizados en forma de atol preparado por cocción de una suspensión de la harina del cereal en agua. Las caraotas fueron remojadas, cocidas por ebullición por 2 horas y escurridas para eliminar el agua de cocción, o enlatadas industrialmente. Los diferentes análisis de la leguminosa se realizaron tanto en granos cocidos (hervidos o enlatados) homogeneizados, como en harinas obtenidas de las semillas cocidas, mediante deshidratación y molienda. La digestibilidad in vitro de los almidones fue estimada sobre la base de contenido de almidón enzimáticamente disponible (A.D.), almidón resistente a la hidrólisis (AR) evaluado por dos métodos distintos, y tasa de α -amilólisis. Las preparaciones de caraotas fueron analizadas, además, en un sistema de masticación/digestión/diálisis, con el fin de evaluar su Índice de Hidrólisis (I.H.) y el Índice glicémico estimado (IGe). El tenor de A.D. en las distintas harinas crudas de cereales osciló entre 64% (b.s.) para el gofio y 91% para el arroz. La preparación de los atoles no modificó significativamente el tenor de A.D., salvo en el caso del fororo, cuyo atol presentó 4% menos en el contenido de almidón (b.s.) que la harina inicial. El contenido de AR de estos cereales varió significativamente, tanto entre muestras, como dependiendo del método analítico empleado. El mayor contenido (b.s), estimado por el método de Saura-Calixto y col. (1993) fue el atol de fororo (1,4%), mientras que el menor se registró para el atol de harina de arroz (0,2%). Para el caso del AR evaluado por el método de Goñi y col. (1996), el mayor contenido se encontró en el atol de gofio (3,3%) y el menor se registró en el atol de avena (1,5%). Estas diferencias se explican por el contenido variable de fracciones retrogradadas y nativas en los diferentes materiales, las cuales son medidas de forma diferencial por cada técnica. El contenido de A.D. de las caraotas negras no varió significativamente con el tipo de proceso aplicado a los granos. El A.D. más bajo obtenido fue para la preparación cocida a presión atmosférica (AD= 31,8%, b.s.). El procesamiento de las caraotas en autoclave (granos enlatados) o en forma casera (hervidos), no produjo cambios significativos en el contenido de A.D. A pesar de esto se observaron diferencias

estadísticamente significativas en el contenido de AR de los granos dependiendo del tratamiento de cocción y el método empleado para el análisis, encontrándose valores entre 1,0% y 4,9% (b.s) para el método directo de Saura-Calixto y col. (1993), resultados que confirman la existencia de fracciones indigeribles debidas a retrogradación (AR₃). Con el método de Goñi y col. (1996) los índices oscilaron entre 4,6% y 8,6%, (b.s.) lo que sugiere la presencia, además, de fracciones de almidón indigerible no gelatinizado (AR₂). La tasa de amilólisis de los cereales estudiados resultó mayor que la determinada para las leguminosas, encontrándose para los cereales y harinas de caraotas (hervidas o enlatadas) una velocidad moderada, y lenta para los granos hervidos o enlatados, comparados con el almidón de referencia (maíz). El almidón de las caraotas hervidas fue hidrolizado más lentamente que el de los granos enlatados. Estos resultados son compatibles con observaciones en microscopía óptica, donde los granos enlatados mostraron menor integridad física de sus paredes celulares que las semillas hervidas. Las caraotas enlatadas presentaron un I.H. de 23%, mientras que los granos cocidos mostraron un valor de 35%. El IGe, estimado en base al IH fue de 28% para los granos enlatados y de 39% para los hervidos, resultado que no se corresponde con lo predicho en base a la tasa de amilólisis, ni con lo sugerido por estudios previos de respuesta glicémica. Se evaluó el contenido de AR₃ en las semillas de distintas de leguminosas, utilizando la cuantificación del almidón no digerido asociado a los residuos de fibra dietética insoluble, preparados enzimáticamente a partir de granos cocidos. Se confirmó la variabilidad del tenor de AR₃ en distintas semillas de leguminosas. Las arvejas verdes completas, las caraotas rojas y los garbanzos mostraron los mayores contenidos de AR₃, con valores de 6,5; 5,8 y 5,7 (b.s.), respectivamente. Los frijoles rojos y quinchonchos, por su parte, exhibieron los menores contenidos de ésta fracción indigerible (2,6 y 2,8%, b.s., respectivamente). El mayor contenido de fibra insoluble corregida por substracción del tenor de AR₃ se registró en el frijol rojo (21, 1%) (b.s), mientras que el menor fue el de las arvejas amarillas descascaradas (10, 7%). Los valores de fibra dietética corregida de las diversas variedades de caraotas resultaron similares, con excepción de las caraotas negras que destacaron con un tenor relativamente alto (26% b.s).

I.- INTRODUCCIÓN

Los cereales son las semillas secas de los miembros de la familia de las gramíneas que se cultivan para obtener sus granos y son las plantas que mayor importancia tienen en la alimentación humana (Desrosier, 1985; Jaffé, 1987). Los cereales en el mundo constituyen la fuente más importante de calorías en la alimentación, consumiéndose en forma natural o ligeramente modificada como alimentos básicos de la dieta, donde las harinas presentan una cantidad de sustancias nutritivas que varía según su refinamiento (Kent, 1971; Potter, 1973; Jaffé, 1987). En el procesamiento de los cereales se obtiene: harina, almidón, aceite, salvado, jarabe de azúcar, y se usan como componentes de otros productos (Potter, 1978).

Las leguminosas por su parte, una familia botánica formada por un gran número de especies, algunas de las cuales tienen importancia considerable en la dieta, siendo una fuente económica de carbohidratos y proteínas (Jaffé, 1987; Desphande y Damodaran, 1990). La producción mundial de leguminosas es menor a la de los cereales; sin embargo, es importante su consumo principalmente en países pobres por ser excelente fuente de proteínas y calorías (Jaffé; 1987; De lumen, 1990; Desplande y Demodaran, 1990). En el caso venezolano las caraotas negras representan el renglón más consumido, pero también lo son en otros países del Continente Americano especialmente en México, Centroamérica, Cuba, Santo Domingo y norte de Brasil (Jaffé, 1987).

A pesar de que los cereales, las leguminosas y sus productos son de consumo elevado por la población mundial, los estudios relacionados con la digestibilidad de sus almidones son relativamente pocos. Así, se hace necesario el estudio de estas propiedades. Es particularmente importante tener claro que existen diferencias en la velocidad de digestión de los almidones de origen diverso, lo que puede conducir a respuestas glicémicas y hormonales post-ingesta diferentes. Por ejemplo, la ingestión de leguminosas generalmente produce respuestas bajas, por lo que se promueve el consumo de éstas para el control dietético de pacientes diabéticos, y puede incluso ser un factor protector contra el desarrollo de hiperlipidemias y enfermedades cardiovasculares (Jenkins y col., 1982; Tovar, 1995).

También es importante el beneficio que produce la ingesta de fibra dietética abundante en los cereales poco refinados y en las leguminosas. Actualmente, su estudio abarca la relación entre ingesta de fibra y la prevención de padecimientos específicos, como el funcionamiento correcto del sistema digestivo, su efecto sobre algunos tipos de cáncer como el del colon, la diabetes y el manejo dietético de la obesidad (Almeida, 1997).

El presente trabajo se centró en el estudio de algunos productos de cereales y leguminosas consumidos en Venezuela en relación a la digestibilidad de sus almidones, lo que contribuye a mejorar la información disponible sobre las características enzimático-nutricionales del almidón en nuestros alimentos. Esto lo que podría ayudar a mejorar el control clínico-dietético de ciertas enfermedades, al tiempo que serviría para una mejor orientación a la población sobre la importancia del consumo de estos productos.

II.- ANTECEDENTES

1.- Cereales: Características generales y consumo.

1.1.- Características generales.

Los cereales son miembros de las gramíneas o herbáceas (Muller y Tobin, 1986, Coenders, 1996) que desde el comienzo de la agricultura fueron el renglón alimentario más accesible para las grandes masas de población, por la facilidad de su producción, manejo, almacenamiento y transporte. Los elevados rendimientos de su producción han permitido su consumo masivo, constituyendo la fuente de energía alimenticia más económica del mundo, al proporcionar las dos terceras partes o más de la energía para el humano y del aporte de proteínas y, cerca del 50% de las calorías consumidas entre grupos sociales de menores recursos de países en desarrollo y en países industrializados. Son la base para la cebsa animal, contribuyendo así de manera importante a la oferta alimentaria (Jaffé, 1987; 1995a; Primo, 1998).

La producción mundial de cereales es superior a 1.600 millones de toneladas. El trigo, el arroz y el maíz suman las tres cuartas partes del total (más de 400 millones de toneladas cada una); entre estas tres cosechas aportan unos 1.300 millones de toneladas de grano. La cebada también es importante, siendo su producción alrededor de 160 millones de toneladas. Entre todas las plantas cultivadas, sólo siete alcanzan una producción anual de más de 100 millones de toneladas, y entre ellas, el trigo, el arroz y el maíz ocupan los tres primeros lugares y la cebada el quinto (Primo, 1998).

Los pioneros productores de cereales en las distintas regiones del mundo fueron el Cercano Oriente con la producción de trigo, avena y cebada, la India con el arroz y las Américas con el maíz, mientras que el cultivo de centeno fue iniciado más tarde en Europa. Estos forman la base de un gran número de alimentos industrializados y platos caseros, además permiten la fortificación con vitaminas y minerales, tanto en productos de consumo general, como alimentos especiales para niños, cereales de desayuno y otros, siendo un

vehículo importante de consumo en la población pobre, más expuesta a posibles deficiencias nutricionales (Jaffé, 1995b).

El grano de la semilla de los cereales es una cariopsis que difiere en tamaño, forma y peso. Su composición varía dentro de una especie así como entre diferentes especies. El contenido de humedad varía de 10 a un 15% y los lípidos representan, normalmente, el 1-4% del peso del grano y en algunos casos es mayor como la avena, que es rica en grasa (9-10%). Los lípidos se encuentran en el pericarpio y en el germen (Muller y Tobin, 1986; Primo, 1998). Los carbohidratos representan el 65%-90% del peso seco de los granos de cereales, siendo en general más abundantes en el arroz y en la cebada (86%-88%) y más escasos en la avena (alrededor del 65%). El componente principal es el almidón (Primo, 1998). La cantidad de almidón en los cereales varía entre un 60% y un 75%; por ejemplo, en el trigo constituye un 60% y en su endospermo un 70-71% (Hoseney, 1991). El almidón se encuentra en el endospermo en forma de corpúsculos discretos, redondeados o poliédricos, denominados “gránulos”. El diámetro del gránulo es muy distinto según el cereal, los más pequeños son los del arroz, cuya forma es poliédrica, los del trigo son voluminosos y los del maíz redondeados. Otros componentes importantes de la fracción hidratos de carbono son las hemicelulosas, celulosa y azúcares libres (Primo, 1998).

Los cereales son fuentes importantes de proteínas vegetales, con un limitado valor nutritivo ya que son deficientes en ciertos aminoácidos esenciales como la lisina, metionina, treonina, triptófano (Friedman, 1996; Primo, 1998). Por ello, la calidad de la proteína varía, siendo bajo el contenido de lisina en el maíz y centeno, intermedio en el trigo y cebada y relativamente alto en el arroz (Muller y Tobin, 1986). Las proteínas representan alrededor del 13%, en peso, del grano entero del trigo. Porcentajes más bajos (alrededor del 10%) se presentan en el arroz, cebada y maíz, y mayores 20-22% en la avena y el triticale. Las concentraciones mayores de proteínas se encuentran en las capas externas del endospermo (capas subaleurónicas), en la propia aleurona y en el germen. (Primo, 1998).

Los minerales constituyen el 1-3% del peso del grano. El porcentaje más alto lo presenta la avena (4% de cenizas). Así, el aporte de los cereales a las necesidades dietarias de elementos minerales, es muy importante (Primo, 1998). Aunque el contenido mineral es relativamente bajo, el fósforo es bastante alto pero gran parte se encuentra en forma de ácido fítico compuesto de limitada biodisponibilidad, principalmente ubicado en las capas externas del grano (Muller y Tobin, 1986).

Los cereales constituyen una buena fuente de vitaminas del grupo B, siendo la más abundante la niacina, seguida por el ácido pantoténico, la piridoxina y la tiamina. También son ricos en inositol y tocoferoles (Primo, 1998). Las vitaminas son afectadas durante el procesamiento o por la eliminación de sus partes portadoras de ingredientes importantes, como sucede en la molienda. Por ejemplo, en la transformación del trigo o del arroz se elimina hasta un 90% de las vitaminas y del hierro que existe en las semillas integrales, ya que la capa exterior del grano contiene tiamina o vitamina B₁. Las semillas están cubiertas con una capa dura no comestible, la cáscara, que debe eliminarse en un proceso industrial o manual; por debajo de ésta se encuentran las capas celulares que, en conjunto se conocen como afrecho, más el germen de la semilla, los cuales contienen la mayor cantidad de vitaminas y minerales. Esta porción se elimina en la elaboración de los productos finales como pan blanco, harinas comestibles, arroz blanco y avena de desayuno (Jaffé, 1995b).

1.2.- Consumo.

Las hojas de balance mundial proporcionan una imagen amplia de la estructura del suministro de alimentos de un país durante un período de referencia determinado. Además, muestran para cada fuente el producto primario y varios elaborados, todos potencialmente disponibles para el consumo humano, señalando las fuentes de suministro y su utilización. El suministro disponible proviene de la cantidad total de alimento producida en un país, unida a la cantidad total importada y reajustada por cualquier cambio al principio del período. Las cantidades de alimentos disponibles para consumo humano se refieren a las cantidades de alimentos que llegan al consumidor, aunque la cantidad de alimento consumida puede ser menor a la indicada en estas hojas de balance de alimentos por

factores como: pérdidas en el almacenamiento, la preparación y la cocción, o comida que se deja en los platos y lo consumen los animales, o se bota como basura (F.A.O., 1998).

El consumo de los cereales en el mundo según las estadísticas varía, pudiéndose observar que su aporte calórico es de gran importancia y que su disponibilidad es diferente según el país. Por ejemplo, si comparamos Venezuela con otros países puede constatar que en Argentina la disponibilidad de los cereales fue menor a través de los años 1994 – 1996, así como su aporte calórico, al igual que, en Francia y Japón. Sin embargo, en los E.E.U.U. se registró una mayor disponibilidad y aporte calórico durante este período (FAO, 1998).

Las hojas de balance de alimentos de Venezuela ofrecen información variada en cuanto a la disponibilidad, utilización y otras características para los alimentos de nuestro país (I.N.N y U.L.A., 1998), pero representan un cálculo global de la disponibilidad de todos los alimentos en un año y se trata de la oferta que puede ser diferente a la ingesta real. Además, no se computan pérdidas en el comercio y la cocina, ni la distribución muy desigual en los diferentes estratos sociales (C.C.I.A.N, 1986).

Pero aún con estas limitaciones, las hojas suministran datos significativos sobre la importancia de los cereales en la dieta Venezolana. Para el año 1996 se registró una disponibilidad anual por persona de 91,7 tm y de 251,2 g/día, valores que no cubren totalmente las necesidades de la población. Las hojas de balance también permiten tener información específicamente de cada cereal en cuanto a su producción, exportación, disponibilidad total, la utilización en la industria y consumo humano y animal, lo que suministra una visión completa de la situación de los cereales en los periodos más recientes. De acuerdo con esto, el maíz es el que mayormente se produce, se importa, se utiliza en la industria de alimentos, principalmente en grano (1.441.750 tm/año). Tiene un alto consumo en comparación a los demás; le siguen el trigo, el arroz, la cebada, la avena y el centeno, este último es muy bajo en todos los parámetros tabulados (I.N.N. y U.L.A., 1998).

Para 1997 registró una disponibilidad de 83,9 Kg por persona por año, lo que representó una disminución con respecto al año anterior, cubriendo aún menos las necesidades de la población. Hubo variaciones con respecto a la producción, exportación, disponibilidad total, consumo humano y animal y utilización en la industria, lo que da información sobre la tendencia negativa de la situación alimentaria del país. Para este mismo año, la industria de alimentos utilizó el maíz en grano (1.330.898 tm), bastante menos que en el año 1996 (1.441.750 tm), ocurriendo lo contrario con el trigo en grano (997.741 tm para 1997 y 906.484 tm para 1996) (I.N.N. y U.L.A., 1998).

Para el año 1996 el aporte nutricional calculado a partir de la disponibilidad alimentaria en Venezuela, específicamente para los cereales, fue mayor para el maíz, principalmente representado por harina precocida, seguido por el trigo con su harina para pastas y pan, y posteriormente el arroz, como grano pulido. En cuanto a la disponibilidad de alimentos y bebidas para el mismo año, los cereales ocuparon el primer lugar en el aporte de calorías y con un gran aporte de carbohidratos. En el año 1997 los aportes nutricionales de las disponibilidades alimentarias para cereales se comportaron de igual forma que en el año 1996 (I.N.N. y U.L.A., 1998).

De acuerdo con los estudios hechos por la Comisión Coordinadora de Investigaciones en Alimentos y Nutrición de Venezuela (1986), los cereales son considerados como alimentos calóricos porque aportan menor cantidad de proteínas que las leguminosas y los productos animales, como las carnes, lácteos, huevos y pescados. Sin embargo, su contribución porcentual de proteínas a la dieta total es muy significativa y sobrepasa el 50% en algunos estratos poblacionales. El valor biológico y la digestibilidad de las proteínas de cereales son inferiores al de los alimentos de procedencia animal. En orden creciente de calidad se encuentran: el trigo, el maíz y el arroz. En general, lo que le falta al arroz en cantidad se compensa por su valor biológico superior. De una proteína de pobre calidad se necesita consumir una mayor cantidad para satisfacer los requerimientos fisiológicos, comparada con una muy buena, como la del huevo que puede servir de referencia (C.C.I.A.N., 1986).

Por otra parte, se calcula generalmente que aproximadamente un tercio de los ingresos familiares debe dedicarse a la comida, un tercio a la vivienda y un tercio a la vestimenta, transporte y otros gastos. De hecho, se ha observado en diversas encuestas que en Venezuela cerca del 70% de los ingresos familiares de los grupos menos favorecidos económicamente se destina a la adquisición de alimentos, y que éstos no cubren los requerimientos nutricionales mínimos. Se demuestra que hay un abismo entre las disponibilidades económicas de gruesos sectores de la población y el gasto mínimo para la dieta familiar. Para la reducción de estos gastos, sin desmejorar la calidad de la dieta, los cereales ofrecen las mejores oportunidades. Los cereales constituyen unos de los renglones más importantes de la agricultura, pues representan cerca del 10% del valor de producción y comprometen alrededor del 50% de la tierra cultivada en nuestro país (C.C.I.A.N., 1986; Vallenilla y col., 1990; Fundación Cavendes, 1995).

2.- Leguminosas: Características generales y consumo.

2.1.- Características generales.

Las leguminosas son una familia botánica (Leguminosae) formada por un gran número de especies, algunas de las cuales tienen importancia considerable en la dieta, siendo una fuente de carbohidratos y proteínas, componentes que representan del 20% al 50% del peso de la semilla respectivamente (Deshpande y Damodaran, 1990).

Las leguminosas en la dieta humana son muy importantes. Más del 60% de las proteínas dietarias es suplido por alimentos de origen vegetal. (Deshpande y Damodaran, 1990), como es el caso de leguminosas secas y productos de leguminosas los cuales son constituyentes ricos en proteína y además económicos (Jaffé, 1986; Lambert, 1989; Lambert y Frenwich, 1991). La producción mundial de leguminosas es relativamente pequeña comparada con los cereales, pero aun así, son importantes para la nutrición humana. La dieta de aproximadamente 700 millones de personas está basada en

leguminosas las cuales son la fuente principal de proteínas y calorías en muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo (De lumen, 1990; Deshpande y Demodaran, 1990).

En la mayoría de las especies de leguminosas las proteínas representan entre 17% y 30% del peso de la semilla (Deshpande y Damodaran, 1990) y asemejan en el valor nutritivo a la carne de los animales (Friedman, 1996), mientras que el contenido de carbohidratos, mayormente almidón, es considerablemente mayor. Las leguminosas secas son buenas fuentes de varias vitaminas hidrosolubles, específicamente tiamina, riboflavina, y niacina y minerales. Además un constituyente importante en los granos es la fibra dietética (Deshpande y Damodaran, 1990).

El valor nutricional de las semillas de leguminosas está limitado por un número de factores. Las características estructurales de algunas fracciones de proteínas y la presencia de anti nutrientes tales como inhibidores de tripsina, lectinas y polifenoles pueden afectar la digestión de las proteínas (Liener, 1994). Las proteínas de origen animal son más adecuadas para cubrir las necesidades de aminoácidos del hombre que las proteínas de origen vegetal. (Muller y Tobin, 1986; Friedman, 1996). Las leguminosas son pobres en los aminoácidos sulfurados como metionina y cisteína, pero ricas en lisina, no siendo frecuente en proteínas vegetales, por lo que las leguminosas son el complemento ideal de las dietas de cereales, en las que el contenido de lisina es más bajo (Muller y Tobin, 1986).

Para una mejor dieta la mezcla de cereales y leguminosas es importante proporcionando un mejor aporte de carbohidratos, grasas, proteínas y aminoácidos (Coenders, 1996). Los llamados anti nutrientes, como las fitohemaglutininas (lectinas) y ciertas proteínas inhibidoras de enzimas proteolíticas consideradas como los factores termolábiles más importantes, se relacionan con la baja digestibilidad de las leguminosas. Los polifenoles y el ácido fítico representan los anti nutrientes termoestables (Deshpande y Damodaran, 1990; Liener, 1994). La digestibilidad del almidón y la proteína de las leguminosas pueden ser afectadas también por la estructura de la pared celular (Tovar y col., 1991; Kataria y col., 1992; Melito y Tovar, 1995). El procesamiento puede reducir los niveles de anti nutrientes, incluyendo fitatos, taninos, inhibidores de tripsina y de amilasa, por lo que

mejora la digestibilidad de la proteína y el almidón (Binita y Khetarpaul, 1997; Chau y Cheung, 1997; Chowdhury y Puhia, 1997).

Poco se han investigado los carbohidratos de las leguminosas, quizás por la gran importancia atribuida tradicionalmente a su proteína. Se conocen que sus oligosacáridos, como la rafinosa (alfagalactósidos), que son compuestos que no son hidrolizados por las enzimas pancreáticas e intestinales pero son fermentados por el intestino grueso, pueden causar flatulencia y diarrea. Interesantemente, algunos oligosacáridos dietarios favorecen el crecimiento de las células intestinales. En la actualidad, cada vez más se reconoce la importancia los carbohidratos de las leguminosas, así como su componente fibroso, principalmente por los beneficios que este material aporta en el control dietético de pacientes con diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer y otras enfermedades. La hiperglicemia en la diabetes mellitus ha obligado a prestar mucha atención a los efectos de determinados alimentos o combinaciones de alimentos en las respuestas de la glucosa sanguínea. Tal es el caso particular de las leguminosas las cuales producen respuestas bajas.

Las fibras alimentarias de alimentos como leguminosas pueden ejercer un efecto sobre el aparato gastrointestinal en lo que se refiere a reducir el colesterol del plasma, amortiguar la respuesta glicémica, disminuir la biodisponibilidad de nutrientes e influir en la función del intestino grueso (Champ y col., 1991; Ekhard y col., 1997; O'Sullivan, 1998). Se conoce que el consumo de fibra soluble mejora el control glicémico, debido a la menor velocidad de absorción de los carbohidratos en el intestino delgado, a sus efectos sobre la secreción de diversas hormonas gastrointestinales y otros efectos metabólicos (Hidaka y col., 1986; Southgate, 1989; Würsch y col., 1986; Champ y col., 1990; Champ y col., 1991; Gibson y Roberfroid, 1995; Fundación Cavendes, 1995; Gibson y col., 1995; Ekhard y col., 1997; Bravo y col., 1998; García y col., 1998; Feinglos y col., 1998; O'Sullivan, 1998; Schneeman, 1999; Sungsoo y col., 1999).

El almidón es el principal componente almacenado en estos granos, representando entre 22 y 45% (Hoover y Sosulski, 1991). Sin embargo, se ha descubierto que la respuesta glicémica producida por las leguminosas secas cocidas, es excepcionalmente baja, y de allí

que se haya planteado su uso en el control dietético de diabéticos (Jenkins y col., 1980; Jenkins y col., 1983; Feinglos y col., 1998). Por esto, en la década pasada, la fibra dietética y el almidón de estos granos cobraron importancia e interés de investigación (Tovar, 1992; Tovar, 1994; Ekhard y col., 1997; Feinglos y col., 1998; Bravo y col., 1998; Platzman, 1998).

Cuando los granos se procesan apropiadamente, el almidón y la proteína de las leguminosas pueden convertirse en nutrientes útiles, ya que la interacción de éstos con los factores anti nutricionales nativos puede hacer que algunos nutrientes de las leguminosas sean escasamente disponibles. El procesamiento no solo mejora el sabor grato, sino que también puede aumentar los nutrientes disponibles. Las leguminosas constituyen una buena fuente de minerales como calcio y hierro, pero estos pueden hallarse combinados con los fitatos formando sales poco disponibles. Algunos tratamientos permiten disponer de esos minerales en mayor cantidad, pero al mismo tiempo pueden destruir algunas vitaminas (F.A.O., 1982).

2.2.- Consumo.

En grupos de gente nutrida marginalmente las leguminosas casi siempre se consideran en función de su valor nutricional complementario (especialmente a lo que se refiere a aminoácidos) respecto a la alimentación basada en cereales. En los países prósperos, la mayor parte de los problemas asociados a la opulencia, como la diabetes mellitus y las enfermedades coronarias, se podrían reducir con el aumento del contenido de leguminosas en la alimentación, lo cual reduciría el contenido dietario de grasas y aumentaría el índice de fibras alimentarias, medida que en varios países se ha propuesto para lograr una alimentación sana. Sin embargo, las condiciones económicas y los factores que la influyen alteran el régimen alimentario tradicional de los pueblos (F.A.O., 1982; Jaffé, 1987; Vallenilla y col., 1990; Fundación Cavendes, 1995).

En las estadísticas presentadas en las hojas de balance mundiales, el suministro de las leguminosas en países como Argentina mejoró considerablemente (2.5 Kg./año) entre el

período de 1964 y 1996 con respecto a períodos anteriores, lo mismo sucede con las calorías (23 calorías por día) y nutrientes (1.5 g. por día). Pero en Japón y España la tendencia en ese período fue a la disminución del suministro y de las calorías (número/día), mientras que el registro de México se parece al observado en Venezuela, caracterizado por una tendencia a la disminución de la disponibilidad alimentaria. Sin embargo, Francia ha tenido fluctuaciones en el suministro de alimento por persona a través de los años de igual manera sucede con las calorías y nutrientes (gr x día). Por otra parte E.E.U.U. es muy particular dentro de todos estos, ya que mantiene constante el suministro de las leguminosas, al igual que las calorías y nutrientes (FAO; 1994-1996). También podemos observar en los registros de la FAO de estos países la disponibilidad por persona y el consumo interno (F.A.O., 1998).

Según las hojas de balance de Venezuela, en el año 1996 la disponibilidad/persona por Kg/año de las leguminosas fueron de 5,1 tm, y en gramos por día (brutos) 14,0, valores no cubren las necesidades demandadas por la población, por lo que se confirma el carácter de país importador de insumos alimenticios. También puede concluirse de este análisis de que las leguminosas tuvieron menor disponibilidad que los cereales. Es interesante tener una visión sobre la producción, importación, exportación, disponibilidad total, la utilización en la industria y el consumo humano y animal de las leguminosas. Para el año 1996 la mayor producción de este grupo alimentario correspondió a las caraotas y el frijol, y la mayor importación fue de caraotas y arvejas, siendo su utilización esencialmente para consumo humano. Para el año 1997 se observó una disponibilidad/persona por Kg/año de leguminosas de 5,2 tm, y en gramos por día (bruto) de 14,4, valor que representa un incremento leve. En cuanto a otros parámetros en las estadísticas de estos granos, éstos permanecieron iguales al año anterior (I.N.N. y ULA, 1998).

Para el año 1996 y 1997 el equivalente nutricional de la disponibilidad alimentaria de las leguminosas en Venezuela tuvo su mayor exponente en las caraotas, seguidas por el frijol y la arveja (valores promedios por persona día). En cuanto a la disponibilidad de alimentos y bebidas (promedios per cápita diarios), para los mismos años, las leguminosas ocuparon el

octavo lugar en el aporte de calorías pero, como era de esperar, con un gran aporte de proteínas y carbohidratos (I.N.N. y ULA, 1998).

Las principales leguminosas producidas en Venezuela son la caraota negra (Phaseolus vulgaris (L) Walp), el frijol bayo y blanco (Vigna Unguiculata (L) Walp), y el quinchoncho (Cajanus cajan (L) Millsp). La caraota encuentra su medio óptimo de producción en zonas de clima fresco, entre los 450 y 1000 m.s.n.m. y temperaturas entre 18 y 24 °C. Para el frijol y el quinchoncho, las áreas bajas, entre 0 y 80 m.s.n.m. y temperaturas entre 25 y 35 °C, son las más adecuadas. Estos cultivos son rústicos y aceptan condiciones de suelo y clima más adversos que la caraota. (Fundación Polar, 1993).

En Venezuela el cultivo y consumo de las leguminosas es de una larga tradición. Las leguminosas tienen una aceptación general y una antigua tradición rural, desde la época agrícola. En nuestro país el consumo de leguminosas ha tenido altibajos, de manera muy notable en estos últimos cuarenta años (García, 1993). Según, los estudios realizados por el Proyecto Venezuela, los estratos socioeconómicos que más consumen leguminosas son los estratos sociales IV y V, que corresponden a las clases sociales obreros y marginales, respectivamente, además la ingesta de leguminosas se encuentra relacionada con la edad, los ingresos económicos y la naturaleza de la comunidad, rural o urbana (Smart, 1976; Gerbrunn, 1979 citado por García, 1993). Las leguminosas para el consumo humano se pueden encontrar en mercados populares o en otros establecimientos, en 2 formas: el grano o semilla seca o el grano procesado en frascos de vidrio o enlatado.

Existen reportes sobre la composición (humedad, lípidos, proteínas, contenido de aminoácidos, vitaminas, fibra cruda y fibra dietética) de las diversas variedades de leguminosas; en su mayoría, los datos son similares entre sí cuando se trata de la misma variedad de leguminosas (García, 1993, Coenders, 1996). Podríamos citar como ejemplo: los garbanzos que contienen 19% de proteína, 5,6% de grasa, 1,3% de fibra y 60% de carbohidratos digestibles, mientras que las lentejas contienen 20% de proteína, 1,1% de grasa, 1,1% de fibra y 59% carbohidratos digestible y las habas de lima contienen 20% de

proteína, 0,9% de grasa, 2% de fibra y un 62% de carbohidratos digestibles (Coenders, 1996).

Es ampliamente conocido que en, mayor o menor grado, algunos países de Latinoamérica atraviesan por una etapa de transición epidemiológica. Los cambios en las economías, el grado de industrialización, la disponibilidad de alimentos, los tipos de trabajo e ingreso excedente, han estado transformado los estilos tradicionales de vida; incluyendo los hábitos de alimentación. Este nuevo tren de vida más acelerado, antes sólo afectaba las características de las sociedades más afluentes e industrializadas; no obstante, también ha traído como consecuencia a los países en desarrollo, cambios en el estado nutricional y un aumento en la incidencia de enfermedades crónicas degenerativas (Almeida, 1997). Es importante destacar que entre las 25 primeras causas de muerte en Venezuela para los años 1994, 1995 y 1996 (última publicación) aparecen las enfermedades del corazón, el cáncer y la diabetes mellitus en lugares importantes, (Tabla I) (M.S.A.S., 1995; 1997; 1998).

Las primeras 10 causas de muerte diagnosticadas en Venezuela, especificada por sexo y grupo de edad durante los últimos años (1994, 1995, 1996), incluyen a las enfermedades del corazón, el cáncer y diabetes mellitus en todas las edades, pero principalmente las edades de 45-64 años, 65-74 años, 75 y más años, en las que varían un poco entre los sexos (M.S.A.S., 1996; 1997; 1998). También puede observarse las cifras de las 25 primeras causas de morbilidad registradas en el país para los años 1994, 1995 y 1996, donde aparecen la hipertensión arterial en el décimo tercer lugar, aumentando en el transcurso de estos años y a partir de los 35 años de edad (M.S.A.S., 1999).

TABLA I. PRINCIPALES CAUSAS DE MUERTE EN VENEZUELA
PARA LOS AÑOS 1994, 1995 Y 1996.

ENFERMEDAD	LUGAR QUE OCUPA EN LA MORTALIDAD	AÑO	MORTALIDAD No CASOS	DIAGNOSTICADA %
ENFERMEDADES DEL CORAZON	1	1994	21.350	26,19
		1995	21.694	22,46
		1996	21.309	21,67
CANCER (TODAS LAS FORMAS)	2	1994	19.920	15,85
		1995	13.161	13,62
		1996	13.623	13,85
DIABETES MELITUS	7	1994	3.819	4,68
		<hr/>		
	6	1995	4.190	4,34
1996		4.450	4,32	

FUENTE: Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, 1994; 1995; 1996.

3.- Cocción de cereales y leguminosas.

A lo largo de los siglos han evolucionado los métodos tradicionales de elaboración y cocción de los cereales y las leguminosas, con objeto de generar productos inocuos, agradables y nutritivos. Una buena preparación en el caso de las leguminosas es, probablemente, más importante que en cualquier otro grupo de alimento, debido al alto contenido de toxinas y a lo poco digestible de muchas leguminosas crudas (F.A.O, 1982, Guerra, 1995).

El tratamiento térmico es la forma más importante de procesado de alimentos. Su objetivo principal es hacer el alimento más fácilmente comestible y asimilable. El efecto sobre el alimento es muy complejo y depende tanto del alimento como de las condiciones de calentamiento. El agua hirviendo o el vapor condensante de un cocedor a presión tiene una alta capacidad de transferencia de calor y la temperatura de la superficie del alimento se iguala muy rápidamente con la del agua o vapor. La temperatura del centro del alimento depende de su forma, tamaño y características de transferencia de calor. Ocasionalmente se producen cambios de fase dentro del alimento que pueden afectar a la transferencia de calor, aunque se piensa que éstos son pequeños. La temperatura del alimento nunca excede de la temperatura de ebullición del agua (Muller y Tobin, 1986).

Las pérdidas nutricionales debida a la cocción son sumamente variables dependiendo del volumen del agua de cocción, tiempo de cocción, estado de dispersión del alimento, pH y disponibilidad de oxígeno. No existe acuerdo general en lo que respecta a cuando un alimento está adecuadamente cocido. Las sustancias hidrosolubles, como vitaminas importantes, azúcares, proteínas y minerales, pueden ser lavadas en gran parte. La cocción a presión requiere menos tiempo y menos agua y por lo tanto las pérdidas son significativamente menores que en la cocción ordinaria (Muller y Tobin, 1986; Coenders, 1996).

Los cambios químicos, por ejemplo la gelatinización del almidón, ocurren tanto en el centro como en la superficie del alimento, pero en la superficie son más pronunciados.

Debido a la mayor temperatura, pueden ocurrir otros cambios químicos adicionales por ejemplo pardeamiento, dextrinización existiendo también una mayor reducción del agua y una reacción con el medio de calentamiento. En presencia de aire, se produce una oxidación, y en el baño de aceite, éste es captado por el producto. El proceso de calentamiento se basa en el aporte de energía, siendo todas las ondas perturbaciones electromagnéticas del mismo tipo. El calentamiento convencional produce un calentamiento del producto desde el exterior al interior del alimento, por lo que la temperatura es superior en el exterior que en el interior del mismo, esto no sucede así para el caso del tratamiento con microondas, donde se produce un cambio de energía en todo el volumen del producto (Muller y Tobin, 1986).

El remojo es una fase preliminar común a casi todos los métodos de preparación de leguminosas. Se efectúa para ayudar a eliminar las cubiertas seminales, para humedecer y ablandar las semillas, abreviar el tiempo de cocción, y reducir el contenido de toxinas (F.A.O., 1982, Coenders, 1996). Las semillas de leguminosas silvestres han desarrollado testas duras que son casi impermeables al agua. Muchas leguminosas cultivadas no se hidratan tan rápidamente como otras semillas y la dureza de la cubierta aumenta con el almacenamiento, especialmente en condiciones cálidas. El empleo del agua caliente para el remojo, o limpiar las semillas de cáscara dura, como el frijol, favorece la penetración de la humedad. El tiempo necesario para el remojo varía según las especies y variedades, como también con la duración y condición de almacenamiento. Muchos granos se remojan entre 2 y 10 ó 24 horas. (F.A.O., 1982).

La cocción en agua hirviendo o al vapor es un tratamiento que inactiva enzimas endógenas del grano y mejora el sabor, además de mejorar su valor nutricional. En general, mientras más breve sea el tiempo de cocción necesario para ablandar las semillas, tanto mayor será su aceptabilidad. Los métodos para estimar el grado de suavidad de las leguminosas cocidas varían, desde penetrómetros sofisticados hasta la simple presión del grano cocido entre 2 placas de cristal hasta que no quede el material duro. Las semillas de una misma especie pueden presentar diferentes tiempos de cocción; entre otras razones, cuanto más largo sea el período de almacenamiento, mayor será el tiempo de cocción. La

presencia de la cáscara, su espesor y composición, la composición de las paredes celulares de los cotiledones, modifican el tiempo de cocción para distintas leguminosas, pero las variedades con mayor contenido proteínico generalmente presentan un tiempo de cocción inferior. El remojo y la cocción producen ciertas pérdidas de sólidos, dependiendo esa pérdida de las especies; por ejemplo, representa del 5 al 10% en frijoles enteros. Los sólidos en el caldo de cocción tienen un contenido proteínico del 13 al 20%, según la variedad. El tratamiento térmico da coloración parduzca y una reducción en el índice de solubilidad de nitrógeno. La cocción a presión reduce el tiempo de cocción, es decir, reduce los inconvenientes de un largo tiempo de preparación, además del costo del combustible. Las pérdidas del contenido vitamínico y mineral de leguminosas varían considerablemente y dependen de varios factores durante su cocción, al igual que en los enlatados (F.A.O., 1982).

En el enlatado es esencial que el producto del centro del envase sea comercialmente estéril y esto implica un excesivo calentamiento del producto de la periferia de la lata, lo que se traduce en una pérdida de nutrientes. El enlatado persigue destruir los microorganismos a pesar de que ocurran otros cambios térmicos indeseables (Muller y Tobin, 1986).

El comportamiento de los carbohidratos en la cocción de granos dependen de las características del almidón, que determinará el grado de hinchamiento del grano por absorción de agua y la textura del producto cocido (harinosa o suave y mantecosa); también de los componentes de las paredes celulares, especialmente pectinas, que condicionan la elasticidad y, por lo tanto, la resistencia de la piel a la rotura. En la industria de enlatados se regulan, de forma empírica, las operaciones de remojado, escaldado y esterilización, de manera que no se produzcan defectos derivados de este comportamiento, como son la ruptura de granos, la excesiva dureza del grano o la salida de almidón al líquido de cobertura, que puede incluso llegar a gelificar. La presencia de sales de calcio y magnesio, en el agua de remojo y de cocción, aumenta la dureza de la piel, debido a la formación de pectatos de estos cationes, que confieren rigidez a las paredes celulares; para disminuir la dureza de la piel se recomienda usar aguas blandas (de bajo contenido en Ca^{++}) o añadir

sustancias complejantes, como poli fosfatos. La ausencia de sales alcalinotérreas pueden provocar el fenómeno contrario: la ruptura de los granos y el consiguiente enturbiamiento del líquido por fragilidad de la piel (Primo, 1998).

Cuando se cocinan las leguminosas se hacen más digeribles, pero cualquiera que sea el sistema aplicado y cualquiera que sea su duración no las convierte en un alimento fácilmente digerible. Al cocer las leguminosas secas se incorpora agua en sus carbohidratos, aumentando dos veces de tamaño comparándolo con el tamaño inicial. Al someterse a ebullición las paredes celulares de las leguminosas se ablandan, se debilitan y sus gránulos de almidón se gelatinizan. Esto las hace menos harinosas, más pastosas y agradables al paladar. Este proceso de ablandamiento sólo tiene lugar en un medio neutro o ligeramente alcalino. Los ácidos tienen el efecto contrario y endurecen las paredes celulares. La adición excesiva de álcali desintegra tanto estas paredes que las proteínas y vitaminas pasan al agua de cocción (Coenders, 1996).

Los cereales para desayuno se elaboran a partir del grano entero o molido o de cereales premezclados. Existe una gran variedad de métodos de preparación y presentación de los cereales. Pueden tener forma de copo, hinchados, desmenuzados, tostados, dulces, aumentados de sabor y enriquecidos con vitamina B y minerales, así como también en harinas (Scade, 1981). Los cereales que son cocidos antes de ser servidos pueden ser elaborados a partir de un número variado de granos. Una harina hervida en agua por varios minutos, contiene partículas que pueden ser completamente humedecidas, y ricas en almidón gelatinizado. Una harina instantánea requiere sólo cocción por alrededor de 1 min. (Hoseney, 1986; 1991).

Todos los cereales contienen grandes cantidades de almidón, y en su forma natural son insolubles e inadecuado para el consumo humano; para hacerle digestible y aceptable se le debe cocer (Kent, 1971). El efecto térmico además de incrementar la palatabilidad de los cereales imparte textura, aroma, sabor y color (Fennema, 1985). En el caso de los productos a los que llamamos “listos para el consumo” la cocción se realiza totalmente en la fábrica durante el proceso de la elaboración. Si el cereal se hierve con un exceso de agua y a

temperatura moderada, el almidón se gelatiniza y se hace digerible las enzimas del sistema digestivo. Si la cocción se realiza con una mínima cantidad de agua, e incluso en ausencia de ella pero a una temperatura más elevada (como en el tostado), pueden tener lugar reacciones de oscurecimientos no enzimático entre las proteínas y los hidratos de carbono reductores, y puede producirse una dextrinización parcial del almidón (Fennema, 1985).

La elaboración de harina de avena no lleva consigo ninguna cocción, por lo que su almidón no se gelatiniza; además, las partículas de esta harina son de tamaño relativamente grande y su cocción es más larga para lograr gelatinizar el almidón. Las harinas con partículas de tamaño muy fino se cuecen rápidamente, pero el producto cocido no posee la estructura granular del copo de avena (Kent, 1971; Hosney, 1991). El proceso térmico incrementa la digestibilidad del almidón y las proteínas de los cereales (Guerra, 1995; Kelkar y col., 1996).

4.- Características generales del almidón

El almidón se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacáridos de reserva energética y su concentración varía con el estado de madurez (Badui, 1997). El almidón es un polisacárido vegetal y desde el punto de vista fisiológico es una sustancia de reserva, semejante al glucógeno del tejido animal (Braverman, 1980). Pero conocido también como un homopolisacárido de D-glucosa, conteniendo enlaces α 1-4 y α 1-6 en sus cadenas (BNF, 1990). Los dos polímeros estructurales del almidón son la amilosa y la amilopectina, cuya abundancia relativa va a depender de la fuente vegetal de que proviene (Gallant y col., 1992; Biliaderis, 1992). El almidón también se puede definir como una mezcla de polímeros del tipo α -D-glucano, que contiene cadenas lineales (amilosa) y ramificadas (amilopectina) y tiene una cantidad pequeña de constituyentes no carbohidratos (lípidos, fósforo y proteínas). Estos últimos constituyentes también contribuyen a las propiedades funcionales de la preparación (Galliard y Bowler, 1987). Algunos autores han señalado la existencia de un componente sacárido “intermedio”, con

características mixtas de los polímeros anteriores, pero su ocurrencia universal no ha sido demostrada (Wurzburg, 1972).

La amilosa es un polímero esencialmente lineal de unidades de glucopiranosas unidas a través de enlaces α 1-4 (Manners, 1989; Matheson, 1990) teniendo como unidad repetitiva a la maltosa. La polimerización varía entre 200 y 2000 unidades de glucosa, contiene de 10-20 uniones α (1-6) por molécula y un peso molecular superior a 60.000 Daltons. Representa del 15 al 25% de la mayoría de los almidones (Biliaderis, 1991; Tovar, 1994; Badui, 1997). La amilopectina es el mayor componente de la mayoría de los almidones, representando 30-99% del peso del polímero. Es un polisacárido que posee un número mayor de moléculas de glucosa (hasta 100.000 unidades) unidas en cadenas lineales relativamente cortas y que presentan abundantes uniones α (1-6), que generan frecuentes ramificaciones (4-5%), su peso molecular aproximado es de (10^7 - 10^9 Daltons). La amilopectina es diferente a la amilosa en muchos aspectos (Biliaderis, 1991, Tovar, 1994; Badui, 1997), pero al igual que la amilosa, puede desarrollar conformación helicoidal en sus cadenas lineales cortas (Morris, 1990; Biliaderis, 1991; Tovar, 1994). En las figuras 1 y 2 se representan las estructuras químicas fundamentales de la amilosa y la amilopectina.

Las moléculas de amilosa por ser lineales tienen la posibilidad de formar puentes de hidrógeno intercatenarios. Estos enlaces llevan a la formación de agregados, que se traducen en una pérdida de solubilidad. Cuando se produce la formación de agregados en solución ocurre la precipitación. En soluciones concentradas, estas interacciones contribuyen a la formación de geles en las etapas iniciales, pero posteriormente se traducen en la llamada retrogradación. La amilopectina, por su mayor tamaño, presenta menor movilidad y capacidad para formar puentes de hidrógeno, por ello sus geles son más estables (Lares, 1997).

Las propiedades físicas de un almidón son generalmente afectadas por su contenido relativo de amilosa y amilopectina (Southgate, 1976; Zobel, 1988b). Tanto la amilosa como la amilopectina influye de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 1997). Los

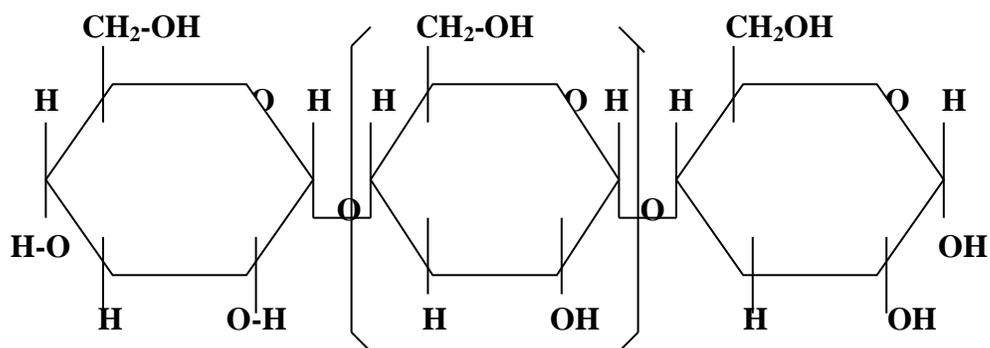


Figura 1. Representación de la estructura de la molécula de amilosa (Zobel, citado por Miró, 1990).

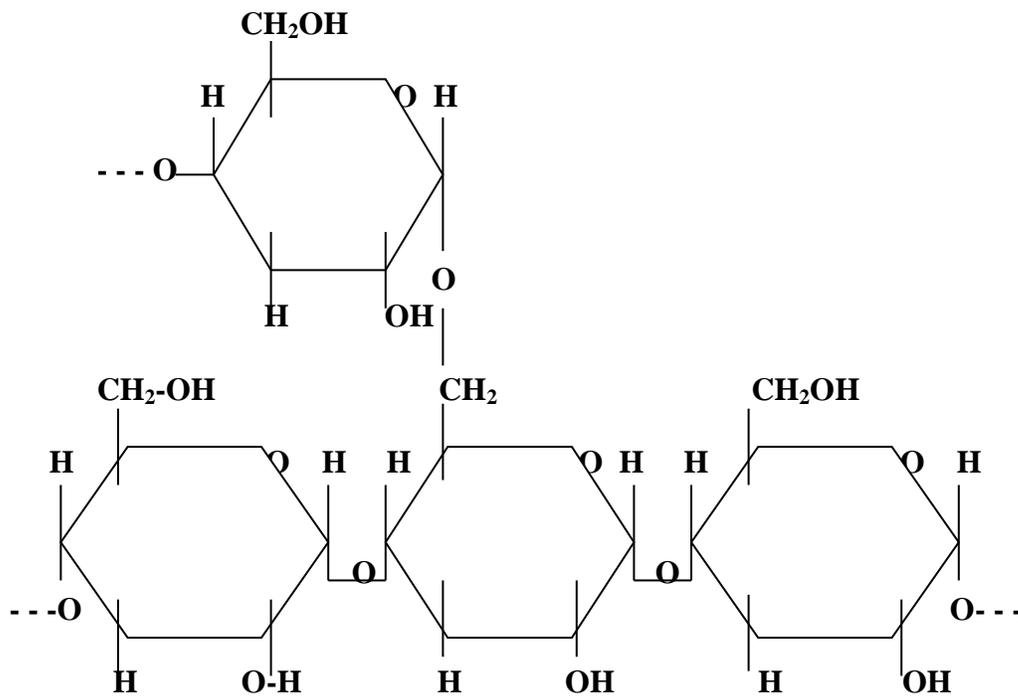


Figura 2. Representación de la estructura de la molécula de amilopectina. (Zobel, citado por Miró, 1990).

almidones de leguminosas son caracterizados por un contenido relativamente alto de amilosa, generalmente sobre 29% (Hoover y Sosulski, 1985; Eliasson, 1988; Hoover y Sosulski, 1991; Badui, 1997).

En las células vegetales, las moléculas de amilosa y amilopectina se asocian por enlaces de hidrógeno para formar miscelas orientadas radialmente o zonas cristalinas, con diferentes grados de arreglo, constituyendo los “gránulos de almidón”. Además de las regiones cristalinas, los gránulos poseen regiones amorfas, cuya densidad fluctúa, variando su tamaño (Biliarderis, 1991, Badui, 1997). La figura 3 ilustra la posible organización de las moléculas poliméricas en los gránulos del almidón. Las moléculas de amilopectina y, posiblemente la amilosa, están radialmente acomodadas cerca de la superficie granular.

Hay variaciones en forma y tamaño de los gránulos de almidón, dependiendo de la fuente botánica (Badui, 1997). Los gránulos de almidón de leguminosas son típicamente elíptico-ovalados, con un diámetro inferior en el rango de 19 a 28 μm (Eliason, 1988; Hoover y Sosulski, 1991; Gallant y col., 1992) y se encuentran inmersos en una matriz proteica (Chilukuri y Swanson, 1991). Los almidones de los cereales son pequeños y poliédricos y esto ocurre en la mayoría de los casos, como la avena y el maíz waxy. Sin embargo, en el trigo, la cebada y el centeno, el 10 % de los gránulos son lenticulares. Una importante excepción es el amilomaíz, en el cual son irregulares y filamentosos (Gallant y col., 1992). Además de los constituyentes polisacáridos, los gránulos de almidón, en general, contienen cantidades variables de proteínas y moléculas de lípidos (Iman, 1989; Vasanthan y Hoover, 1992). Las leguminosas se caracterizan por las cantidades relativamente altas de proteína y bajos niveles de lípidos en sus gránulos (Eliasson, 1988).

Además de los constituyentes polisacáridos, los gránulos de almidón, en general, contienen cantidades variables de proteínas y moléculas de lípidos (Iman, 1989; Vasanthan y Hoover, 1992). Las leguminosas se caracterizan por las cantidades relativamente altas de proteína y bajos niveles de lípidos en sus gránulos (Eliasson, 1988).

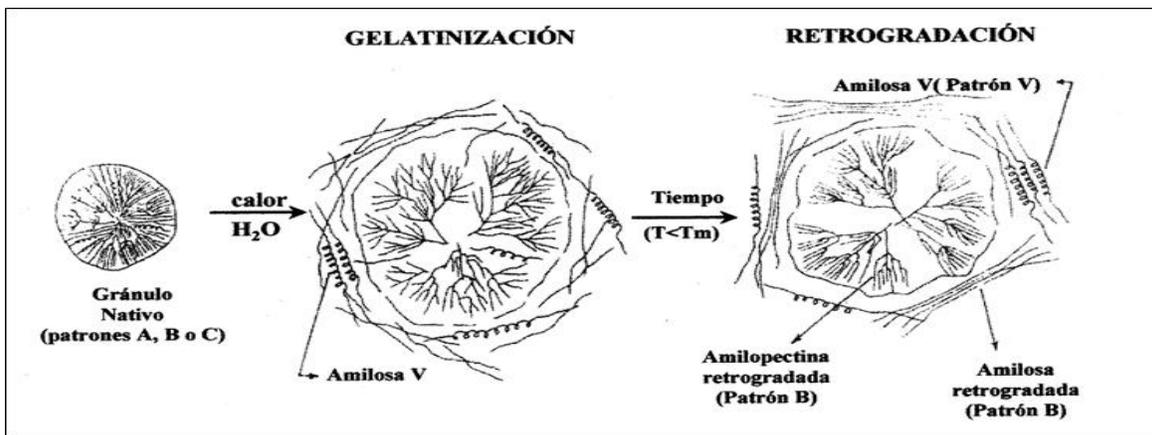
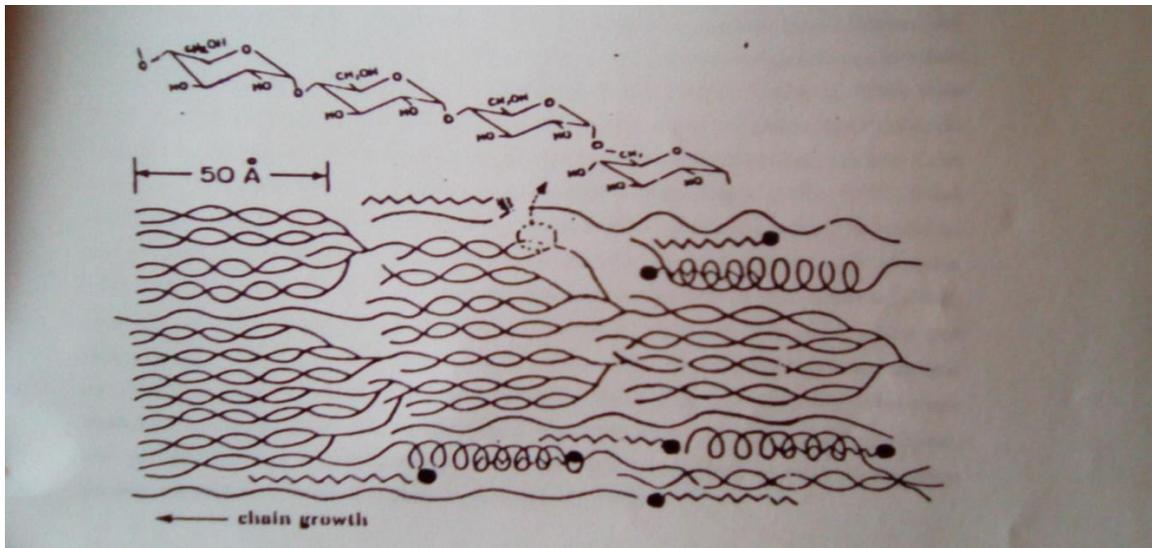


Figura 3. Organización molecular de los constituyentes del almidón (amilosa, amilopectina, monoacilgliceridos) en los gránulos basada sobre conceptos presentados por Blanshard 1986. Las propiedades nutricionales del almidon dependen principalmente de varios factores como calor y tiempo resultando gelatinización y retrogradación.

Fuente: Biliaderis, 1992, 1991.

En su forma natural, el almidón se presenta en las plantas con diferentes grados y tipos de cristalinidad, lo cual puede ser estudiado a través de análisis de difracción de rayos X, lo cual han revelado la existencia de tres patrones característicos: A, B y C. Estos patrones permiten clasificar al almidón utilizando una propiedad cuantitativa y no una característica morfológica, además de permitir estudiar las características físicas del almidón (Gallant y col., 1992, Buléon y col., 1998), como es la birrefringencia que exhiben los gránulos cuando se colocan bajo luz polarizada (Zobel, 1988 b; Biliaderis, 1991). Esta última característica origina patrones característicos de difracción. El patrón A, es típico de los gránulos de cereales; el patrón B es común entre almidones de tubérculos y el tipo C, se presenta en los almidones de las leguminosas y algunas raíces (Sarko y Wu, 1978; Zobel 1988 a).

La diferencia entre almidones A y B surgen del contenido de agua y la forma en que las dobles hélices de las ramas de la amilopectina son empacadas en los cristales (Imberty y col, 1991); el tipo C es una combinación de los patrones A y B (Eliasson, 1988; Gernat y col., 1990; Imberty y col, 1991). El patrón C representó una interrogante por mucho tiempo (Eliasson, 1988; Gernat y col., 1990), ya que puede descomponerse en una mezcla de los tipos A y B; sin embargo, recientemente Buléon y col. (1998) obtuvieron evidencias firmes de que en los gránulos tipo C coexisten ambos tipos de arreglo cristalino, con los cristales tipo A predominando en la zona externa y los de arreglo B ubicados preferentemente en el centro del gránulo (Buléon col., 1998).

Los gránulos del almidón tienen carácter semi-cristalino. La cristalinidad de los almidones parece depender en parte del grado de polimerización de las cadenas de amilopectina de corto rango (14-26 unidades de glucosa) y la periodicidad cristalina de 50-70 Å, a la presencia de enlaces α (1-6) (Robin y col., 1974; Zobel y col., 1988b). Los trabajos de Imberty y col. en 1988, sobre las estructuras de los tipos de almidón A y B, indicaron que la estructura tridimensional de la amilopectina se estabiliza por interacción paralela de regiones de doble hélices. Esta información se obtuvo de datos de la difracción de rayos X sobre porciones cristalinas aislados (Wu y Sarko, 1978a, b), que se aceptan como válidos para los poliformos nativos. La fase amorfa del gránulo del almidón es

también heterogénea. Consiste de amilosa amorfa y regiones intercrystalinas de amilopectina de densa ramificación. Las propiedades de alteración tecnológica del almidón varían fundamentalmente por las características de la fase amorfa (Biliaderis, 1992).

Las propiedades funcionales del almidón dependen generalmente del desarrollo del “pasting” al calentar el almidón a temperaturas superiores a 50-55°C. En este proceso, los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen con la absorción de agua, fenómeno llamado “gelatinización”, la cual es una fase de transición orden-desorden, donde por encima de la temperatura característica (normalmente > 50°C) y en presencia de un exceso de agua (1/300%), la estructura es alterada irreversiblemente (Colonna y col., 1992), disminuyendo y/o desapareciendo la cristalinidad. Esos cambios van acompañados por la solubilización de la amilosa (Blanshard, 1987). El resultado de la gelatinización es una suspensión caliente compuesta de gránulos hinchados con un esqueleto de amilopectina, embebidos en una solución de amilosa (Morris, 1990; Colonna y col, 1992; Zobel, 1992). Cada almidón según origen del alimento tiene un grado de cristalinidad diferente, que puede asociarse a su composición en amilosa y amilopectina, y por lo tanto se hincha gelatiniza a diferentes condiciones de temperatura (Badui, 1981),

La interacción entre los componentes polisacáridos en geles de almidón conlleva la formación de cristales con el enfriamiento, y esto incrementa gradualmente la rigidez y la separación de los polímeros y sus fases solventes (Biliaderis, 1991). Este fenómeno se conoce como “retrogradación”, el cual es un proceso de recristalización que involucra tanto a la amilosa como a la amilopectina (Eliasson, 1988) y ocurre durante el almacenamiento de alimentos (o almidones aislados) gelatinizados, en donde la interacción de los polisacáridos constituyentes, iniciada durante la gelación, continúa para formar finalmente estructuras cristalinas. Esto permite el incremento gradual en la dureza, así como la separación del polímero y el solvente. El almacenamiento a baja temperatura promueve la retrogradación de ambos tipos de polímeros, aunque la amilosa retrograda más rápido y firmemente que la amilopectina (Eliasson, 1988). Esta diferencia se puede explicar por la estructura lineal de la amilosa que facilita los ligamientos cruzados a través de puentes de hidrógeno (BNF, 1990). La amilosa retrogradada consiste en una red de puentes de hidrógeno intra e interhelicoidales que estabiliza una estructura de doble hélice, la cual

solamente puede ser disuelta después de tratamientos térmicos y químicos drásticos (Englyst y Cummings, 1990).

Por otra parte, la gelación se refiere a la formación de una pasta turbia y viscoelástica cuando el almidón se somete a calentamiento, o cuando aparece un gel elástico si el almidón se encuentra en concentración suficientemente alta (>5% p/p) (Craig y Stark, 1984; Stark y Yin; 1986). Característicamente, la gelación incluye la formación de una red elástica permanente y el desarrollo de opacidad. Desde el punto de vista físico-químico, el proceso de gelación es altamente complejo y las características del material resultante dependen de diferentes factores, tales como la concentración inicial del almidón, la relación amilosa:amilopectina, las temperaturas alcanzadas, otros (Ring y col., 1987; Clark y col., 1989; Morris, 1990).

Una característica importante de las suspensiones de almidón es la incompatibilidad de la amilosa y la amilopectina en preparaciones sometidas a cocción. Esto permite la formación de una mezcla de geles constituida por dos fases: una continua y otra discontinua. Cada una de éstas está compuesta, esencialmente, de uno de los polímeros, amilosa o amilopectina (Colonna y col, 1992).

Los alimentos son estructuras complejas, en las cuales el almidón puede estar presente en diferentes formas. Estas incluyen las características moleculares y de organización cristalina, que dependen de la composición de ingredientes y de las condiciones de procesamiento. Los cambios más significativos asociados al procesamiento a nivel de micro y macroestructura del almidón son: incremento del área de la superficie y del volumen del radio en la fase sólida, modificación de la cristalinidad (que es afectada por gelatinización y gelación) y la despolimerización de amilosa y amilopectina (Colonna y col., 1992).

5.- Aspectos nutricionales del almidón

5.1.- Digestión y absorción del almidón

Es importante explicar lo que sucede con el almidón en el tracto digestivo humano. El primer paso de la digestión ocurre en la boca por la acción de la α -amilasa de la saliva que cataliza los enlaces α -1-4 de la amilosa y la amilopectina. Aunque se ha pensado que esta enzima tiene acción limitada por su rápida inactivación por las condiciones ácidas gástricas (Gray, 1992; Ekhard y col., 1997), la amilasa parece contribuir de manera significativa a degradar el almidón “in vivo” (Kurasaki e Inomata, 1989; Ekhard y col., 1997). También en el intestino delgado ocurre parte de la digestión, donde la amilasa pancreática continúa catalizando los enlaces α -1-4 glucanos (almidón y polisacáridos), dando como productos una mezcla de maltosa, maltotriosa y dextrinas. La ruptura final de los di, tri y oligosacáridos remanentes se efectúa en el borde de cepillo de las células de la mucosa del intestino delgado, por medio de las enzimas disacaridasas, presentes como complejos enzimáticos (maltasa-sacarasa, maltasa-isomaltasa, maltasa-glucoamilasa), las cuales completan la hidrólisis de los constituyentes a glucosa libre (Dahlquist y Semenza, 1985; Annison y Topping, 1994; Ekhard y col., 1997).

Algunas evidencias obtenidas con estudios de intubación en humanos confirman esta liberación de glucosa en el íleon terminal (Annison y Topping, 1994). La glucosa es transportada a través de la membrana plasmática del enterocito por un mecanismo activo dependiente de Na^+ (Asp, 1989; Ekhard y col., 1997), y después es transportada al hígado a través de la sangre portal, para luego pasar a la circulación provocando un aumento en los niveles de glucosa en la sangre. Este incremento de glucosa postprandial provoca la secreción de insulina por el páncreas, lo cual estimula la síntesis hepática y periférica de glucógeno a expensas de la glucosa que ingresa por la acción hormonal (Asp, 1989; Gray, 1992; Ekhard y col., 1997).

5.2.- Biodisponibilidad de almidones.

Para los organismos heterótrofos, entre los cuales se encuentran el hombre y otros animales, la materia que les sirve de alimento debe satisfacer ciertos parámetros, no sólo de

cantidad, sino también de calidad. Así, no basta con ingerir cantidades apropiadas de un determinado nutriente, sino que la fracción de éste que está disponible, es decir, susceptible de ser asimilada, sea suficiente para compensar las demandas metabólicas del individuo (Carmona y Liuzzi, 1998).

Bajo el término “biodisponibilidad” se intenta incluir el resultado de una secuencia completa de eventos metabólicos (digestibilidad, solubilización, absorción, acumulación y liberación tisular, transformaciones enzimáticas, secreción y excreción). Esta variará dependiendo del parámetro seleccionado para evaluarlo. Las medidas de biodisponibilidad de un nutriente están influenciadas por múltiples factores, como aquellos propios del alimento, de su forma de preparación y de la competencia fisiológica del individuo que debe aprovecharlos. Más aún, importantes parámetros cinéticos a nivel de la digestión, absorción y utilización metabólica de un nutriente son afectados por mecanismos de retroalimentación, que dependen del estado de las reservas, de los requerimientos del sujeto y de la presencia de los procesos patológicos. (Tovar, 1994; Tovar, 1995b; Carmona y Liuzzi, 1998; Martínez y col., 1999).

Operacionalmente, la biodisponibilidad de un nutriente es la proporción del mismo nutriente que puede ser absorbida, almacenada y utilizada por el organismo (Bender, 1989; Southgate, 1989; Barbera, 1992; Tovar, 1994). Durante el paso a través del tracto digestivo, los macronutrientes deben ser transformados, es decir digeridos a formas absorbibles, por lo que la digestión es determinante de la disponibilidad (Southgate, 1989; Tovar, 1994). Por su utilización metabólica generalmente completa, la biodisponibilidad de los carbohidratos está principalmente relacionada con su disponibilidad para la absorción intestinal (Asp, 1989). En este sentido, la disponibilidad posee un componente cinético y otro de eficiencia. Así, se debe relacionar la facilidad de digestión y el tiempo en que un nutriente es transformado y digerido bajo circunstancias normales. Para estimar la extensión del proceso global de digestión-absorción (Asp, 1989), se toma en cuenta la cantidad del nutriente ingerido y la excreción fecal. Para el cálculo de la digestibilidad tenemos:

$$\% \text{ digestibilidad} = \frac{\text{Cantidad ingerida} - \text{Cantidad excretada en heces}}{\text{Cantidad Ingerida}} \times 100$$

Para los carbohidratos de la dieta es importante no solamente la extensión sino también la tasa de digestión, los cuales son de relevancia fisiológicas para propósitos nutricionales. Los almidones presentes en los alimentos pueden ser clasificados en: rápidamente digeribles, lentamente digeribles y almidones resistentes; estos últimos pueden ser divididos en al menos tres categorías, de acuerdo a la razón de su resistencia a la digestión (Tabla II) (Englyst y col., 1992).

Existen diversos factores que afectan la digestibilidad de los almidones. Los alimentos contienen carbohidratos simples (azúcar) y/o complejos (almidones) (Jenkins y col., 1986). Muchos almidones se absorben lentamente y promueven bajas respuestas glicémicas comparados con los azúcares simples (Crapo, 1985; Jenkins y col., 1986; Marks, 1989). Aunque pueden tener tasas de asimilación bajas, los almidones han sido considerados históricamente como digeribles completamente en el intestino delgado (Asp, 1989; Southgate, 1989a). Este concepto cambió en las dos décadas pasadas por estudios que mostraron la digestión incompleta del almidón en el intestino normal (Cummings y col., 1986), la similitud entre la respuesta glicémica postprandial a la glucosa libre y a algunos alimentos amiláceos, así como las diferentes respuestas producidas por diferentes almidones (Jenkins y col., 1981; Crapo, 1985; Würsch, 1989). Este marco de evidencias llevó a Englyst y Cummings, a proponer la mencionada clasificación nutricional de los almidones (Englyst y col., 1990; 1992).

Algunos de los factores que afectan la biodisponibilidad están relacionados con los constituyentes del almidón o de los alimentos mismos, y otros son de naturaleza extrínseca (Englyst y Cummings, 1990; Tovar, 1995b). Entre los factores intrínsecos tenemos:

TABLA II. CLASIFICACIÓN NUTRICIONAL DEL ALMIDÓN “IN VITRO”

Tipos de almidón	Ejemplos de su ocurrencia	Digestión probable en el intestino delgado
Almidón rápidamente digerible.	Almidones en comidas recién cocinadas.	Rápida
Almidón lentamente digerible.	Cereales crudos	Lenta pero completa
Almidones resistentes:		
1. Almidón físicamente inaccesible	Semillas y granos parcialmente molidos.	Resistente
2. Gránulos nativos de almidón no digerible.	Bananas y papas crudas	Resistente
3. Almidón retrogradado.	Papas y pan (cocidos y enfriados).	Resistente

FUENTE: Englyst y col., 1992.

A.- La gelatinización y/o grado de cristalinidad del almidón: es un factor importante en la tasa de hidrólisis y en la respuesta metabólica a materiales amiláceos. Así, la concentración de glucosa e insulina en el plasma sanguíneo es más elevada después de la ingestión de almidones sometidos a cocción que cuando se ingiere almidones nativos (Velasco, 1995). Englyst y Cummings en 1987, mostraron que la digestibilidad “in vivo” del almidón de papas recién hervidas es prácticamente completa. Similarmente, los almidones procesados con calor son más rápidamente hidrolizados “in vitro” y promueven respuestas metabólicas más altas que estado crudo (Holm y col., 1988; Bornet y col., 1989; Socorro y col., 1989). El efecto de la cocción reside en la desorganización granular y pérdida de la cristalinidad ocurrida durante el proceso de gelatinización, lo que facilita la hidrólisis enzimática del almidón (Biliaderis, 1991). Existe una relación entre la morfología granular, el grado de gelatinización y la digestibilidad de almidones, por lo que los alimentos ricos en carbohidratos y su uso potencial en las dietas terapéuticas dependerán del comportamiento observado en su digestibilidad “in vitro” (Acquistucci y Fornal, 1997; Berghofer, 1997; Urooj y Puttraj, 1999).

Durante la gelatinización se rompen los puentes de hidrógeno inter e intramoleculares produciendo como consecuencia una pérdida de la estructura granular compacta, lo que permite diferentes grados de hinchamiento y absorción de agua. Tales modificaciones conducen a una mayor accesibilidad de los polímeros de glucosa a las amilasas (Holm y col., 1988). Cuando los gránulos están completamente gelatinizados y dispersos, los almidones son más fácilmente digeribles (Biliaderis, 1991).

El procesamiento de los alimentos, y la variedad botánica, en el caso de cereales, afecta la cantidad del almidón que escapa a la digestión en el intestino delgado (Muir y col., 1995). El efecto del tratamiento en el procesamiento puede generar resistencia a la digestibilidad del almidón, por ejemplo en la cocción por ebullición y cocción con presión aumenta el contenido de almidón resistente, mientras que otros tratamientos pueden dar menores niveles de almidón resistente como el tostado, la extrusión, la fritura y el secado a tambor (Parchure y Kulkarni, 1997). Por ejemplo, la cocción a vapor y el calor seco pueden producir resistencia del almidón en leguminosas por efectos de transglucosilación (Tovar y

Melito, 1996). También dicho procesamiento influye en la digestibilidad del almidón y de la proteína, así como la disponibilidad de minerales, tal es el caso del horneado y tostado de la harina de papa, donde la disponibilidad de minerales y la digestibilidad de la proteína y del almidón fue más alta que en la harina de papas crudas utilizada en la formulación de varios productos (torta, bizcocho, comida lista para comer, dulce hindú, comidas para infantes) incorporando dicha harina, además de harina de soya desgrasada y harina de maíz (Gahlawat y Sehgal, 1998).

B.- La retrogradación del almidón: la retrogradación de la amilosa da como resultado la formación de partículas insolubles que consisten en cadenas del polímero firmemente unidas entre sí por puentes de hidrógeno. La recristalización o retrogradación depende de la formación de enlaces de hidrógeno y ocurre más rápidamente para la amilosa por su carácter esencialmente lineal. La retrogradación de la amilopectina está limitada por su estructura ramificada y los segmentos cristalinos que puede desarrollar presentan enlaces intercatenarios menos firmes que los de la amilosa retrogradada. El almidón retrogradado presenta un patrón de difracción de rayos X tipo B (Biliaderis, 1991). La retrogradación del almidón, principalmente de la amilosa, disminuye la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática (Kayisu y Hood, 1979), pudiendo así suministrar almidón no digerible en el intestino delgado (“almidón resistente”) (Bjorek y col., 1987).

La amilopectina retrogradada es digerida lentamente pero completamente por la amilasa pancreática (Ring y col., 1988); la amilosa retrogradada, por su parte, es resistente a la degradación enzimática “in vitro” y no digerible “in vivo”. El almidón retrogradado representa una fracción resistente al ataque de la amilasa en el intestino delgado, pero el almidón resistente total es el resultado de factores adicionados (Annisson y Toppins, 1994). Las variaciones de las temperaturas en el procesamiento de alimentos como cereales modifica la digestibilidad del almidón en forma gradual e incrementa la fracción de almidón resistente debida a la retrogradación (Tovar y Melito, 1996; Quattrucci y col., 1997).

C.- Presencia de la pared celular: en algunos materiales, como las leguminosas, se ha reportado que la rigidez de la pared celular y la presencia del almidón en tejidos botánicos intactos, limita la hidratación y dispersión del carbohidrato y limitando el acceso de las enzimas al sustrato amiláceo (Wursh y col., 1986; Tovar y col., 1990a,1991, 1992; Englyst y col., 1992; Björck y col., 1994), trayendo como consecuencia una disminución en la tasa de hidrólisis (Englyst y col., 1992; Björck y col., 1994). Así, la presencia de paredes celulares intactas (Wursch y col., 1986; Yonsoo-Chung, 1997) y/o tejidos de plantas (Scheeman, 1990; Tovar y col., 1992; Yonssoo-Chung, 1997) incluyendo gránulos del almidón, junto con la gelatinización incompleta, se considera la razón principal de la biodisponibilidad limitada del almidón en granos de leguminosas (Wursch y col., 1986; Englyst y Cummings, 1990; Tovar, 1992). También la estructura cristalina de los gránulos puede jugar un rol en este contexto; los gránulos que presentan un patrón de difracción B o C y que permanezcan intactos luego del procesamiento del alimento serán más resistentes a la digestión por la amilasa pancreática (Tovar, 1992).

D.- Tamaño de la partícula: las partículas grandes del alimento tienen una menor relación de superficie: volumen, y esto puede reducir el acceso de las enzimas hidrolíticas al interior de la partícula. Diversos autores han reportado la influencia del tamaño de las partículas que contienen al almidón sobre la respuesta post ingesta de glucosa e insulina en la sangre, lo cual es reflejo de las diferencias en la velocidad de amilólisis en el intestino delgado (Bornet y col., 1987; Heaton y col., 1988). El tamaño de la partícula afecta la compactibilidad y flexibilidad y por ende la velocidad de hidrólisis y la extensión de la digestión, como también las respuestas metabólicas (Haber y col., 1977; O’Dea y col., 1980; Jenkins y col., 1982; Heaton y col., 1988; O’Donnell y col., 1989; Granfeldt y Bjorck, 1991). El incremento en el área de superficie y del volumen del radio en fase sólida ocurre durante los procesos de fragmentación del material crudo, tales como la molienda y la trituración, que favorece la abrasión mecánica y fragmentación de los gránulos de almidón.

E.- Grado de compactación del alimento consumido: la densidad de empaquetamiento del almidón en los alimentos puede influir sobre la tasa de digestión de éste y modificar así la respuesta postprandial de glucosa e insulina (Hermansen y col., 1986).

F.- Complejos amilosa-lípidos y otros constituyentes de los alimentos: la biodisponibilidad puede verse reducida también por la interacción del almidón con otros constituyentes de los alimentos. Los lípidos y agentes surfactantes modifican la textura de los alimentos. Se conoce la existencia de complejos amilosa-lípidos, los cuales se atribuyen a la formación de una inclusión helicoidal entre las moléculas de los polisacáridos y ciertos lípidos monoacilados como se esquematiza en la figura 4. La formación de complejos amilosa: lípidos presenta muchas propiedades tecnológicas interesantes, tales como la disminución de la solubilidad de la amilosa, incremento de la temperatura de gelatinización (Eliasson y col., 1988, Juliano, 1998), retardo de la retrogradación y otros (Mercier, 1980; Hibi y col., 1990; Juliano, 1998). Además de estas características, es importante tomar en cuenta la calidad del almidón (Juliano, 1998). Así, complejos helicoidales de amilosa con ácidos grasos y monoglicéridos son más lentamente digeridos que el polímero libre por la amilasa pancreática “in vitro” e “in vivo” (Holm y col., 1983). También, la interacción del almidón con proteínas parece afectar la susceptibilidad al ataque por amilasas del almidón de ciertos alimentos (Slack y col., 1979, Holm y Björck, 1988; Tovar y col., 1989).

G.- Relación amilosa: amilopectina: los productos con un alto contenido de amilosa muestran una menor tasa de digestión enzimática “in vitro” y pueden promover respuestas Metabólicas bajas (Goddard y col., 1984; Behall y col., 1989; Granfeldt, 1994). Todavía no se conoce con certeza el mecanismo que pueda explicar este fenómeno (Granfeldt, 1994). Algunos procesamientos con calor y cambios de presión producen una alta asociación de la estructura de la amilosa (Maruta y col., 1998). Las modificaciones estructurales y biodisponibilidad de componentes de almidón guardan relación como la extensión de las reacciones de Maillard las cuales producen cambios en la estructura macromolecular del almidón y la susceptibilidad enzimática (Pizzoferrato y col., 1998)

H.- La presencia de antinutrientes: existen ciertos componentes en los alimentos que pueden tener una acción inhibitoria sobre las enzimas degradadoras del almidón. Entre éstos, las proteínas inhibidoras termolábiles de α amilasa y las lectinas (Jaffé y col., 1973; Thompson y Gabón, 1987; Thompson, 1988), los polifenoles (termoestables) y el ácido

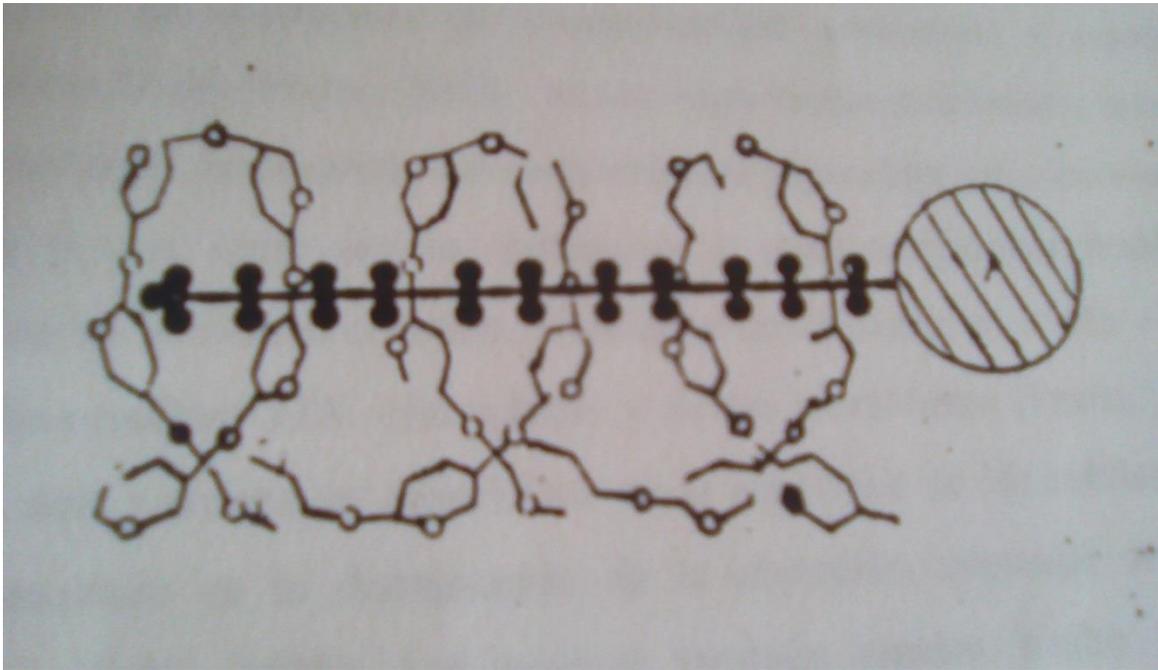


Figura 4. Complejo monoglicerido-amilosa helicoidal (Carlson y col., 1979 citado por Velasco, 1995).

fítico (Thompson y Yoon, 1984; Björck y Nyman, 1987; Morón y col., 1989). Algunos alimentos, como las leguminosas, contienen cantidades importantes de estos factores (Thompson y Gabón, 1987). Estos pueden ser parcialmente responsables de la baja tasa de digestión de los almidones de las leguminosas. La presencia de taninos y otros polifenoles, ácido fítico y lectinas tienen una relación negativa con la tasa de digestión del almidón *in vitro* y posiblemente, con la respuesta glicémica a los carbohidratos de los alimentos (Thompson y Yoon, 1984). Si bien los polifenoles tienen acción antinutricional, además de servir como sustrato en reacciones de oscurecimiento enzimático y ocasionar la astringencia de ciertos frutos (Badui, 1997), en los vinos tienen propiedades reductoras y actúan como antioxidantes, protegiendo las características organolépticas a los vinos tintos. Los antocianos de la uva, junto con las catequinas y otros compuestos fenólicos, son antioxidantes, captan los peróxidos celulares, retrasan el envejecimiento celular e inhiben la oxidación de las lipoproteínas LDL plasmáticas y de las membranas (Primo, 1998).

Las lectinas se pueden unir a receptores específicos en la superficie de las células epiteliales intestinales y el resultado es la disminución de la absorción intestinal de nutrientes, incluyendo azúcares (Jaffé, 1980). Las lectinas también pueden inhibir las enzimas digestivas, como la amilasa salival y pancreática (Levy y col., 1993). El ácido fítico (mioinositol-1, 2, 3, 4, 5, hexakis hidrógeno fosfato) se acumula como reserva de fosfato en muchas plantas y es capaz de combinarse, a través de enlaces fosfatos, formando complejos con proteínas y/o iones metálicos, reduciendo su disponibilidad biológica. Además, el ácido fítico puede afectar la digestibilidad del almidón a través de la combinación con proteínas asociadas al almidón y/o a través de la combinación con enzimas digestivas (Erdman, 1979). Algunos cationes (Ca, Mg, Zn, Fe) reaccionan con el ácido fítico, integrando los fitatos que no son aprovechados por el hombre y que se encuentran principalmente en los cereales (Badui, 1997).

El procesamiento empleado, como cocción, autoclave, germinación, molienda horneado, puede reducir los niveles de antinutrientes, incluyendo fitatos, taninos, inhibidores de tripsina y de amilasa, por lo que mejora la digestibilidad de la proteína y el almidón (Binita y Khetarpaul, 1997; Chau y Cheung, 1997; Chowdhury y Puhia, 1997).

Es conveniente destacar que la fermentación como proceso puede mejorar la calidad nutricional de algunos alimentos. Así, se ha estudiado el efecto del período de fermentación y la temperatura sobre los antinutrientes y la digestibilidad del almidón y la proteína “in vitro”, en productos de leguminosas, encontrándose una correlación negativa entre estos factores antinutricionales y la digestibilidad (Yadau y Khetarpaul, 1995; Sharma y Kapoor, 1996). También el efecto de la fermentación sobre el contenido de taninos y la digestibilidad de la proteína y el almidón ha sido analizado, encontrándose una amplia variación (Hassan y El-tinay, 1995). La fermentación de cereales conduce a cambios en el contenido de ácido fítico y en la digestibilidad “in vitro” del almidón y la proteína. Cuando la digestibilidad mejora, usualmente hay una reducción del ácido fítico, cuya acción inhibitoria de la amilólisis y la proteólisis es conocida (Czarnecka y col., 1998; Sharma y Khetarpaul, 1995; Sharma y Khetarpaul, 1997).

I.- Presencia de polisacáridos no amiláceos: los componentes de la fracción de fibra dietética, especialmente los polisacáridos viscosos, pueden también afectar la biodisponibilidad del almidón y otros nutrientes, por su efecto de enlentecer del vaciamiento gástrico y/o difusión de productos de digestión hasta la mucosa absortiva del intestino delgado (Leeds y col., 1979; Tinker y Shneeman y col., 1989), lo cual disminuye la respuesta glicémica (Jenkins y col., 1976). De esto, puede resultar una absorción reducida (Shneeman, 1990) y una baja digestibilidad total del almidón (Hamberg y col., 1989). Ciertos constituyentes de la fibra dietética pueden influir en los procesos de digestión, inhibiendo la actividad de las enzimas digestivas. Tal es el caso de la celulosa, la pectina, y los productos con altos contenidos de fibra como el salvado de trigo (Dunaif y Schneeman, 1981; Hansen y Schulz, 1982; Ikeda y Kusano, 1983; Dutta y Hlasko, 1985). Entre las enzimas inhibidas “in vitro” se encuentran la amilasa pancreática y la tripsina (Morón y col., 1989).

Actualmente se discute sobre la relación entre la fibra dietaría, su procesamiento, la formación del almidón resistente (Veena y col., 1995; Bravo y col. 1998), y el rol de estos componentes en productos típicos de diversos países, así como su posible efecto sobre enfermedades como el cáncer en el colon, (Plaami, 1997; Caygill, 1997; Periago y col.,

1997). Los granos generalmente presentan digestibilidad limitada de su componente amiláceo (Tovar, 1995a).

J.- Despolimerización de las moléculas de almidón: esto tiene lugar cuando se rompen unas pocas uniones glicosídicas, como ocurre durante la molienda, produciendo una considerable fracción soluble en agua fría, la cual está compuesta de amilosa y amilopectina. Algunos tratamientos térmicos como el "rollflaking", inducen una despolimerización suave. Procesos más drásticos, tales como la extrusión y cocción, irradiación o calentamiento en seco, promueven una despolimerización intensa con disminución de la cohesión del gránulo (Colonna y col. 1989) y las moléculas se hacen más susceptible al ataque enzimático (Herrera, 1997).

Entre los factores extrínsecos que afectan la digestión del almidón tenemos: la masticación, el tiempo de tránsito y la cantidad de almidón ingerido (Englyst y Cummings, 1990). Entre éstos, la masticación es importante porque puede modificar la cantidad del polisacárido que escapa a la digestión "in vitro" (almidón resistente). Pareciera pues, que a mayor intensidad de masticación de los alimentos, mejor es la digestión. La masticación ayuda al rompimiento de la estructura física de los alimentos, aumentando el acceso de las enzimas digestivas al almidón (Granfeldt y col., 1992; Velasco, 1995).

5.3.- Metabolismo, utilización de los almidones y la respuesta glicémica

La función principal de los carbohidratos en el metabolismo es como combustible que va a ser oxidado para suministro energía para otros procesos metabólicos. En este contexto, los carbohidratos son utilizados por las células, principalmente en forma de glucosa. Los monosacáridos principales que resultan de los procesos digestivos son: glucosa, fructosa y galactosa. El metabolismo de los carbohidratos en el organismo de los mamíferos puede dividirse en:

1.- Glucólisis: La oxidación de la glucosa o del glucógeno a piruvato y lactato, por la vía de Emndem-Meyehoff.

- 2.- Glucogénesis: La síntesis de glucógeno a partir de glucosa.
- 3.- Glucogenólisis: La degradación del glucógeno: la glucosa es el principal producto final de la glucogenólisis en el hígado, y el piruvato y lactato son los principales productos en el músculo.
- 4.- La oxidación del piruvato hasta acetilCoA: Este es un paso previo a la entrada de los productos de la glucólisis en el ciclo del ácido cítrico que es la vía común final para la oxidación de los carbohidratos, grasas y proteínas.
- 5.- La derivación de la hexosa monofosfato: Es una vía alternativa a la de Embden-Meyehof y la del ciclo del ácido cítrico para la oxidación de glucosa.
- 6.- Gluconeogénesis: la formación de glucosa o de glucógeno a partir de fuentes que no son carbohidratos; las vías comprometidas son el ácido cítrico y la glucólisis (Harper y col., 1978).

La mayor parte de las células de los mamíferos monogástricos utilizan la glucosa como principal fuente de energía. (Ekhard y Filer, 1997). Esta glucosa puede ser utilizada por 3 vías diferentes:

- 1.- Oxidación en varios tejidos; el cerebro es dependiente de la glucosa como fuente de energía mientras que otros pueden usar glucosa ó ácidos grasos. La glucosa, es el principal carburante del sistema nervioso central.
- 2.- Almacenada como glucógeno en el hígado y músculos. El glucógeno en el hígado puede ser usado para proveer glucosa a la sangre, mientras el glucógeno muscular es usado como fuente de energía sólo en los músculos.
- 3.- Transformada a ácidos grasos y almacenados como cuerpos grasos (Asp, 1993).

Las magnitudes de las respuestas glicémicas e insulinémicas para alimentos que contienen almidón son influenciados mayormente por sus características de digestión en el intestino delgado (Crapo, 1985; Jenkins y col., 1987a; Bornet y col., 1989; Brand y col., 1985; Brand y col., 1990). El índice glicémico es una medida “in vivo” de dichas respuestas, y permite ubicar los diferentes alimentos en intervalos discretos, sobre la base del porcentaje de su digestión y absorción evaluados como glicemia, para una ingesta equiparable de carbohidratos. La insulina, normalmente, responde paralelamente a las

respuestas glicémicas. Existen diferencias en la magnitud de la glicemia y las respuestas de la insulina en productos de trigo, lo que se podría explicar por la severidad del procesamiento y el grado de gelatinización. El grado de gelatinización del almidón está relacionado con la fracción del almidón digerido “*in vitro*” (Ross y col., 1987). Se ha observado por ejemplo, (Sumathi y col., 1997) que las respuestas glicémicas en sujetos normales ingiriendo productos como malta, cebada y productos de trigo procesados por deshidratación en rodillos poseen valores altos de glicemia en el periodo de 30 min que luego disminuyen a los 120 minutos.

El índice glicémico (IG), se relaciona con el área bajo la curva de la concentración de glucosa sanguínea postprandial, expresado como porcentaje del área correspondiente a la glicemia post ingesta de una porción equivalente de carbohidratos de un producto de referencia. (Jenkins y col., 1981). Originalmente se utilizó glucosa como referencia; sin embargo, más recientemente se recomendó usar el pan de trigo blanco, tomando 50g de almidón proveniente de éste, el cual refleja una visión más real ya que la persona consume el alimento completo (Bornet y col., 1987). Un concepto similar es utilizado para medir el índice insulinémico (Bornet y col., 1987) y el índice de hidrólisis “*in vitro*” (IH) (Granfeldt y col., 1992).

Es importante destacar que una baja respuesta glicémica es imprescindible para el control de la diabetes y puede producir efectos beneficiosos en cuanto a la saciedad y desempeño atlético. Los carbohidratos son fácilmente accesibles a la oxidación y contribuyen de manera significativa al recambio energético cuando se ingiere antes o durante el ejercicio. La liberación lenta de glucosa a partir de los alimentos de bajo índice glicémico, si se consumen inmediatamente antes del ejercicio, podría modificar la elevación de la insulina y proporcionar un aporte más constante de glucosa al músculo. Por otra parte, los alimentos de alto índice glicemia podrían resultar favorables cuando los depósitos de glucógeno son bajos o cuando éste, después de un ejercicio extenuante, se está reponiendo (Ross y col., 1987; Truswell, 1992; Ekhard y Filer, 1997).

También se correlaciona con un descenso limitado del pH en la placa dental luego de la ingesta, lo cual parece ser importante para la cariogénesis asociada a de los alimentos amiláceos (Brand y col., 1985; Lingtröm y col., 1989). Como ya se dijo, una baja respuesta glicémica está generalmente correlacionada con una baja respuesta insulinémica; los alimentos de bajo IG son de interés para la prevención y tratamiento de enfermedades en las que la hiperinsulinemia es considerada como un factor patogénico importante, tal es el caso de la hipertensión, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares (Traianedes y col., 1986; Wolever y col., 1986; Granfeldt y col., 1992; Takahiro y col., 1991; Björck, 1993; Englyst y col., 1996; Cummings y col., 1997; Feinglos y col., 1998).

Existen algunos factores que pueden influenciar la concentración de la glucosa en sangre durante un período de 2 horas después de la comida. Entre ellos se tienen: el vaciado gástrico, la magnitud de las respuestas insulínicas, la extensión de degradación física por la masticación, la concentración de amilasa en el intestino y la presencia de otros componentes.

Un carbohidrato con alto índice glicémico eleva la glicemia con mayor rapidez, y hasta un valor más alto, que un carbohidrato con más bajo índice glicémico. En principio esto pareció sencillo, pero más tarde se insistió que las variables no conocidas del control complejo de la glicemia, dificultan mucho la interpretación del índice glicémico. Los carbohidratos pueden dividirse en más de 2 categorías en relación con su capacidad para elevar la glicemia (Ekhard y Filer, 1997). El ascenso de ésta depende del tamaño de las comidas, de la cantidad de grasa y otros factores. Por ejemplo, se ha tratado de explicar con el índice glicémico las respuestas diferentes a la amilosa y la amilopectina en el hombre, pero todavía existen puntos difíciles. La amilosa promueve respuestas relativamente lentas y comparativamente pequeñas en glicemia y en la insulinemia, mientras que la amilopectina induce un incremento mayor de ambos parámetros y del glucagón.

Aunque la estructura ramificada de la amilopectina permite a la amilasa atacar en un mayor número de lugares y, por lo tanto, lograr una liberación de glucosa más rápida, la mayor respuesta del glucagón a la amilopectina sigue sin explicación (Grannfeldt, 1992;

Ekhard y Filer, 1997). Existen diferencias en las respuestas glicémicas e insulinémicas de alimentos, y en parte se puede explicar por la severidad del procesamiento y el grado de gelatinización alcanzado (Brand y col., 1985; Traianedes y O'Dea, 1986; Wolever y col., 1986; Ross y col., 1987).

Las respuestas glicémicas y hormonales que siguen a la ingestión de leguminosas son generalmente bajas, en comparación con los almidones de otros alimentos comunes (Jenkins y col., 1980; Traianedes; Wolever y col., 1987; Brand y col., 1985,1990; Granfeldt col., 1992; Englyst y col., 1996; Bravo y col., 1998). Esta característica sustenta la utilización de leguminosas para el control dietético de pacientes diabéticos (Jenkins y col., 1983) y puede ser un factor protector contra el desarrollo de hiperlipidémias y enfermedades cardiovasculares (Thorburn y col., 1987; Brand y col., 1990; Herrera y col., 1998). El comportamiento de los almidones de leguminosas se ha explicado por varios factores, tal es el caso del alto contenido en fibra dietética que acompaña el almidón en los granos, lo cual demora el vaciado gástrico y la absorción de los productos de digestión a nivel intestinal (Torsdottir y col., 1984). Sin embargo, la baja tasa de digestión del almidón se considera como el determinante más importante de la baja respuesta de glucosa e insulina asociada a la ingesta de leguminosas (Jenkins y col., 1982; Crapo 1985; Wong y col., 1985; Wolever y col., 1987; Brand y col., 1990).

Las diferentes leguminosas pueden tener diferentes susceptibilidades a la amilólisis, según el procesamiento utilizado (Wong y col., 1985; Traianedes y col., 1986; Tovar, 1992, 1995a; Velasco, 1995; Bravo y col., 1998). Por ejemplo, Wong y col. (1985) encontraron una diferencia importante entre la tasa de hidrólisis in vitro del almidón presente en caraotas rojas y lentejas en autoclave y las sometidas a cocción por ebullición, siendo los enlatados más rápidamente hidrolizadas. Una tendencia similar se registró en ensayos de respuesta glicémica in vivo, donde los granos cocidos a presión promovieron una mayor respuesta que los tratados en forma convencional (Traianedes y col., 1986; Wolever y col., 1987; Tovar y col., 1992).

Es importante destacar que la baja tasa de amilólisis de las leguminosas, sugiere las características intrínsecas de digestión lenta de los constituyentes de sus almidones (Jenkins y col., 1982; Socorro y col., 1989). Otro factor importante en el comportamiento post-ingesta de las leguminosas es la resistencia mecánica natural y el espesor de las paredes de las células del cotiledón, que contiene al almidón. Esto constituye una barrera física que previene la dispersión completa de los gránulos de almidón durante la gelatinización y también restringe su interacción con las enzimas digestivas (Würsch y col., 1986; Tovar y col., 1991; Granfeldt y col., 1992; Tovar, 1992; Tovar, 1995a; Englyst y col., 1996; Yonsoo-chung, 1997).

En el caso de los cereales, han sido muchos los estudios de respuesta glicémica (Björck y col., 1994). Por ejemplo, Panlasigui y col. (1991) evaluaron variedades de arroz con contenido de amilosa similar y encontraron que difieren en la digestibilidad del almidón y en la respuesta glicémica en humanos. Así, se concluyó que el simple contenido de amilosa no es un buen predictor del índice de digestión y de la respuesta glicémica. Las variedades de arroz con alto contenido de amilosa, pueden diferir en sus propiedades fisicoquímicas (gelatinización), y esto puede influenciar la digestibilidad del almidón y la respuesta de glucosa en sangre.

Se ha relacionado la presencia y tipo de fibra dietética con la respuesta glicémica. Tal es el caso del estudio de Nishimune y col., en 1991, donde se propuso un mecanismo de acción de la fibra dietética sobre la respuesta glicémica, sugiriendo una relación no lineal entre el índice glicémico y el contenido de fibra dietética de alimentos como cereales, granos, vegetales y frutas. Esta relación fue analizada usando los valores de fibra dietética total reportados, asumiendo una curva de regresión no lineal. Se usó una ecuación empírica. Se obtuvo curvas de regresión para la fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble. El contenido de fibra dietética soluble dio más bajo índice glicémico que el contenido de fibra dietética insoluble. Por lo tanto la fibra dietética soluble influye sobre el índice glicémico, además está relacionada a la fibra dietética total. La fibra dietética soluble está asociada a más bajos índices glicémicos que la fibra dietética insoluble.

El contenido fibra dietética total puede ser una guía útil para predecir un índice glicémico suplementario de un alimento (un valor cercano al índice glicémico publicado). Otros autores han estudiado la relación entre fibra dietética y tasa de amilólisis o respuesta glicémica, como en el trabajo de Chonchol y Tovar (1989), quienes determinaron el contenido de fibra dietética y la velocidad de digestión del almidón del casabe. En la actualidad se busca elaborar productos con una formulación e ingredientes que permitan modificar positivamente las respuestas glicémica e insulinémica. Por ejemplo, Yokoyama y col. (1997) evaluaron el efecto de la incorporación de β -glucano a pasta de trigo durum sobre la respuesta glicémica, la cual fue significativamente menor a la pasta control (sin β -glucano).

También se ha relacionado el índice glicémico con los riesgos de cáncer, modulando la actividad del factor 1 de crecimiento de insulina (IGF-1), la cual es una hipótesis explorada en este momento. Las dietas con un índice glicémico alto posiblemente tienen un efecto sobre la promoción del cáncer. Los datos epidemiológicos que relacionan el índice glicémico con los riesgos de cáncer son escasos, sin embargo los estudios han indicado asociación entre los granos (alimento de bajo índice glicémico) y la prevención del cáncer (McCarthy, 1998).

El procesamiento de los alimentos influye sobre la respuesta glicémica, como lo demostraron Holm y col. (1989), en él estudiando el efecto del proceso térmico sobre la respuesta glicémica en humanos y ratas a productos de trigo. Se concluyó que la respuesta glicémica de los productos es afectada por el procesamiento, el cual permite una más rápida digestión del almidón. Brand y col. (1985) estudiaron arroz cocido, maíz dulce cocido, papa cocida, arroz instantáneo, arroz inflado, “chips” de maíz, corn flakes, puré de papa instantánea y “chips” de papas. El índice glicémico fue más alto para los alimentos procesados de arroz, maíz y papa, que aquellos obtenidos por la forma convencional de cocción de estos alimentos. Los chips de papas produjeron una respuesta similar a la papa cocida.

Por otra parte, hay estudios que señalan discrepancias entre las respuestas glicémicas de un mismo alimento, Wolever y col. (1986) compararon el arroz regular y arroz “parboiled” y encontraron discrepancia entre las respuestas glicémicas. También el incremento de la Tasa de hidrólisis de los almidones de leguminosas ha sido descrito para procesos que involucran autoclave, técnica frecuentemente usada en procesamientos comerciales, como el enlatado (Traianedes y col., 1986).

Por lo complejo y laborioso de la evaluación de las respuestas metabólicas in vivo, se han desarrollado métodos in vitro que permitan la predicción, dentro de límites razonables de confiabilidad, de la respuesta glicémica. Así, Granfeld y col. en 1992, propusieron un procesamiento in vitro basado en la masticación de la muestra, que permite predecir respuestas metabólicas del almidón presente en productos de cereales y leguminosas, siendo el llamado “índice de hidrólisis” un buen indicador de la conducta metabólica de los almidones de diversos alimentos. La medición de la glucosa rápidamente disponible en alimentos vegetales, es un potencial predictor in vitro de la respuesta glicémica, según proponen Englyst y col. (1996a).

5.4.- Almidón Resistente

5.4.1.- Definición y Clasificación

Históricamente se consideró el almidón como un nutriente que se digiere y absorbe completamente en el intestino delgado, lo cual no se acepta actualmente (Björck y col., 1987). Ya desde 1982 se admite la existencia en los alimentos de fracciones de almidón capaces de resistir la digestión enzimática “in vitro” (Englyst y col., 1982). El almidón resistente es definido como la suma del almidón y productos de la degradación del almidón que no se absorbe en el intestino delgado de individuos sanos (Euresta, 1993). In vitro, el almidón resistente es aquel que resiste a la hidrólisis por una combinación severa de enzimas (Tovar, 1994).

Englyst y col., (1992) han propuesto una clasificación para el almidón resistente que ha sido ampliamente aceptada: rápidamente digeribles, lentamente digeribles y almidones resistentes; estos últimos pueden ser divididos en tres categorías de acuerdo a la razón de su resistencia a la digestión (Tabla II, III) (Englyst y col., 1992).

El mecanismo que explica la digestión incompleta del almidón resistente permite clasificarlo como: AR₁, ocurre en semillas, granos partidos y molidos o en estructuras densamente empaquetados como pastas; AR₂, corresponde la fracción de gránulos de almidón, principalmente del tipo B, que mantienen su estructura nativa; AR₃, almidón retrogradado (Englyst y col., Macfarlane, 1986; Saura-Calixto y Arabia, 1991; Tovar, 1992; Englyst y col., 1992). Hay quienes consideran que los almidones modificados pueden tener cierto carácter indigerible y proponen una cuarta categoría (AR₄), (Goñi y col., 1995).

Los alimentos crudos o procesados contienen cantidades apreciables de almidón resistente, dependiendo del tipo de procesamiento que han sido expuestos. Existen factores que influyen en el tenor de almidón resistente del alimento, como son la proporción de amilosa/amilopectina, la forma física del alimento, el grado de gelatinización, la intensidad del tratamiento térmico y el enfriamiento, además del tipo y condiciones de almacenamiento, tal como se discute más adelante en la sección No. 6 (Ring y col., 1988; Silvert y Pomeranz, 1989; Tovar y velasco, 1995; Velasco y col., 1997; Bravo y col., 1998; García-Alonso y col., 1998; Mangala y col., 1999).

El interés industrial y nutricional por el almidón resistente ha llamado la atención de los investigadores, lo que han permitido establecer algunos hechos. Por ejemplo, se considera que el almidón resistente es un componente no digerible, cuya ingesta tiene muchas implicaciones fisiológicas, como la promoción de la fermentación colónica y el crecimiento bacteriano intestinal, modulación de la glicemia postprandial, e influencia en el volumen fecal, el tiempo en el tránsito intestinal y el valor energético de los alimentos (Abia y col., 1993; Annison y Topping, 1994).

TABLA III. CLASIFICACIÓN DEL ALMIDÓN RESISTENTE

CLASIFICACIÓN DEL ALMIDON RESISTENTE	DEFINICIÓN
TIPO I	ALMIDÓN FÍSICAMENTE ATRAPADO EN LA MATRIZ DEL ALIMENTO, POR EJEMPLO ALMIDONES RODEADOS POR LA PARED CELULAR.
TIPO II	ALMIDÓN NATIVO PRESENTE EN ALIMENTOS NO COCIDOS COMPLETAMENTE.
TIPO III	SE FORMAN EN ALIMENTOS PROCESADOS A UNA ELEVADA HUMEDAD Y TEMPERATURA, ESTANDO PRINCIPALMENTE CONSTITUIDOS POR AMILOSA RETROGRADADA.
TIPO IV	CIERTOS ALMIDONES QUÍMICAMENTE MODIFICADOS. (NO HA SIDO DEMOSTRADO SU CARÁCTER INDIGERIBLE)

FUENTE: Englyst y col., 1992.

Es importante destacar la aplicación potencial de la tecnología a la formación del almidón resistente, como podría ser los procedimientos de cocción, enfriamiento, autoclavado, extrusión y otros, además del control de la influencia de otros constituyentes dietarios (lípidos, proteínas y azúcares) por los beneficios que este renglón no digerible puede tener en el estado de salud (Escarpa y col., 1996; Tovar y Melito, 1996; Escarpa y González, 1997a, Croghan, 1997; García-Alonso y col., 1998).

El almidón resistente tipo III (almidón retrogradado) es el más común en la dieta humana y, desde el punto de vista tecnológico, el más importante porque se forma como un resultado del procesamiento. La formación de este tipo de almidón resistente se produce con la gelatinización y retrogradación del almidón. Durante el proceso de gelatinización el orden molecular del gránulo del almidón es gradualmente modificado incrementando la digestibilidad. Cuando se enfría el gel se forma una estructura no digerible: almidón retrogradado tipo III (Björck y col., 1987; Berry y col., 1988; Sievert y Pomeranz, 1989; Siljeström y col., 1989,1990; Escarpa y col., 1996; García y col., 1998a).

Por otra parte cabe destacar algunos aspectos sobre el almidón resistente que son de gran interés y tienen relación a lo comentado anteriormente. El efecto de varios constituyentes no carbohidratos, tales como proteínas y lípidos sobre la formación del almidón resistente y el procesamiento de alimentos como arroz ha sido evaluado por Mangala y col. (1999). En este estudio, el almidón fue aislado de la harina de cereal procesada por remojo con agua y fue desproteínizado y desgrasado para obtener las fracciones de almidón nativo. La formación de almidón resistente fue mayor en aislados desgrasados pero, poco fue afectada por la desproteínización. Escarpa y col. (1997b) determinaron la influencia de los nutrientes albúmina sérica bovina, aceite de oliva, azúcar y ciertos componentes de la fibra dietética: lignina, celulosa, pectina cítrica, goma guar, ácido fólico y catequina; iones de calcio y potasio, además de la estandarización de la gelatinización y las condiciones de retrogradación. Los diversos nutrientes ensayados reducen la formación del almidón resistente.

Existe influencia del origen botánico y del tipo de procesamiento aplicado sobre la formación del almidón resistente tipo III, que como ya se señaló es formado por gelatinización y retrogradación del almidón. La influencia del origen botánico y la magnitud de la gelatinización producida por autoclave y cocción por ebullición, tiene diferencia entre el contenido de almidón resistente presente en almidones nativos y retrogradados. Los valores de almidón resistente tienen una ligera y menor variación después del procedimiento de gelatinización. No hay diferencias importantes en digestibilidad entre las muestras hervidas o en autoclave (García y col., 1998b).

También se ha evaluado el efecto de la temperatura de re cocción y como los ciclos de enfriamiento, sobre el tenor de almidón resistente tipo III en geles recocidos. Vasanthan y Bhattu (1998) evaluaron el efecto de un pre digestión con pululanasa y un proceso de cocción/enfriamiento/recocción, sobre la formación de AR III en geles de almidón aislado. El tratamiento con enzima y ácido incrementó el contenido de almidón resistente tipo III en amilo maíz, lentejas, cebada y guisantes.

Por otra parte, el efecto de la proporción de la amilosa y la amilopectina y la condición del horneado sobre la formación de almidón resistente fue estudiado por Akerberg y col. (1998a); se demostró que el horneado por largo tiempo sometido luego a baja temperatura fue más eficiente en la formación del almidón resistente, y que un nivel alto de amilosa puede obtener un pan de cebada, trigo o arroz con propiedades nutricionales mejoradas (mayor tenor de AR).

El tiempo y temperatura del almacenamiento influyen sobre el almidón resistente. Kavita y col. (1998) tomaron en cuenta este aspecto en harinas de cereales y tubérculos, en alimentos cocidos, legumbres germinadas y en alimentos fermentados, tanto frescos como gelatinizados y almacenados. Se determinó que el contenido de almidón resistente se incrementa en el almacenamiento de 24 a 48 horas, pero posteriormente disminuye con el recalentamiento y la fermentación. Sin embargo, no fue significativo el aumento del contenido del almidón resistente de legumbres decorticados y almacenadas, comparados con las frescas, mientras que las habas y lentejas cocidas mostraron menos almidón

resistente con el almacenamiento comparado con las muestras frescas. En cuanto a la germinación, el contenido de almidón resistente disminuye al igual que en los productos fermentados.

Parchure y Kulkarni (1997), determinaron que la cocción por ebullición y la cocción con presión aumentan el tenor de almidón resistente, aunque otros tratamientos estudiados (tostado, extrusión, secado en tambor y fritura) son más bajo el contenido de almidón resistente, dependiendo del tipo de alimento estudiado y el método empleado para cuantificar el AR. También Bornet (1993) estudió el tratamiento de alimentos de cereales, y su repercusión sobre las propiedades del almidón, el almidón resistente y la digestibilidad. En 1996 Escarpa y col. estudiaron la formación del almidón resistente en un sistema controlado de autoclave (alta presión), siendo mayor que el obtenido usando baño de agua hirviendo como sistema de gelatinización.

Se ha relacionado el tenor de almidón resistente y la digestibilidad del almidón en diversos alimentos y productos (Morales y col.; 1997). Algunas variables estudiadas tales como el uso de azida de sodio, el tiempo de incubación con la α -amilasa y la cantidad de amiloglicosidasa empleados en el ensayo in vitro afectan el índice de digestibilidad y el almidón resistente. Abia y col., 1993 estudiaron el almidón resistente en muestras de referencia (almidón de papa, almidón de trigo) y en alimentos (harina de trigo, espagueti, lentejas, caraotas, papas, y otros). Se relacionó variables que pueden afectar la digestibilidad y el almidón resistente de éstos y se determinó que el almidón resistente después del tratamiento por autoclave y enfriamiento, así como la digestión enzimática, promueven cambios en la apariencia física entre almidones. Tales cambios también modifican la accesibilidad de los almidones, a la acción de las enzimas bacterianas y, por consiguiente, de su fermentabilidad.

La formación del almidón resistente en el trigo (*Fagopyrum Esculemmtum Moench*) autoclavado fue estudiado por Skrabanja y Kreft (1998). Otro estudio de Kreft y col. (1998) sobre nuevos aspectos nutricionales de productos basados en trigo, donde el cereal fue cocido o autoclavado con ciclos de cocción enfriamiento, para producir sémola. Después de

3 ciclos de cocción y frío, disminuye el contenido de almidón de digestión rápida e incrementa el almidón resistente, comparado con los resultados de 1 ciclo.

No puede dejarse de mencionar el efecto de la cocción sobre el contenido de fibra dietética, evaluado por los métodos enzimáticos/gravimétricos más aceptados en la actualidad. Con esta aproximación analítica, este renglón incluye el almidón resistente Tipo III y a los polisacáridos no amiláceos (NSP). Este fenómeno ha sido estudiado por diversos autores, particularmente en leguminosas (Tovar y col., 1990a; Cheung y Chi-fai-chau, 1998)

En 1996 Cairns y col. estudiaron al almidón resistente fisicoquímicamente “in vitro” e “in vivo” de guisantes y compararon ambos métodos y observaron que la amilosa retrogradada contenida en el modelo in vitro posiblemente no es un adecuado representante del AR₃ en el modelo in vivo.

Noah y col. en 1998 estudiaron la digestión de carbohidratos en caraotas blancas (Phaseolus Vulgaris L.) donde el almidón resistente está presente en grandes cantidades en leguminosas. En este estudio se cuantificó el almidón resistente en humanos y cerdos a través de intubación y se caracterizó su baja digestibilidad. Conociendo que la retrogradación no es un factor responsable de la malabsorción, se concluyó que las caraotas blancas contienen una gran cantidad de almidón resistente, formado principalmente por moléculas parcialmente degradadas y protegidas por las paredes celulares durante el tránsito intestinal.

5.4.2.- Metodología para determinar almidón resistente

Para cuantificar almidones resistentes “in vitro” se han propuesto varios métodos, pero ningún procedimiento, hasta ahora permite cuantificar con exactitud el total del almidón no digerible in vivo, hecho derivado de la complejidad del proceso digestivo y de la heterogeneidad de la fracción no digerible (Tovar, 2000). Los diversos procedimientos se basan, principalmente, en remover el almidón digerible de la muestra, con el uso de α -

amilasa pancreática o de otra fuente y la adición de amiloglucoamilasa en otros, para evitar una posible inhibición de la α -amilasa por los productos de la digestión. La amilólisis es algunas veces precedida por una proteólisis, la cual presente para reflejar la acción gástrica de la pepsina y de la tripsina a nivel intestinal. Después de la hidrólisis de los almidones digeribles, los almidones resistentes son cuantificados directamente en residuos precipitados, o por la diferencia entre el total del almidón y almidón digerible, los cuales son cuantificados separadamente (Champ, 1996; Tovar, 2000).

A.- Determinación de almidón resistente “in vitro”:

A₁.- Determinación de fracciones resistentes retrogradados (AR tipo III).

Entre estos se destacan: el Método de Englyst y col. (1982); el método de Lund (Johansson y col., 1984) y su modificación por Saura-Calixto y col. (1993), y el método de cuantificación de almidón resistente por diferencia (Tovar y col., 1990a).

El método de Lund se basa en la cuantificación del almidón que queda asociada al residuo de fibra dietética obtenida por el método enzimático gravimétrico (Johansson y col., 1984). Siempre tuvo una buena aceptación entre los investigadores del área (Tovar 2000), pero una de sus principales desventajas es su prolongada duración; además, el procedimiento requiere la remoción del residuo fibroso mezclado con el agente filtrante (celite) para dividirlo en alícuotas que deben ser analizadas posteriormente para almidón.

Estos inconvenientes fueron solventados mediante la modificación introducida por el grupo de Fulgencio Saura-Calixto en Madrid, quienes propusieron un protocolo experimental análogo al de Lund, pero realizando todas las etapas de digestión del almidón dispersión del almidón remanente en la fibra y su digestión enzimática, en un mismo recipiente (Saura-Calixto y col., 1993). En este método se toma una pequeña porción (100 mg) de la muestra molida se coloca en un tubo de centrífuga y allí se le somete al procedimiento de preparación de la fibra alimentaria insoluble, mediante el método enzimático-gravimétrico de Prosky y col. (1988). Al emplear Termamyl[®], procedimiento que solubiliza cualquier posible almidón no gelatinizado presente por la muestra original,

anulando la posibilidad de cuantificar al AR Tipo II. Una vez eliminado el material digerible solubilizado, el residuo se trata con potasa (KOH) 2N para dispersar el almidón resistente retrogradado, se neutraliza y se incuba con amiloglucosidasa para transformar el almidón en glucosa libre, y así se logra el objetivo perseguido por el procedimiento de Johansson y col. (1984), sin necesidad de emplear celite y evitando el trasiego de pequeñas porciones de residuo fibroso desde el crisol de filtración hasta el tubo que albergar las fases dispersión y digestión del almidón.

A.2.- Métodos que determinan fracciones resistentes retrogradadas y nativas: En este renglón se destacan el método de Berry (1986), el método de Faisant y col. (1995) y el método de Goñi y col. (1996). Por haber sido utilizado en esta investigación, comentaremos este último procedimiento.

El grupo de Saura-Calixto presentó un procedimiento similar al de Faisant y col. (1995) para cuantificar el almidón resistente, incluyendo las fracciones tipo 2 y tipo 3. Este método consiste en digerir la muestra molida primero con pepsina y luego con ∞ amilasa pancreática a una temperatura de 37- 40°C. Se omite el uso de Termamyl®. La inclusión de la etapa proteolítica, ausente en los métodos de Berry (1986) y Faisant y col. (1995), garantiza la eliminación de posibles interacciones almidón/proteína, capaces de afectar la hidrólisis del polisacárido. El residuo indigestible se obtiene por centrifugación, se dispersa en KOH 2N y se incuba con amiloglucosidasa a 60°C para su hidrólisis hasta glucosa.

También se han propuesto métodos para la estimación in vitro del almidón resistente “total” como: el método de Englyst y col. (1992), el de Muir y O’Dea (1992) y el Akerberg y col. (1998b), siendo el primero de los nombrados uno de los más publicitado a nivel internacional, sin que ello signifique mayor aceptación (Tovar, 2000).

B.- Determinación de almidón resistente “in vivo”:

Se han desarrollado diversos métodos para evaluar el almidón resistente in vivo. En el humano, los almidones no digeridos pueden ser cuantificados directamente recolectando

muestras del contenido del íleo, o indirectamente estimando la cantidad de almidón fermentado en el colon. (Champ y Faisant, 1996). Un método directo consiste en trabajar con pacientes ileostomizados. El segundo tipo de método aplicado consiste en la intubación de voluntarios sanos y la recolección del contenido digestivo del íleon terminal. En este método de intubación se recolecta el contenido del íleon de 33 gr. equivalente de almidón suministrado en una comida completa, aspirándose en 14 horas. Luego la muestra se liofiliza, y se muele y se analiza, para posteriormente ser considerado almidón resistente, todo el almidón que alcanza el íleon terminal (Champ y Faisant, 1996).

Se ha propuesto un test de respiración que puede usarse también para cuantificar la cantidad de almidón que ingresa al colon. Esta técnica indirecta está basada en la medición del hidrógeno presente en el aire expirado, el cual es producto de la fermentación colónica de los carbohidratos. Dicho proceso fermentativo produce ácidos grasos de cadena corta y gases, tales como CO_2 , CH_4 , y H_2 . Parte de estos gases son absorbidos, la sangre y transferidos en los pulmones al aire expirado. Para cada individuo, el total del H_2 medido en la respiración después de la digestión de una comida experimental es comparada con la cantidad de H_2 expirado después de la ingestión de una cantidad conocida (usualmente 10 g) de lactulosa; este carbohidrato no es digerido en el intestino delgado y es fermentado totalmente en el colon. Esta calibración con lactulosa permite la cuantificación de los carbohidratos fermentados en el colon. Esta técnica ha sido objeto de diversas críticas, entre los que se destacan:

- 1.- Las vías fermentativas son diferentes entre un sustrato y otro, y la comparación entre H_2 producido por almidón y por lactulosa es difícil.
- 2.- La proporción de H_2 absorbida por el colon y el eliminado a través del intestino depende del uso del H_2 por la microflora y su cinética de producción.

Sin embargo, aunque el test de respiración no puede ser usado realmente para cuantificar la malabsorción del almidón, puede emplearse para detectar malabsorción clínica o para hacer un cuadro de productos diferentes en condiciones experimentadas verdaderamente estandarizadas (Champ y Faisant, 1996).

Se ha estudiado las características físico-químicas de los carbohidratos resistentes a la digestión en humanos ileostomizados, para profundizar el conocimiento sobre su origen y propiedades (Cummings y col., 1996; Ekwall y col., 1995; Botham y col., 1997).

5.4.3.- Comportamiento in vivo y consecuencias fisiológicas del almidón resistente

Es importante mencionar el comportamiento in vivo del almidón resistente el cual ha sido estudiado por varios autores. Noah y col. (1998), cuantificaron el contenido de almidón resistente en leguminosas. El almidón resistente de caraotas blancas (Phaseolus vulgaris) cocidas fue cuantificado en humanos y en cerdos. En este estudio se usó el método de intubación en humanos, comparándose con el método de canulación ileal en cerdos. Además, se efectuó análisis químico, microscópico y cromatografía de exclusión molecular, de las fracciones resistentes en humanos. Se observó que las caraotas contienen almidón resistente, formado principalmente por degradación parcial de ciertas cadenas amiláceas. El almidón es protegido por las paredes celulares del cotiledón durante su tránsito a través del intestino. La retrogradación contribuye, pero no parece ser el principal factor responsable de la malabsorción del almidón en estos granos.

García y col., en 1998b estudiaron el almidón resistente y el índice glicémico potencial estimado in vitro, de leguminosas cocinadas y crudas (lentejas, garbanzos y caraotas blancas). En dicho estudio se determinó la cantidad de almidón resistente tipo II y III. Las leguminosas crudas tienen más altos valores de almidón resistente (II+III) que las cocidas, en las que el AR es fundamentalmente del tipo III. El enfriamiento incrementó el almidón resistente tipo III; sin embargo, volviéndolo a calentar, el valor se mantuvo o disminuyó.

En 1997, Botham y col. realizaron la caracterización físico-química de los carbohidratos de cebada resistentes a la digestión en humanos ileostomizados. El análisis químico mostró la excreción de almidón resistente y de polisacáridos no amiláceos después de consumir cebada y harina de cebada. La difracción de rayos X mostró que el almidón no absorbido era del tipo A, lo cual sugiere que la resistencia no fue debida a retrogradación.

Por otra parte en 1993 Key y Mathers estudiaron la digestión de carbohidratos complejos y la fermentación del intestino delgado en rata, dándoles comidas completas, a base de pan y caraotas cocidas, en dietas mixtas. La no detección de almidón en las heces de estos animales evidenció una alta fermentabilidad del material indigerible de estas, lo cual luce contradictorio con otros hallazgos con dietas de leguminosas.

La digestión incompleta de carbohidratos en el intestino delgado puede resultar de una malabsorción de carbohidratos simples. La intolerancia a la lactosa surge por la carencia de la disacaridasa apropiada, y algunos de sus síntomas son diarrea, dolor abdominal y contracciones. El resultado de la acumulación de azúcares en el intestino delgado, para ser fermentado por la microflora colónica induce a la diarrea osmótica. Este mecanismo de acción es el mismo en algunos productos laxantes, como la lactulosa. También puede ocurrir con polisacáridos no amiláceos solubles en agua, especialmente en animales de experimentación (Annison y Topping, 1994).

La respuesta del almidón resistente parece depender grandemente de los alimentos que lo contienen. En general, el contenido de almidón resistente no puede verse y colocarse junto a algunos de los problemas asociados con la malabsorción de otros carbohidratos (Annison y Topping, 1994). Por otra parte, el paso del almidón no digerido al colon limita la cantidad de glucosa que puede absorber en el intestino delgado. Alimentos con gran cantidad de almidón resistente pueden producir valores de índice glicémico más bajos que productos similares de bajo tenor de AR. No obstante, solamente ciertos alimentos, tales como granos y pastas, tienen valores de índice glicémico en concordancia con una alta concentración de almidón resistente. Existen factores metodológicos que pueden explicar esta inconsistencia, incluyendo la cantidad del alimento y las variaciones día a día en algunos individuos. Igualmente, son importantes las condiciones “*in vitro*” usadas en el evento de hidrólisis del almidón es asociado al análisis. Cuando el contenido de almidón resistente en el alimento cae bajo, por debajo de cierto nivel, éste no puede ser detectado (Annison y Topping, 1994).

En la tabla IV se resumen los posibles efectos del almidón resistente en el organismo (Goñi y col., 1995). Si bien se le han atribuido muchas propiedades beneficiosas al AR, todavía existen muchas preguntas por aclarar. Entre los posibles beneficios de su consumo, se menciona lo siguiente:

1.- Puede interferir en el metabolismo de los lípidos, siendo el mecanismo de acción todavía hipotético. Se considera importante el efecto del propionato producido por fermentación en el metabolismo de los lípidos y la inhibición de la síntesis hepática del colesterol (inhibición de la enzima HMGCoA reductasa). Esto pudiera reducir el riesgo a padecer enfermedades cardiovasculares, que son la primera causa de muerte en muchos países, incluido el nuestro.

2.- El almidón resistente puede disminuir la respuesta glicémica insulínica a algunos alimentos, permitiendo disminuir la síntesis hepática de triglicéridos. Esto también es importante en un riesgo cardiovascular y de diabetes disminuidos para la población, y en el control dietario de estas enfermedades.

3.- Posiblemente el almidón resistente influye sobre la secreción de los ácidos biliares. Destaca aquí el rol de los metabolitos no absorbidos atacados por la fermentación colónica, sobre el metabolismo hepático. El hígado, para sintetizar nuevos ácidos biliares utiliza más colesterol plasmático, efecto muy importante para el control de hipercolesterolemias.

4.- El almidón resistente es fermentado de manera variable, lo que produce principalmente ácidos grasos de cadena corta (SCFA). Entre éstos, el butirato es importante en la diferenciación de las células epiteliales colónicas sanas.

5.- El almidón resistente parece tener un efecto importante sobre el metabolismo bacteriano en el colon humano, lo cual le ha valido especial atención en el contexto de la prevención del cáncer.

6.- Otro aspecto es el cambio energético asociado a la substitución del almidón digerible por almidón resistente. Esto permite disminuir la energía de 4 a 2 Kcal/g aproximadamente (Goñi y col., 1995). Así, un consumo diario de 30g de almidón resistente equivale a una disminución de 60 Kcal dietarias a expensas de carbohidratos digeribles.

7.- Finalmente, la producción de butirato y la moderación del metabolismo del nitrógeno en el colon puede también ser relevante para la prevención del cáncer.

TABLA IV. EFFECTOS PROBABLES DEL ALMIDÓN RESISTENTE
EN EL ORGANISMO

- DISMINUCIÓN DEL CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA DIETA.
- DESCENSO DEL APETITO.
- REDUCCIÓN DE LA RESPUESTA GLICÉMICA E INSULINÉMICA POSTPRANDIAL.
- DISMINUCIÓN DE NIVELES DE LDL.
- DISMINUCIÓN DE TRIGLICÉRIDOS Y COLESTEROL.
- MODIFICACIÓN DE LA FLORA BACTERIANA CRÓNICA.
- ACCIÓN PREVENTIVA SOBRE CÁNCER DEL COLÓN.

FUENTE: Goñi y col., 1995.

Algunos estudios en relación al almidón resistente y su acción fisiológica, incluye, por ejemplo, el de Silvi y col. (1999), quienes evaluaron el efecto fisiológico del almidón resistente tipo III en humanos y en ratas. Las ratas alimentadas con dietas ricas en almidón resistente, evidenciaron un cambio en la microflora intestinal, específicamente en el ciego. Se observó un cambio en la actividad enzimática bacteriana, así como en la concentración de amoníaco en el ciego, además de un incremento del ácido butírico, induciendo a la proliferación celular en el colon proximal.

Hylla y col. (1998) estudiaron el efecto del almidón resistente tipo III sobre el colon de voluntarios sanos y sus implicaciones en la prevención del cáncer. No se encontraron diferencias en las concentraciones fecales o excreción diaria de ácidos grasos de cadena corta con el consumo de dietas con alto o bajo contenido de almidón resistente. El consumo de dietas ricas en almidón resistente provocó una disminución de la actividad de la betaglucosidasa bacteriana, y disminuyó la concentración fecal y total de esteroides neutros y ácidos biliares secundarios, por lo que se sugirió que el almidón resistente puede tener relevancia en la prevención del cáncer.

La producción de ácidos grasos de cadena corta a partir de almidón resistente tipo III, fue estudiada in vivo en cerdos por Martín y col. (1998), investigando la producción de ácidos grasos de cadena corta y la digestibilidad ileal se encontraron diferencias en los valores de ácidos grasos de cadena corta producidos in vitro e in vivo usando como sustrato almidón de maíz retrogradado extruido o almidón de papa.

6.- Efecto del procesamiento de almidones sobre la biodisponibilidad del almidón

Como ya se ha mencionado, el almidón es un ingrediente fundamental en muchos sistemas alimenticios, teniendo influencia en la estructura, textura, consistencia y flavor en general (Rogols, 1986). Debido a su gran utilización, este polímero es usado en la industria como agente encapsulador, adhesivo, tenso-activo, texturizante, así como en otras aplicaciones, lo cual amplía las perspectivas industriales del polímero, ya no solo como un

nutriente que aporta energía, sino como un agente que influye en las características organolépticas y estéticas de muchos sistemas alimenticios (Mauro, 1996 citado por Herrera 1997).

“In vitro” la cinética de hidrólisis del almidón muestra diferencias en su susceptibilidad a la hidrólisis con α amilasa, ya que la velocidad y la proporción de la hidrólisis depende de la fuente vegetal del almidón, de las propiedades físicas del mismo (como el tamaño de la partícula y el estado del gránulo), así como también el tipo de tratamiento físico que haya recibido (Ring y col., 1988; Wursh, 1989). Cabe destacar que las modificaciones físicas por tratamiento térmico producen transformaciones morfológicas y químicas sobre la molécula, lo que genera variaciones en sus propiedades funcionales y, posiblemente, nutricionales (Herrera, 1997). Es importante destacar que la disponibilidad aumenta de acuerdo al grado de gelatinización del almidón alcanzando con el procesamiento industrial (Holm y col., 1985).

El efecto del procesamiento sobre la estructura del almidón puede variar afectando su digestibilidad y por lo tanto su valor nutritivo. Cuando los alimentos son calentados con poca cantidad de agua las estructuras cristalinas del gránulo pierden su orden, y esto varía con el contenido de humedad y con el origen del almidón. La aplicación de calor que puede variar a lo largo del tiempo conlleva la desaparición de las formas cristalinas A y B. Cuando el almidón es calentado en exceso de agua ocurre la gelatinización involucrando la pérdida de la estructura cristalina; primero sucede la disociación de los cristales a 60 - 70°C y luego, sobre 90°C, se produce una pérdida de textura del alimento (Annison y Topping, 1994; Pomeranz, 1991; Primo, 1998).

Los alimentos procesados son almacenados en una variedad de períodos y temperaturas antes de su consumo. Durante este período pueden ocurrir más cambios en la estructura del almidón, donde las moléculas de amilosa y amilopectina pueden asociarse, fenómeno que dependerá de factores como: proporción de amilosa: amilopectina, cantidad de agua presente, y el tiempo y temperatura del almacenamiento. Es decir, los almidones no son

estables y envejecen con el tiempo, al aumentar su cristalinidad por retrogradación (Annison y Topping, 1994; Pomeranz, 1991).

La retrogradación puede ser aumentada por calentamientos repetidos y ciclos de enfriamientos. Este proceso estimula la formación de regiones cristalinas extendidas de α -glucanos. Cuando los almidones sujetos a retrogradación se tratan con α -amilasa se hidrolizan los almidones no retrogradados, quedando, como ya se ha dicho, una fracción que se resiste a la degradación amilolítica, el almidón resistente tipo III (Annison y Topping, 1994).

El otro cambio importante asociado a la cocción y los tratamientos culinarios en general, es el aumento de la respuesta glicemia y hormonal que indica el alimento amiláceo, a consecuencia de la elevación de la tasa de hidrólisis que se presenta por la gelatinización (Björck y col., 1994).

7.- Consideraciones generales sobre la fibra dietética

Las primeras definiciones de fibra dietética o alimentaria se referían a restos de células vegetales que persistían tras la acción de las enzimas del aparato digestivo de los mamíferos. Esta definición fisiológica intentaba caracterizar la fibra en relación con el proceso de la digestión que tiene lugar en el aparato gastrointestinal y abarcaba tanto el material de las paredes de las células vegetales, como la celulosa, la hemicelulosa, la pectina y la lignina y los polisacáridos intracelulares, como las gomas y mucílagos.

Una definición química señala a la fibra como el conjunto de polisacáridos vegetales distintos del almidón, más la lignina. A lo largo de los años se ha propuesto incluir otros materiales no digeribles en el grupo de compuestos que constituyen la fibra dietética. Algunos de ellos son las ceras, las cutinas y las proteínas parietales. Otros componentes no parietales, serían el almidón resistente, los productos de la reacción de Maillard y ciertos materiales de origen animal que resisten la digestión, como las amino polisacáridos

(Gallaher y Schneeman, 1997). Otra definición de fibra dietética, propuesta por Cho y Prosky en 1999, incluye a polisacáridos no solubles, sacáridos resistentes y lignina.

Los componentes más importantes de la fibra dietética son los polisacáridos no amiláceos, como la celulosa, los β -glucanos con enlaces mixtos, las hemicelulosas, las pectinas y las gomas. Cada una de estas fracciones se caracteriza por sus residuos de azúcar y por los enlaces establecidos entre ellos (Gallaher y Schneeman, 1997). La proporción de los componentes de la fibra dietética que forma parte de la pared celular es diferente para cada alimento y de ella depende el tipo e intensidad del efecto ejercido por la fibra dietética en el organismo (López y col., 1997).

Las fuentes de fibra dietética pueden clasificarse en aquellos que proporcionan fibras hidrosolubles y las insolubles en agua, donde la solubilidad se refiere a la presencia de polisacáridos que se dispersa en el agua, más que una auténtica solubilidad química. Se ha pensado que esta clasificación permitiría predecir la acción fisiológica de la fibra pero esto no es del todo cierto, por la gran diversidad de propiedades físicas y químicas de las fuentes de fibra (Gallaher y Schneeman, 1997). Los principales componentes de la fibra dietética se resumen la Tabla V.

Los diferentes tipos de fibra dietética tienen diferentes efectos fisiológicos. En general, las fibras solubles en agua (pectina, gomas, mucilagos y algunas hemicelulosas) incrementan el tiempo de tránsito intestinal, retardan el vaciado gástrico y la absorción de glucosa (Holt y col., 1979; Rainbird y Low, 1986; Brow y col., 1988; Almeida, 1997; Todd y col., 1990 citados por Pacheco, 1999) y pueden alterar la asimilación de los lípidos (Pasquier y col., 1996 citado por Pacheco, 1999). Las fibras insolubles en agua (lignina, celulosa y algunas hemicelulosas), disminuyen el tiempo del tránsito intestinal e incrementan la masa fecal (Schneeman, 1990).

Aunque los alimentos contienen cantidades variables de los diferentes tipos de fibra, la fibra insoluble se encuentra principalmente en derivados de granos enteros de cereales (salvado de trigo, algunos cereales para desayuno, panes integrales), verduras y

leguminosas. La fibra soluble se encuentra en leguminosas, avena, frutas (cítricas, manzanas). Una dieta balanceada debe incluir alimentos ricos en ambos tipos de fibra. Las autoridades de salud en el mundo recomiendan consumir por lo menos 20 – 40 g de fibra dietética por día (Almeida, 1997).

El interés actual por las fibras como componentes importantes de la dieta surge de la asociación epidemiológica entre una elevada ingesta de fibras y la menor incidencia de determinadas enfermedades crónicas, como las cardiovasculares y el cáncer del colón. Además, las fibras son importantes para el tratamiento de la diabetes y el manejo de la obesidad (Almeida, 1997; Gallaher y Schneeman, 1997; Al-Othman-AA y col., 1998; Herrera y col., 1998; O'sullivan, 1998; Schneeman, 1999).

Los progresos sobre la comprensión de la acción de los distintos tipos de fibra en el aparato digestivo son notorios sobre todo la caracterización de las propiedades físicas de estos materiales. La evaluación de sus características, entre ellas la capacidad de retener agua, la viscosidad, la susceptibilidad a la fermentación, la inhibición que pueden ejercer sobre las enzimas digestivas, la facultad de unirse a los ácidos biliares y la capacidad de intercambio catiónico, son más útiles, que su detallada composición química (Gallaher y Schneeman, 1997). Se han realizado muchos estudios sobre tamaño de la partícula, densidad y características de superficie (porosidad y capacidad de absorción de grasa), adsorción de moléculas orgánicas (López y col., 1997), así como también en lo que se refiere al efecto del procesamiento de los alimentos y su relación con la fibra dietética (Siljestrem y Björck, 1990; Camire y Fliat, 1991; Suzuki y col., 1993; Wisker y col., 1994; Veena y col., 1995; Periago y col., 1996; Redondo y col., 1997; Svanberg y Nym, 1997). El procesamiento influye de manera importante sobre la fibra dietética. Por ejemplo, la cocción, el horneado, la fermentación y la germinación, pueden disminuir la fibra soluble y aumentar la insoluble (Veena y col., 1995; Pérez y col., 1997).

TABLA V. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA FIBRA DIETÉTICA

COMPONENTES DE FIBRA	FUNCIÓN EN LOS VEGETALES
POLISACÁRIDOS:	
CELULOSA	Material estructural de construcción de la pared celular.
HEMICELULOSA	Material estructural de construcción de la pared celular.
PECTINA	Cemento intercelular.
POLISACARIDOS DE ALGAS	Polisacáridos de algas y algas marinas
GOMAS	Secreciones de las plantas
MUCILAGOS	Secreciones de las semillas de las plantas.
NO POLISACARIDOS:	
LIGNINA	Rigidez estructural del tejido leñoso.

FUENTE: Lanza y Butron, 1986.

Por otra parte, todas las características mencionadas pueden alterar el tiempo de vaciado gástrico, la motilidad intestinal, la absorción intestinal de nutrientes y el incremento del peso y volumen de las heces, así como el contenido de ácidos biliares y electrolitos de las mismas (Abia y col., 1989 citado por García en 1990). La relación entre las propiedades físico-químicas de la fibra dietética y su efecto fisiológico se resumen en la Tabla VI.

Varias respuestas fisiológicas, como el descenso de las concentraciones de colesterol en el plasma, la modificación de la respuesta glicémica, la mejora de la función del intestino grueso y la disminución de la disponibilidad de nutrientes, han sido asociadas con determinadas fracciones de fibras o con dietas ricas en alimentos que la contienen. De la medición de estas respuestas se deduce claramente que las propiedades físicas de las fibras dietéticas afectan el funcionamiento del tubo digestivo e influyen en la velocidad y lugar de absorción de los nutrientes (Englyst y Hudson, 1996; López y col., 1996; Saura-Calixto y Larrauri, 1996; Delargy y col., 1997; Gallaher y Schneeman, 1997; Stephen-Am y col., 1997; Al-Othman-AA y col., 1998; Platzman, 1998). Las posibles relaciones entre el efecto fisiológico atribuido a la fibra y su influencia en diferentes enfermedades se presentan en el esquema I.

En base a las diferentes definiciones de fibra dietética se han desarrollado gran cantidad de métodos para determinar analíticamente el contenido de fibra presente en alimentos (Tabla VII). Sin embargo, aún no existe consenso sobre la idoneidad de ninguno de los métodos propuestos. Los métodos utilizados para cuantificar el contenido de fibra en los alimentos se pueden dividir en tres categorías generales (Johansson y Asp, 1984); éstas son:

A.- Métodos gravimétricos: Cuantifican el residuo insoluble después de una solubilización química o enzimática de los constituyentes no fibrosos de los alimentos. La fibra dietética es separada, pesada y corregida para componentes no fibrosos.

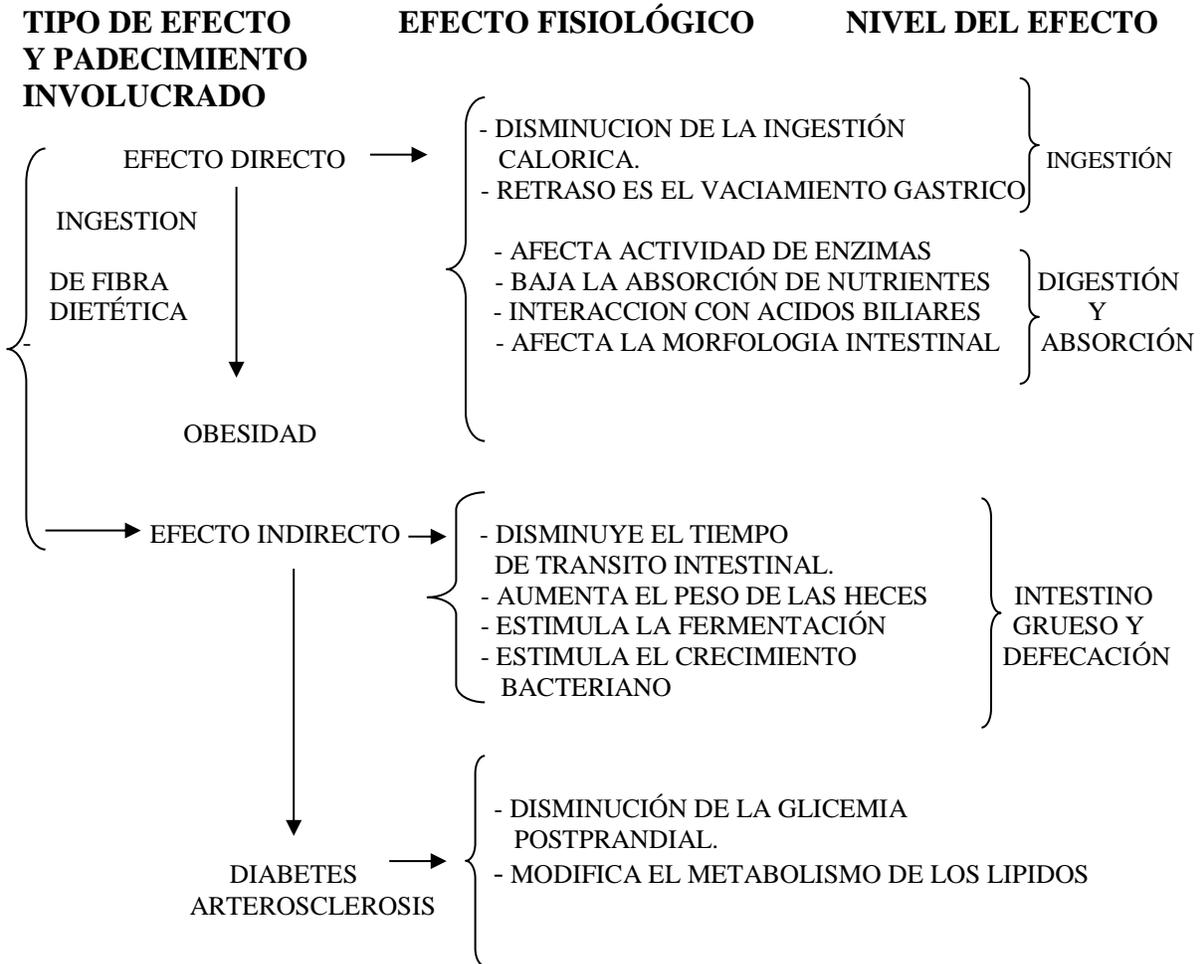
B.- Métodos colorimétricos: Emplean reacciones que producen complejos coloreados con los carbohidratos que pueden ser determinados por espectrofotometría.

TABLA VI. RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA FIBRA DIETÉTICA Y SU EFECTO FISIOLÓGICO

PROPIEDADES FISICOQUÍMICA	COMPONENTES DE LA FIBRA	RESPUESTA FISIOLÓGICA
Capacidad de retención de agua	Polisacáridos con grupos Polares (hemicelulosa, pectinas, gomas)	Afecta el peso de las heces velocidad de tránsito en el estómago e intestino delgado y absorción de nutrientes
Absorción de compuestos orgánicos	Lignina, pectina, hemicelulosa	Interacción y excreción de ácidos biliares y carcinógenos
Capacidad de intercambio de cationes	Polisacáridos acídicos	Aumenta la excreción de minerales
Degradación bacteriana	Polisacáridos solubles (insolubles en menor grado)	Producción de ácidos grasos volátiles, disminución de pH, flatulencia, contribuye al peso de las heces debido a bacterias.

FUENTE: Mejías y col., 1989.

ESQUEMA I. EFECTO FISIOLÓGICO DE LA INGESTIÓN DE FIBRA DIETÉTICA Y SU INFLUENCIA EN DIFERENTES ENFERMEDADES



FUENTE: Mejías y Col., 1989.

C.- Métodos cromatográficos: Emplean la cromatografía de gas-líquido (GLC); los componentes monoméricos de los polisacáridos de la fibra dietética son liberados por hidrólisis ácida, separada y clasificada por GLC. Los componentes monoméricos son analizados específicamente y sumados para llegar al total de fibra estimado.

El método enzimático gravimétrico aprobado por la AOAC (Prosky y col., 1985; 1988) determina la fracción soluble, la insoluble y el total de fibra, mientras que los métodos de Englyst y col. (1995) y el de Uppsala (Theander y col. 1995) son similares, empleando hidrólisis ácidas, derivando luego los monosacáridos a acetatos de alditol y determinando finalmente monómeros neutrales con GLC (o HPLC). Uno de los puntos críticos de los métodos para evaluar el contenido de fibra dietética es que en su mayoría los valores que éstos arrojan incluyen, en mayor o menor grado, valores asociados al almidón resistente. Por esta razón, se ha sugerido estimar separadamente el almidón resistente (Englyst, H.N. y Hudson G., 1996).

La industria de alimentos ha obviado la diferencia planteada entre fibra dietética y almidón resistente, ya que se piensa que todos los carbohidratos que se encuentran en el intestino delgado pueden tener propiedades como las de la fibra y lo cual no es necesariamente correcto. Algunos expertos consideran injustificado el que se incluya al almidón retrogradado en la definición o en la cuantificación de fibra dietética (Englyst, H.N. y Hudson G., 1996). Esta controversia persiste hoy en día.

La fibra insoluble obtenida enzimáticamente suele llevar consigo una porción del almidón no digerible o resistente: porciones no digeribles debidas a la retrogradación (AR tipo III) (Tovar, 1994). De hecho se ha cuantificado in vitro el AR tipo III, basándose en el análisis de las porciones de α -glucanos que quedan asociadas al residuo indigerible insoluble de los alimentos, o método de Lund (Tovar, 2000). Es pues conveniente establecer la cantidad de almidón resistente presente en un alimento para así corregir la fibra y obtener el contenido “real” de fibra dietética en dicho producto.

**TABLA VII. PRINCIPALES MÉTODOS DE ANÁLISIS DE
FIBRA DIETÉTICA**

MÉTODOS GAVIMÉTRICOS	MÉTODOS QUÍMICOS
FIBRA DETERGENTE-NEUTRO; VAN SOEST (E.E.U.U.)	SOUTHGATE (INGLATERRA)
ASP (SUECIA)	THERANDER (SUECIA)
ASOCIACION DE QUÍMICOS ANALÍTICOS OFICIALES (AOAC)	ENGLYST (INGLATERRA)
MONGEAU-CANADA	

FUENTE: Mejias y col., 1989.

III.- OBJETIVO GENERAL:

Efectuar la caracterización enzimático-nutricional del almidón presente en algunos productos de cereales y leguminosas consumidos en Venezuela, en relación a su digestibilidad in vitro evaluada por diversas metodologías.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

El presente trabajo tuvo como objetivos específicos:

- 1- Evaluar el contenido de almidón disponible en diversos productos de cereales y leguminosas, consumidos en Venezuela.
- 2- Evaluar el contenido de almidón total de dichos alimentos.
- 3- Determinar el contenido de almidón resistente en dichos productos, empleando dos métodos diferentes.
- 4- Evaluar la tasa de hidrólisis enzimática “in vitro” del almidón presente en los diferentes productos.
- 5- Evaluar el índice de hidrólisis del almidón de las caraotas negras en un sistema restringido que combina digestión y diálisis.
- 6- Determinar el contenido de almidón resistente asociado al residuo analítico de fibra dietética insoluble de las leguminosas cocidas de mayor consumo en Venezuela.

IV.- JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO:

Los cereales constituyen en la alimentación venezolana un pilar fundamental que proporciona un importante suministro energético y proteico a la población en general, siendo el gofio, el fororo, la harina de arroz y la harina de avena productos representantes de este grupo. Estos productos son interesantes, no solamente como fuente nutricional sino como parte importante en los hábitos alimentarios del venezolano. Cabe destacar que aun cuando no se conocen con exactitud el consumo de algunos de estos productos, existen algunos datos de referencia; por ejemplo, según las Hojas de Balance de Alimentos (INN-ULA, 1996-1997), la disponibilidad para consumo humano en el país para 1996 de avena en granos/hojuelas y otros fue 12.355 tm y para el año 1997 fue 16.825 tm. El Ejército Venezolano contempló en la alimentación de la tropa del año 1.999 el consumo de estos cereales, con un total anual de 34.762 Kg de fororo, 34.762 Kg de gofio, 34.762 Kg de harina de arroz y 34.762 Kg de harina de avena, lo que representa cantidades considerables (datos suministrados por el Servicio de Alimentación del Ejército). También es importante agregar que la forma común de su preparación es en atol, especialmente para acompañar en el desayuno como fuente calórico-proteica.

Por otra parte, las leguminosas en preparaciones hervidas y enlatadas, son también la forma más común de consumo en el país, especialmente las caraotas negras (Phaseolus vulgaris L.), las cuales representan un objeto de estudio interesante, ya que la población en general incluye en su alimentación estos granos, suministrando un gran aporte nutricional, además de ser económicas. De acuerdo con la información suministrada por las Hojas de Balance de Alimentos (INN-ULA, 1996-1997), la disponibilidad de caraotas para consumo humano en el país para el año 1996 fue 60.765 tm y para el año 1997 fue 61.229 tm. Adicionalmente, puede señalarse que el consumo de caraotas negras en el Ejército Venezolano fue en 1999 de 96.904 Kg de granos hervidos y de 38.951 unidades enlatadas. Estas cantidades son empleadas para la alimentación habitual de la tropa, así como para su alimentación en emergencias u operaciones especiales (ración de combate). Por todos estos aspectos resultó atractivo el estudio de los mencionados productos de cereales y leguminosas comercializados en el país.

V.- MATERIALES Y MÉTODOS:

1.- MATERIALES:

1.1.- IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:

MUESTRAS:

Cereales: los cereales estudiados fueron:

- harina de arroz, gofio y fororo todos marca La Lucha: esta marca pertenece a la Empresa “Industria Agromil”, ubicada en El Tambor, Edo. Miranda.
- harina de Avena marca Quaker, de la Empresa Productos Quaker (Valencia, Edo. Carabobo). Todos estos productos fueron adquiridos en el mercado local, tomando muestras al azar.

Leguminosas:

- caraotas negras enlatadas (Phaseolus vulgaris L.), marca Ferris Packing (Ferris Packing Product C.A.; El Llanito, Edo. Miranda).
- caraotas negras crudas, provenientes de Argentina. Las semillas fueron suministradas por la empresa Ferris Packing, y eran del mismo lote que se empleó para el enlatado y la cocción por ebullición.
- caraotas negras hervidas, preparadas según se describe más adelante.

Por otra parte, también se evaluaron muestras de fibra dietética insoluble aislada de leguminosas cocidas, en un trabajo previo del Instituto Nacional de Nutrición, dirigido por la Lic. Irma Herrera. Estos granos fueron adquiridos a nivel de mayoristas que distribuyen para los mercados locales de la ciudad de Caracas. Las semillas estudiadas fueron lentejas (Lens culinaris L.); arvejas amarillas y verdes (Pisum sativum L.), con y sin cáscara; frijoles blancos y rojos o bayos (Vigna sinensis L.); caraotas blancas, negras, rojas y rosadas (Phaseolus vulgaris L.); garbanzos (Cicer arietinum L.); quinchonchos (Cajanus indicus L.).

Muestreo: Las tomas de muestras de los productos se efectuaron según recomendaciones de normas Covenin No.612-82 para el muestreo de cereales, leguminoso, oleaginoso y productos derivados. Las unidades pre envasado colocado en cajas conteniendo paquetes de

1 Kg se tomaron de la siguiente forma: de diez cajas se tomó un paquete al azar en cada una evitando seleccionar aquellas unidades que ocupan la misma posición correspondiente en un número determinado de las cajas (muestras primarias). Se procedió a unir las muestras primarias en una bolsa plástica a fin de homogenizarlas siendo representativas del producto original (muestra compuesta). De esta se tomó una porción que constituyó la muestra final para el análisis en el laboratorio colocándose en recipiente limpio y seco cerrándose herméticamente. Para los enlatados se tomaron las muestras primarias en la forma anteriormente mencionada, pero de este grupo total que constituyó una muestra general o compuesta, se tomaba una lata al azar para ser analizada en cada ensayo. Para las caraotas negras secas colocadas en sacos, se procedió a tomar muestras primarias de diferentes partes de los sacos a ser muestreados (de la parte superior, del centro y del fondo) mediante un toma muestra según número de sacos para la producción estimada del día. Posteriormente, para la obtención de muestras compuestas y finales, se procedió según lo descrito anteriormente para unidades pre envasadas en paquetes.

1.2.- PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS:

Cereales: todos los cereales se prepararon según las indicaciones suministradas en el etiquetado del producto Avena Quaker:

- 1.- Se mezcló en una olla 3 cucharadas de cereal (32 g) con 1 taza de agua (250 ml.).
- 2.- Se colocó la mezcla en una hornilla encendida removiendo constantemente y cuando hirvió se dejó cocinar por 1 minuto.
- 3.- Se retiró del fuego y se dejó reposar por un tiempo de 2 minutos. Se tomó una cantidad de muestra variable, según el método analítico a emplear, calculándose la cantidad de almidón presente en la mezcla de cocción obtenida.

Muestras de Caraotas:

A.- Cocidas: Fueron sometidas a remojo por 20 minutos (relación agua: granos 3:1 v/p) y a cocción (relación agua: granos 3:1 v/p) hasta obtener suficientemente suavidad como para su consumo (2 horas). Finalizada la cocción, los granos se escurrieron para eliminar el agua de cocción (Tovar y col., 1990).

Por la resistencia mecánica de las paredes celulares de las leguminosas, todas las determinaciones del contenido de almidón de caraotas negras hervidas o enlatadas se trituraron en un mortero, se adicionó agua destilada o el buffer apropiado (60 ml) y se homogeneizaron con 6 tantos de 1 minuto cada uno, a $\frac{3}{4}$ de potencia, en un homogeneizador SDT Tisumiser Tekmar (Tovar y col., 1990a). Se hizo un pool de agua más caraotas trituradas, ó buffer más caraotas trituradas, según el análisis a efectuar, y se tomaron alícuotas apropiadas para la determinación subsecuente.

Para la determinación de almidón disponible, total y resistente, se pesó la muestra presente según el método correspondiente, y se homogeneizó en 60 ml de solución (agua o buffer fosfato 0,1 M pH 6,0 según el análisis a efectuar), para tomar luego de la homogeneización 10ml para la determinación enzimática. Como fue dificultoso lograr una adecuada homogeneización, en otros ensayos las caraotas enlatadas y hervidas, se escurrieron, se secaron en la estufa a 40°C y se molieron en un molino IKA-A10 (100 50/60 Hz, 180 W 20.000 min) por 3 veces (1 min. por vez) hasta que quedara una harina fina. Para analizar las harinas se tomó la cantidad de muestra indicada por los diferentes métodos.

Para la evaluación de la tasa de digestión por α amilasa, se pesó el equivalente a 500 mg. de almidón disponible, se homogeneizó en buffer fosfato Na-K 0,5 M pH 6.9 (50 ml de buffer señalado más la cantidad de muestra fresca) para todos los casos: harina de caraota negra enlatada, harina de caraota negra hervida, caraotas negras hervidas y caraotas negras enlatadas. Luego en algunos casos se realizó una homogeneización por 6 tantos de 1 minuto cada uno, bajo las condiciones descritas anteriormente.

En los ensayos del Índice de Hidrólisis en el sistema restringido masticación/digestión/diálisis la textura y la forma física de la muestra influyen de manera importante en la cinética de la digestión. Por ello, en el análisis efectuado a las leguminosas, se pesó el equivalente de 1 gr. de almidón disponible.

Las muestras analizadas con este método fueron:

- .- Harina de caraota negra hervida.
- .- Caraotas negras recién hervidas.
- .- Caraotas negras enlatadas.
- .- Pan Blanco cuadrado (marca Holsum) como alimento de referencia.

A la harina de caraota negra hervida necesaria para el ensayo con los seis voluntarios (ver sección 2.7) se le agregó agua para producir una masa de consistencia suave, y se dividió en 6 porciones. Para las caraotas completas simplemente se pesó la cantidad de muestra necesaria por persona.

B.- Enlatadas: la muestra se sacó del envase, se tomó la cantidad necesaria se escurrió, y se siguió el procedimiento descrito en la sección anterior.

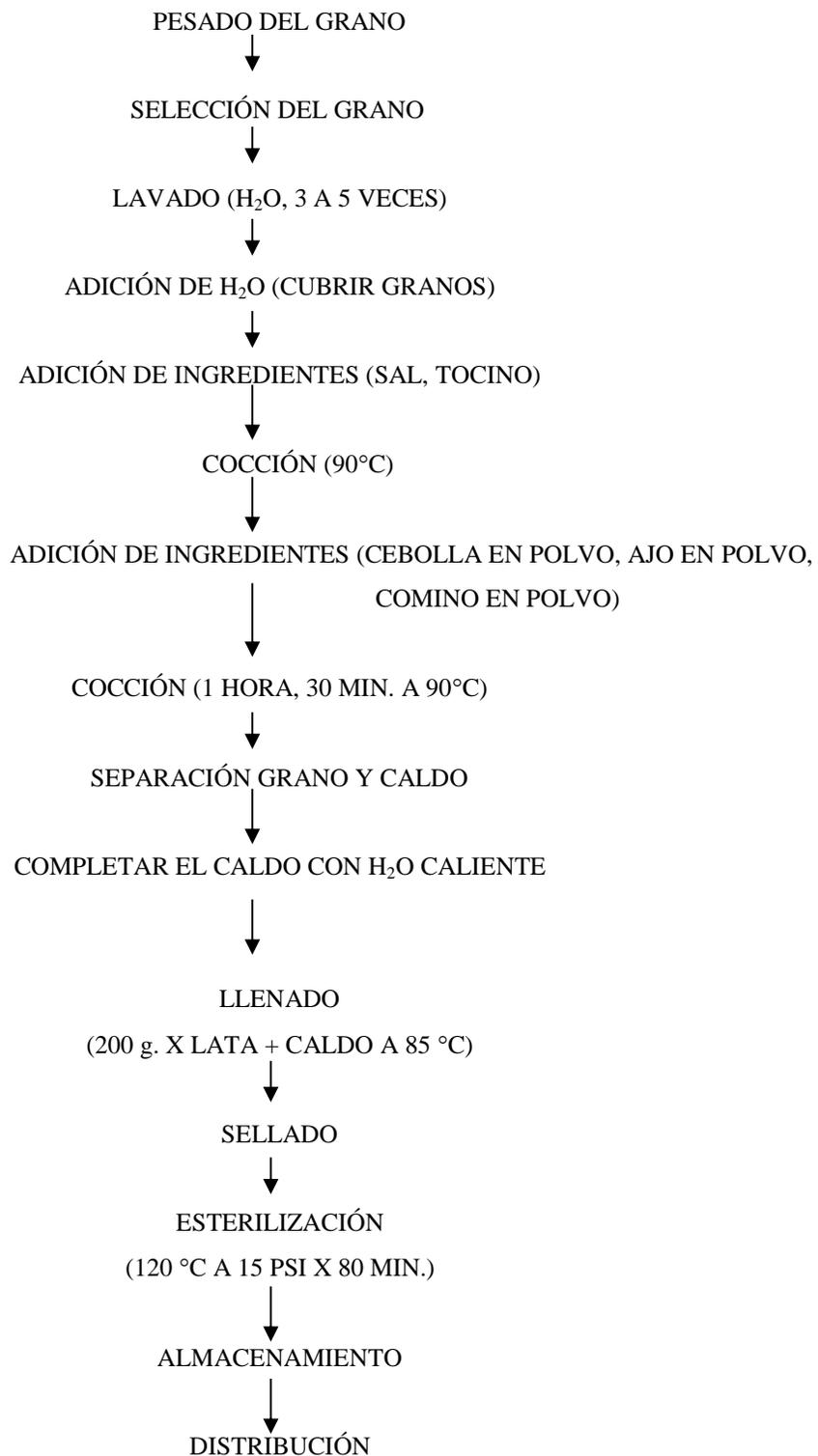
C.- Muestras de fibra insoluble: las muestras de fibra insoluble de leguminosas, suministrados por el Instituto Nacional de Nutrición, fueron obtenidos según el siguiente procedimiento:

- 1.- Se seleccionaron y limpiaron los granos.
- 2.- Se cocinaron las semillas con cáscara, previo remojo con agua a temperatura ambiente (4:1 v/p), por 2 horas. El agua de remojo se emplea para la ebullición por dos horas, manteniendo el nivel de agua por adición de líquido cuando fuera necesario. Las muestras cocidas se drenaron antes del secado.
- 3.- A las semillas cocidas y drenadas se les determinó humedad, y se secaron a temperatura ambiente con un ventilador.
- 4.- Los granos sin cáscara se cocinaron de igual forma, pero el tiempo de remojo y de cocción fue de 1 hora, y se analizaron sin drenar.
- 5.- Se procedió a determinar humedad en las muestras secas por el método AOAC (1990) y fibra dietética insoluble (FDI) por el método multienzimático gravimétrico de Prosky y col., 1988.

6.- El residuo de fibra insoluble junto con el celite empleado como agente filtrante, se secó en estufa hasta peso constante para luego efectuar la determinación de almidón resistente según método descrito en la sección 2.5.

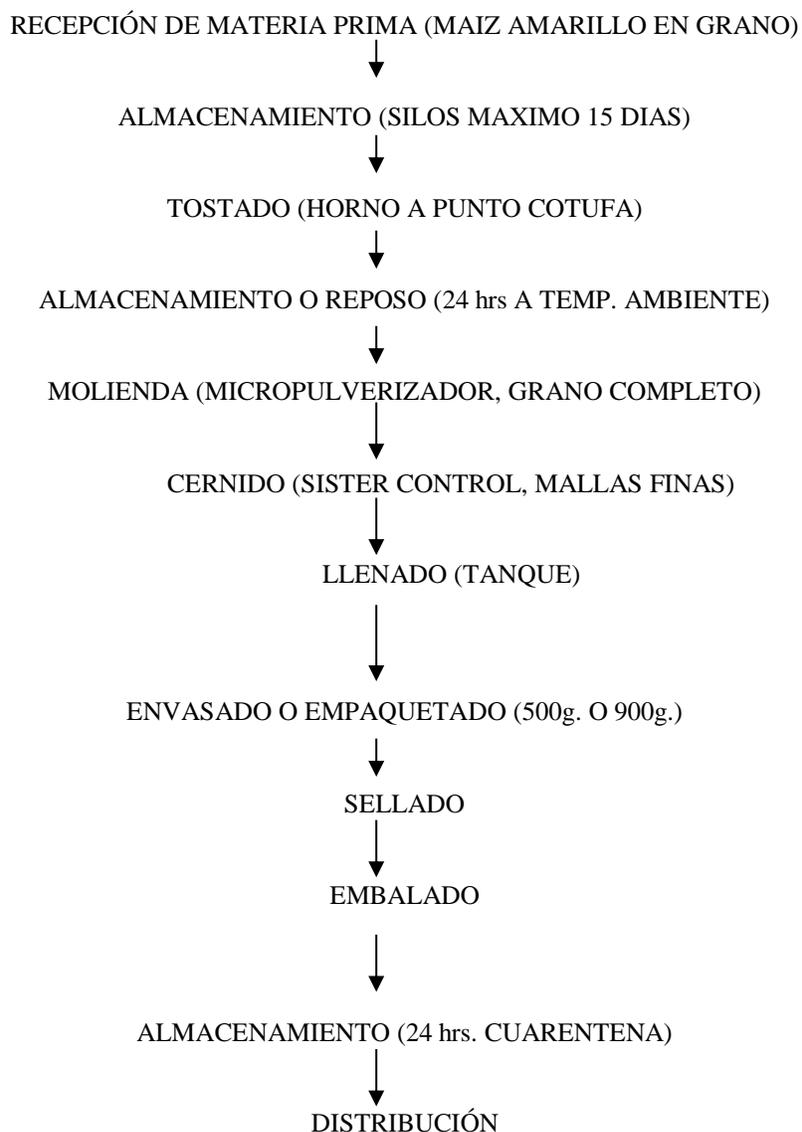
A continuación se presenta el esquema de la obtención tecnológica de los productos analizados:

ESQUEMA II. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE LAS CARAOTAS NEGRAS ENLATADAS



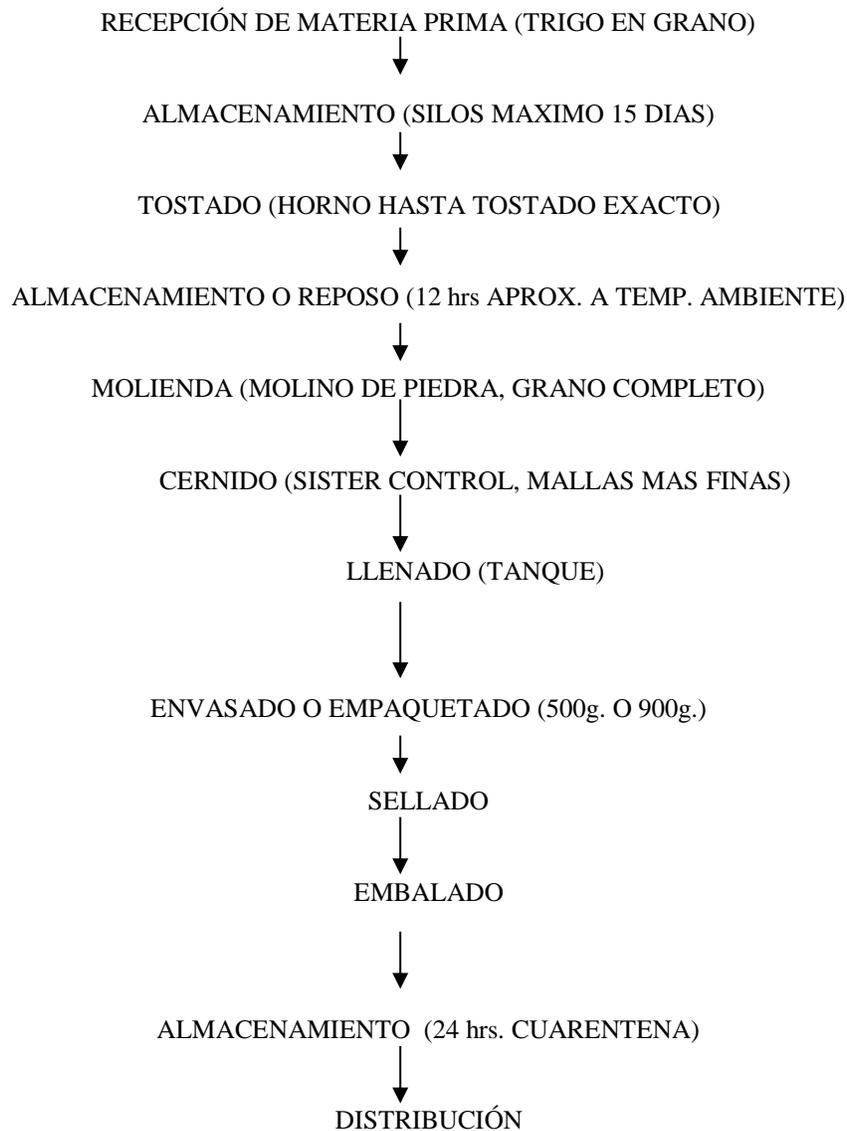
FUENTE: Empresa Ferris Packing.

ESQUEMA III. ESQUEMA TECNOLÓGICO DEL FORORO (HARINA DE MAÍZ TOSTADO)



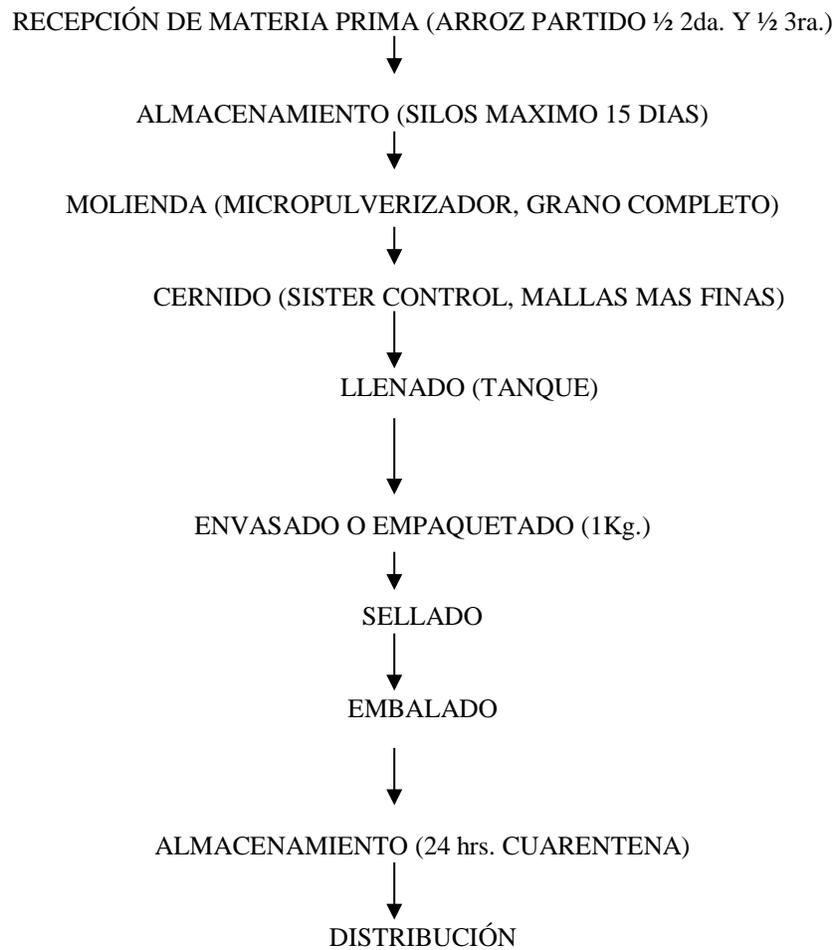
FUENTE: Empresa La Lucha.

ESQUEMA IV. ESQUEMA TECNOLÓGICO DEL GOFIO CANARIO (HARINA DE TRIGO TOSTADO)



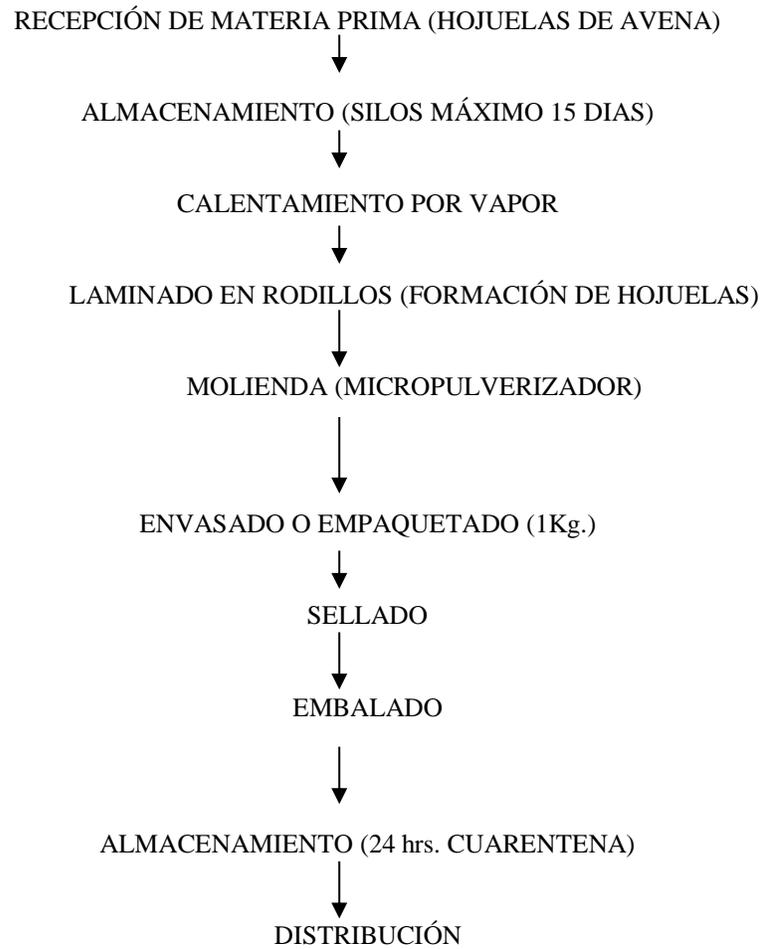
FUENTE: Empresa La Lucha.

ESQUEMA V. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE LA HARINA DE ARROZ.



FUENTE: Empresa La Lucha.

ESQUEMA VI. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE LA HARINA DE AVENA.



FUENTE: Empresa La Lucha.

1.3.- Equipos, utensilios y reactivos utilizados:

- . - Molino IKA A10, Janke & Kunvey-gm BH & Corg. Ika Labotechnik. (Alemania).
- . - Homogenizador SDT TissuMiser Tekmar con un rotor SDT 182E (Alemania).
- . - Baño de María, Marca Labline, Aquabath (E.E.U.U).
- . - Baño de inmersión circular polystart (cole parmer).
- . - Plancha Variomag, Multipoint Hp. (Alemania).
- . - Espectrofotómetro Bioteck Pharmacia IB-Ultrospec III.
- . - Baño María con agitación modelo 1024. Tecator (Suecia)
- . - Centrifuga Refrigerada sorwall RC- 5B.
- . - Un microscopio óptico, marca Nikon optiphot II, con cámara automática incorporada.
- . - Vortex.
- . - Material de vidrio variado.
- . - Termamyl 120L, Novo Biolabs.
- . - Amiloglucosidasa (EC 3.2.1.3.) de *Aspergillus ninger*, Sigma A-3514. (E.E.U.U.)
- . - Pepsina (3.4.2.3.1.) de mucosa gástrica porcina Sigma P-7000 (1:10.000), (E.E.U.U.).
- . - Pancreatina porcina Sigma P-7545, (E.E.U.U.).
- . - α -amilasa (3.2.1.1.) tipo VI-A de páncreas de porcino 790 unts/mg proteína, Sigma A-6880 (E.E.U.U.).
- . - α -amilasa (EC 3.2.1.1.) Tipo VI-B, Sigma A-3176, (E.E.U.U.).
- . - Kit enzimático GOD/POD para la determinación colorimétrica de glucosa, mediante reacción con glucosa oxidasa/peroxidasa. Laboratorios Qualitest, (Caracas).
- . - Bolsas de diálisis, Ancho de 43 mm, diámetro 27 mm, Sigma D=9527, (E.E.U.U.).
- . - Todos los demás reactivos empleados fueron de grado analítico.

2.- MÉTODOS:

2.1.- Evaluación del contenido de almidón potencialmente disponible: se realizó según el método multienzimático descrito por Holm y col. (1986):

.- A la muestra homogeneizada (500 mg en 20 ml de agua destilada) se le agregó 100 µl de Termamyl[®] 100 y se colocó en un baño a ebullición por 20 min, agitándolo cada 5 min.

.- Las muestras se dejaron reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se llevó a un volumen de 100 ml con agua destilada.

.- Se tomó 0,5 ml de la dilución anterior (bajo agitación magnética) y se colocó en un tubo de ensayo conteniendo 1 ml de buffer acetato de sodio 0,1 M pH 4,75.

.- Se añadió 25 µl de amiloglucosidasa y se incubó a 60°C agitándose cada 5 min.

.- Se llevó la suspensión anterior a un volumen final de 10 ml con agua destilada.

.- Se tomó en 50 µl de esta dilución y se determinó la glucosa liberada por la digestión enzimática, mediante incubación con el sistema glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD/POD). Se incubó a 37°C por 10 minutos y se leyó la absorbancia a 510 nm.

.- Paralelamente con las muestras se realizó una curva de calibración de glucagón 10 µg hasta 50 µg) con un volumen final de 1,5 ml (0,5 de agua + muestra y 1 ml del reactivo GOD/POD).

.- La transformación matemática de la cantidad de glucosa liberada a almidón se efectúa, previa substracción a cada muestra de la absorbancia del blanco, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de almidón disponible} = \frac{\text{mg glucosa liberada} \times 0,90 \times 10 \text{ ml}^a \times 100 \text{ ml}^a}{0,05 \text{ ml}^b \times 0,5 \text{ ml}^b \times \text{mg de muestra base seca}} \times 100 =$$

a.- Volumen total de muestra en cada etapa.

b.- Alícuotas usadas para la determinación en cada etapa.

.- La estandarización de este método se realizó con almidón de papa (Lyckeby Stärkelsen, Suecia). Los ensayos se realizaron con un mínimo de tres replicas por muestra. El valor promedio obtenido del AD de la papa fue de 95 % en b.s.

.-La α-amilasa y amiloglucosidasa actúan sobre al almidón hidrolizando enlaces glicosídicos α-(1-4) y/o α-(1,6), obteniéndose primero con licuefacción del almidón después de una rápida gelatinización glucosa, maltosa, dextrinas y luego la hidrolisis de maltotriosa y dextrinas.

2.2.- Evaluación del almidón total: Se realizó mediante el método de Holm y col. (1985) modificado por Tovar y col. (1990b):

- Se suspendió 500 mg de muestra en 10 ml de agua destilada.
- Con agitación se agregó lentamente 10 ml de KOH 4N fresco y se agitó bien.
- Se incubó durante 30 minutos a temperatura ambiente agitándolo cada 10 minutos.
- Se neutralizó a pH 6,5-7 con una solución con HCl 5 N.
- A partir de que se continuó como se describe en la sección 2.1.
- Los ensayos se realizaron con un mínimo de tres réplicas por muestras. El valor promedio obtenido del AD de la papa fue de 95 % en b.s.

2.3.- Determinación del contenido de almidón resistente a hidrólisis:

Se emplearon dos métodos diferentes:

2.3.1.- Método de Saura-Calixto y col. (1993): Cuantificación del almidón que permanece en los residuos de fibra dietética preparados según el método enzimático gravimétrico de Asp y col., (1983) para obtener almidón retrogradado:

- A la muestra homogenizada (500 mg en 12,5 ml de buffer fosfato 0,1 M pH 6,0) se le añadió 100 µl de Termamyl[®] 100 y se incubó por 20 minutos en ebullición, se enfría a temperatura ambiente.
- Se agregó solución de 1 ml de HCl 0,4 M a 4°C y se ajustó el pH a 1,5 con HCl 5 M.
- Se agregó 500 µl de pepsina (100 mg/ml en H₂O) y se incubó por 1 hora a 37°C, agitando cada 10 minutos.
- Se añadió 500 µl de NaOH 5 M y se ajustó el pH a 6,8 con Na OH 1 M.
- Se agregó 500 µl de solución de pancreatina (100 mg/ml en H₂O) y se incubó por 1 hora a 37°C con agitación constante.
- Posteriormente se colocó 0,25 ml de HCl 5M y se ajustó el pH a 4,5.
- La muestra anterior se centrifugó por 10 minutos a 8000 rpm, descartándose el sobrenadante.
- El residuo de fibra se resuspendió en 10 ml de agua destilada y se centrifugó por 15 minutos a 8.000 rpm, descartándose el sobrenadante. El proceso se repitió dos veces más para asegurar un lavado efectivo del residuo.

- Al material compactado obtenido se le agregó 1 ml de agua destilada y se incubó por 20 minutos en baño de agua hirviendo con agitación constante.
- Posterior al enfriamiento hasta 25°C, se añadió 1 ml de una solución fresca de KOH 4N y se incubó por 30 minutos a temperatura ambiente, con agitación constante.
- Se colocó 1 ml de buffer acetato 0,4 M y aproximadamente 1,5 ml de HCl 2 M; se ajustó el pH a 4,75 con este mismo ácido y se lavó el electrodo con 1,5 ml de buffer acetato 0,1M.
- Se agregó 60 µl de amilogucosidasa y se incubó por 30 minutos a 60°C, agitando cada 5 minutos.
- Las muestras se centrifugaron por 15 minutos a 8000 rpm, recogién dose el sobrenadante; posteriormente se re suspendió el material compactado en 1 ml de agua destilada y se repitió la centrifugación.
- Se mezclaron los sobrenadantes y se ajustó a un volumen final de 10 ml con agua destilada.
- Se tomó 50 µl de esta solución y se determinó la glucosa libre, mediante el método de glucosa oxidasa/peroxidasa.
- Se realizó una curva de calibración de glucosa como la descrita en el método anterior. Los tubos se incubaron a 37°C por 10 minutos y se leyó su absorbancia a 510 nm.

El % de almidón resistente se calculó según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ almidón resistente} = \frac{\text{mg glucosa liberada} \times 0,9 \times 10 \text{ ml}^a \times 100}{0,05 \text{ ml}^b \times 1000 \times \text{gr. muestra base seca}}$$

a.- Volumen total.

b.- Volumen de la alícuota empleada para la determinación.

- Para la estandarización de este método se utilizó Corn Flakes de Kellogg's (Alimentos Kellogg's, S.A. Maracay). Los ensayos se realizaron por triplicado. El valor promedio obtenido del AR del Corn Flakes fue 1,4 % en b.s.

- La pepsina es una enzima digestiva producida por las paredes del estómago y secretada por el jugo gástrico, la cual cataliza la hidrólisis de las proteínas en péptidos más simples reaccionando en ambiente ácido (HCl), donde el pepsinógeno enzima inactiva se transforma en pepsina activa, actuando sobre enlaces peptídicos de naturaleza hidrófoba.

- La pancreatina es un concentrado de enzimas pancreáticas de cerdo o buey que ayuda a la digestión en la sustitución de enzimas pancreáticas endógenas.

2.3.2.- Método de Goñi y col. (1996):

- A la muestra homogeneizada (100 mg en 10 ml de buffer KCl- HCl pH 1,5) se ajustó a pH a 1,5 con 2 M HCl ó 0,5 M NaOH.
- Se agregó 0,2 ml de solución de pepsina (1 g. pepsina/10 ml buffer KCl + HCl).
- Se mezcló y se incubó a 40°C por 60 min. con agitación constante.
- Se estabilizaron las muestras a temperatura ambiente.
- Se adicionó 9 ml de buffer trismaleato 0,1M pH 6,9 y se ajustó el pH a 6,9 con 2 M HCl o 0,5 M NaOH.
- Se adicionó 1 ml de solución de α amilasa (40 mg α amilasa/ml buffer trismaleato).
- Se mezcló e incubó por 16 horas a 37°C con agitación constante.
- Se centrifugó la muestra a 8000 rpm por 15 minutos y se descartó el sobrenadante.
- El sedimento se re suspendió y lavó 1 vez con 10 ml de agua destilada, se centrifugó y se descartó el sobrenadante.
- Se adicionó 3 ml de agua destilada al residuo lavado.
- Se agregó 3 ml de KOH 4 M recién preparado; se mezcló y se dejó por 30 min. a temperatura ambiente con agitación constante.
- Re adicionó aproximadamente 5,5 ml de HCl 2 M y 3 ml de buffer acetato de sodio 0,4 M pH 4,75 y se ajustó el pH a 4,75 con HCl 2M ó 0,5 M NaOH.
- Se adicionó 80 μ l de amilogucosidasa, se mezcló e incubó por 45 minuto a 60°C con agitación constante.
- Se centrifugó por 15 min. a 8000 rpm y se recolectó el sobrenadante.
- Se lavó el residuo mínimo una vez con 10 ml de agua destilada centrifugando nuevamente y se mezcló con el sobrenadante anterior.
- Se ajustó la mezcla a un volumen final de 50 ml de agua destilada.
- Se tomó 50 μ l de esta solución y se determinó la glucosa liberada, mediante glucosa oxidasa/peroxidasa.
- Se realizó una curva de calibración de glucosa como la descrita anteriormente.
- Las muestras se incubaron a 37°C por 10 min. y leyó la absorbancia a 510 nm.

El % de almidón resistente se calculó según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ almidón resistente} = \frac{\text{mg glucosa liberada} \times 0,9 \times 50 \text{ ml}^a \times 100}{0,05 \text{ ml}^b \times 1000 \times \text{g. muestra base seca}}$$

a.- Volumen total.

b.- Volumen de la alícuota usada en la determinación.

Para la estandarización de este método se usó Corn Flakes de Kellogg's (Alimentos Kellogg's, S.A. Maracay). Los ensayos se realizaron por triplicado. El valor promedio obtenido del AR del Corn Flakes fue 3,6 % en b.s.

Es importante destacar que para el cálculo del contenido de almidón disponible, resistente y total en base seca de todas las muestras se evaluó el contenido de humedad presentes en ellas. Estos valores se resumen en el cuadro anexo A.

2.4.- Determinación del almidón resistente a hidrólisis a fibra dietética insoluble Johansson y col. (1984), modificado por Tovar y col. (1992):

- .- Se pesó 100 mg de la mezcla fibra/celite en un tubo de centrifuga.
- .- Se adicionó 1 ml de agua destilada y se mezcló cuidadosamente.
- .- La mezcla se colocó en baño de agua hirviendo por 20 min., agitándola cada 5 min.
- .- Se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- .- Se adicionó a 1ml de una solución recién preparada de KOH 4 N, se mezcló y dejó por 30 min. a temperatura ambiente, agitándose cada 5 min.
- .- Se adicionó 1 ml de buffer acetato pH 4,75 0,4 M y alrededor de 1,5 ml de HCl 2 M. Se ajustó a pH 4,75 usando HCl 2 N. Se lavó el electrodo con 1,5 ml de buffer acetato 0,1 M.
- .- Se adicionó 60 µl de amiloglucosidasa y se incubó por 30 minutos a 60°C, agitándose cada 5 min.
- .- Se centrifugó por 10 min. a 8000 rpm y se recolectó el sobrenadante.
- .- Se re suspendió el pellet en 1 ml de agua destilada y se repitió la centrifugación.
- .- Se mezclaron los sobrenadantes y se ajustó a un volumen final de 50 ml para las muestras, y de 10 ml para el material de referencia, empleando agua destilada.
- .- Se tomó 50 µl de esta solución y se determinó la glucosa libre mediante el método de glucosa oxidasa/peroxidasa, realizando una curva de calibración de glucosa como la descrita en los métodos anteriores.
- .- Para los cálculos del contenido de almidón resistente en las harinas y en los granos cocidos, se emplearon los datos de contenido de humedad de cada preparación y de

fracción de residuos fibrosos en la mezcla fibra/celite, suministrados por el Instituto Nacional de Nutrición. El valor promedio obtenido del AR del Corn Flakes fue 1,2% en b.s.

2.5.- Evaluación de la tasa de amilólisis del almidón “in vitro”: Se realizó según el método de Holm y col., (1985):

.- A la muestra (equivalente 500 mg de almidón potencialmente disponible) homogeneizada en 50 ml de buffer fosfato Na-K 0,5 M, pH 6,9, se le ajustó el pH a 1,5 con HCl 5 M, midiendo el volumen de ácido agregado. Se añadió 1 ml de pepsina (100 mg/ml en agua destilada), y se incubó luego por 1 h. a 37°C.

.- Se ajustó el pH a 6,9 con NaOH 5 M (midiendo el volumen de álcali agregado) y completando luego a un volumen final de 55ml, con buffer fosfato.

.- Las muestras se colocaron en baño a 37°C con agitación magnética constante y una vez estabilizadas a dicha temperatura, se le añadió 1 ml de α -amilasa pancreática de porcina (4 mg/ml en buffer fosfato).

.- Se tomaron alícuotas de 0,2 ml de la mezcla a distintos tiempos (0, 5, 5, 15, 30 y 60 min) y se colocaron en tubos que contenían 0,8 ml de agua y 1 ml de ácido 3,5 dinitrosalicílico el 1% en tartrato de Na-K 4H₂O al 30% y NaOH al 1,6%, para cuantificar el contenido de azúcares reductores (método de Hostettler y col., 1951).

.- Se preparó una curva de calibración utilizando maltosa (2 mg/ml en agua) como patrón.

El valor de almidón hidrolizado se calculó en base a la “maltosa equivalente” determinada a cada tiempo de incubación en base a la curva patrón, utilizando el factor 0,95.

El grado de hidrólisis del almidón (%) se calculó:

$$1) \% \text{ de hidrólisis} = \frac{\text{mg de almidón digerido} \times 50\text{ml}^a \times 0,95}{0,2 \text{ ml}^b \times \text{mg de almidón disponible inicial}} = 100$$

a. Volumen total de la muestra.

b. Alícuota tomada para el análisis.

2.6.- Evaluación del Índice de hidrólisis en un sistema restringido masticación/digestión/diálisis (Granfeldt y col., 1992): Este método se realizó sólo para

las muestras de carraotas:

.- Se pesó la muestra equivalente a 1 g. de almidón potencialmente disponible y se masticó 15 veces, durante aproximadamente 15 segundos. Este material se descargó en un beaker que contiene 50 mg. de pepsina disuelta en 6 ml de buffer fosfato Na-K 0,05 M, conteniendo 0,04% de NaCl, pH 1,5. Este proceso se llevó a cabo con seis voluntarios en forma simultánea.

.- Los sujetos se enjuagaron la boca con 5 ml de buffer fosfato pH 6,9 por 60 segundos y se recogió el fluido en el mismo beaker anterior. Este contenido se agitó, con la ayuda de un magneto, y se le ajustó el pH a 1,5 con HCl.

.- Cada muestra se incubó por 30 min. a 37°C, agitando cada 10 min.

.- Después de este tiempo se ajustó el pH a 6,9 con NaOH y cada muestra se transfirió a una bolsa de diálisis (longitud útil: 15 cm) agregándole 1 ml de α -amilasa pancreática porcina (40 μ l de la suspensión comercial diluidos con 7 ml de buffer fosfato pH 6,9).

.- El contenido del tubo de diálisis, se llevó a un volumen final de con buffer fosfato, y se procedió a la diálisis a 37°C por 3 h, en un envase de 1 litro que contiene 800 ml del mismo buffer fosfato, con agitación magnética constante.

.- Se tomaron alícuotas de 2 ml del líquido externo cada 30 minutos y se colocaron en tubos de ensayo conteniendo 1 ml de ácido 3,5-dinitrosalicílico, para analizar el contenido de azúcares reductores por el método de Hostettler y col., (1951).

Se preparó una curva de calibración utilizando maltosa (2 mg/ml) como patrón como se describió en el método anterior.

La transformación matemática de la maltosa liberada a almidón se realizó mediante el factor 0,95, mientras que el grado de hidrólisis a maltosa (equivalente de maltosa), se estimó según la fórmula:

$$\% \text{ hidrólisis} = \frac{\text{mg maltosa} \times 800 \text{ ml}^a \times 0,95}{2 \times \text{AD (mg)}} \times 100$$

a.- Volumen total.

b.- Volumen de la alícuota analizada.

c.- AD= almidón disponible inicial (mg).

El índice de hidrólisis (IH) para la muestra masticada por cada sujeto se calculó a partir del área bajo la curva de hidrólisis (% hidrólisis vs tiempo) (0 - 180 min) del producto, como porcentaje del área correspondiente a la hidrólisis de una muestra de pan de trigo blanco (Holsum, Caracas) masticando por la misma persona. Finalmente se calculó el IH promedio para cada muestra. El valor promedio del AD del pan Holsum = 42 en b.f.

Los valores del (IH) se emplearon para la estimación matemática del Ige (Índice glicémico estimado), mediante la siguiente ecuación empírica:

$$\text{IGe} = 0,862 \times (\text{IH}) + 8.198 \text{ (Granfeldt, 1994).}$$

Los voluntarios que tomaron parte del estudio debieron cumplir con las siguientes condiciones:

- a.- Ser sujetos sanos.
- b.- No comer ni cepillarse los dientes, al menos con 90 min de antelación al experimento.
- c.- Las edades oscilaron entre 22 y 40 años; 4 fueron del sexo femenino y 2 del sexo masculino.

2.7.- Diálisis de difusión del colorante rojo de metilo en las condiciones del ensayo de evaluación del Índice de Hidrólisis:

- .- Este análisis se efectuó de igual forma que el anterior, solo que además de la amilasa pancreática porcina a cada tubo de diálisis se agregó 4 ml una solución del colorante rojo de metilo (1mg en 1,5 ml de buffer fosfato).
- .- Las alícuotas del dializado se tomaron a los 0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 min., y 14 horas. Todos los tiempos se llevaron a horas para la graficación de la curva de aparición del colorante en el medio externo.
- .- Las alícuotas tomadas de 1 ml.
- .- Posteriormente se leyó la absorbancia de cada alícuota a 425nm.
- .- Este análisis se efectuó a las muestras de caraoatas enlatadas y caraoatas hervidas. El ensayo se realizó con 4 volúmenes en la etapa de masticación.
- .- La concentración del colorante en el dializador se calculó en base a la absorbancia medida a cada tiempo empleando una curva de calibración de rojo de metilo.

2.8.- Microscopía óptica de las harinas de granos hervidos y enlatados:

.- Muestras de las harinas de caraotas (hervidas, enlatadas y crudas) fueron colocadas, por duplicado, en láminas portaobjeto e hidratadas con agua o con solución de yodo en yoduro de potasio (Lugol) (0,2 g. De I_2 en la solución de 2g. KI en 100ml H_2O). Las preparaciones se observaron en un microscopio óptico a 20x y 40x, y se fotografiaron.

2.9.- Análisis estadístico:

La evaluación estadística de los resultados de la determinación del contenido de almidón disponible y almidón total se efectuó mediante el análisis de varianza de una vía empleando la prueba a posteriori de Duncan.

Para la determinación del contenido de almidón resistente se efectuó un análisis de varianza de 2 vías, empleando la prueba a posteriori de Duncan.

Los datos provenientes de los ensayos del Índice de Hidrólisis e Índice Glicémico Estimado, se evaluaron mediante análisis de varianza de una vía con la prueba de Wilcoxon para observaciones pareadas, en el cual cada persona es su propio control.

Los análisis se realizaron con la ayuda del programa “Number Cruncher Statistical System” (NCSS), versión 5.1. (1987) desarrollado por Jerry Chintze (Kayville, UT, USA), y con el programa. “Statistic For Windows” versión 4.0 (1993).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Los cereales, leguminosas y tubérculos son fuentes importantes de almidón. Muchos de estos materiales son usados en la industria de alimentos y son sometidos a tratamientos mecánicos, térmicos y/o enzimáticos, los cuales destruyen total o parcialmente la estructura cristalina del almidón (Guilbot y Mercier, 1985; citado por Colonna y col., 1992).

El presente trabajo se centró en el estudio de las propiedades de importancia nutricional de los almidones presentes en algunos productos procesados de cereales y leguminosas, que son elaborados y comercializados comúnmente en nuestro país. Para ello se evaluó la biodisponibilidad in vitro de estos almidones, analizándose las siguientes propiedades que la determinan: 1) La digestibilidad, estimada a través de dos parámetros fundamentales, como son el contenido de almidón disponible y almidón resistente, los cuales nos permiten estimar el impacto del procesamiento sobre la eficiencia de utilización fisiológica del carbohidrato, y 2) La tasa de digestión in vitro de dichos productos.

Esta investigación presenta interés ya que, si bien las características de biodisponibilidad del almidón en productos basados en cereales y leguminosas ha recibido atención significativa a escala internacional, es todavía poco lo que conocemos en este sentido sobre nuestros alimentos regionales.

1.- JUSTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

Previamente a la discusión de los resultados es conveniente aclarar algunos detalles de procedimiento experimental, tendientes a garantizar el mayor control posible de las variables experimentales.

Cabe destacar que todos los cereales se prepararon según indicaciones del fabricante del producto Avena Quaker (Ver sección experimental), ya que los otros cereales estudiados no suministran en su empaque información sobre la forma de preparación. Todos los productos

de cereales fueron preparados como atol. Posteriormente a su elaboración dicho atol se dejó reposar por un corto tiempo (no mayor a 15 minutos) y se mantuvo tapado para evitar la pérdida de excesiva humedad, lo cual habría afectado los resultados.

En el caso de las caraotas, estas fueron preparadas empleando diferentes procesamientos. Un aspecto importante es que todos los granos provenían del mismo lote, hecho que permite asegurar que cualquier diferencia entre las distintas muestras se debe realmente a diferencias en el tipo de proceso aplicado. Esta precaución no ha sido tomada en cuenta en la mayor parte de los estudios encontrados en la literatura.

Por otra parte, las caraotas fueron remojadas por 20 minutos antes de su cocción. Aunque se sabe que el remojo mejora significativamente la digestibilidad del almidón en algunas leguminosas, este efecto no es universal, como observaron Bravo y col. (1998) trabajando con Vigna mungo. Por esta razón, se seleccionó un tiempo corto de remojo, tal y como se ha hecho en estudios previos (Tovar y col., 1990a).

Los granos fueron cocinados por ebullición durante dos horas, tiempo que permitió obtener una textura adecuada para su consumo, pero sin perder su forma o romper las cáscaras del grano totalmente. Las semillas de una misma especie de leguminosas pueden tener diferentes tiempos de cocción, y cuanto más largo sea el tiempo de almacenamiento post-cosecha tanto mayor suele ser el tiempo de cocción, lo cual afecta la aceptabilidad. Por ello, se seleccionó un tiempo de cocción que se tradujera en una textura palatable para el experimentador. Igual consideración se tuvo, a nivel de la planta enlatadora, para las caraotas industrializadas.

También debe señalarse que tanto las caraotas enlatadas como las hervidas se escurrieron antes de su análisis. El uso u omisión del escurrido ha sido escogido hasta ahora por el investigador sin criterio particular aparente. Así mismo, en algunos ensayos los granos se homogeneizaron con un equipo Tissumiser® para garantizar la máxima dispersión del sustrato amiláceo durante la evaluación del contenido de almidón disponible y la tasa de amilólisis. Sin embargo, la dispersión de los datos experimentales obtenidos

puso en evidencia la dificultad de lograr un rompimiento y homogeneización eficiente de los granos por esta vía. Lo anterior llevó a analizar las caraoas cocidas y/o enlatadas también en forma de harina, preparada mediante secado en estufa del grano escurrido y posterior molienda. Estas últimas preparaciones mostraron un comportamiento más homogéneo en términos analíticos. Con fines comparativos, en algunos experimentos, las harinas de granos hervidos o enlatados fueron homogeneizados con el equipo antes mencionado, como proceso previo al análisis.

2.- CONTENIDO DE ALMIDÓN DISPONIBLE Y RESISTENTE EN LOS CEREALES.

El almidón disponible enzimáticamente puede ser medido a través de la glucosa que se libera luego de una digestión consecutiva y controlada con α -amilasa y amiloglucosidasa (Holm y col., 1986). Así, se evaluó el contenido de almidón potencialmente disponible de las harinas y los atoles de cereales, encontrándose diferencias significativas entre las muestras ($P < 0,05$), como se observa en la Tabla VIII.

En primer lugar, se destaca la diferencia registrada en el tenor de almidón disponible entre la mayoría de las harinas crudas, siendo la harina de arroz la que presentó el valor más elevado en base a la materia seca, seguida por las muestras de avena y fororo, correspondiendo el menor contenido al gofio criollo. Estas diferencias reflejan las características de la especie botánica que origina cada producto (Würsch, 1989, citado por Goñi y col., 1995; Tovar, 1994). Así, por ejemplo, el relativamente bajo valor de almidón disponible del gofio pudiera deberse a la característica composicional de este producto, ya que se trata de trigo tostado molido. En el proceso de tostado puede ocurrir fusión de los gránulos de almidón, un proceso que difiere de la gelatinización pero que también resulta en pérdida de la estructura granular, aún cuando puede ocurrir también un daño molecular apreciable, que puede incluir la aparición de fracciones no digeribles por transglucosilación (Tovar y Melito, 1996).

Por otra parte, la alta temperatura (hasta 150°C), las altas presiones y la fuerza mecánica desarrolladas en la molienda y otros procesamientos como extrusión, y deshidratación en rodillos, destruyen la estructura granular del almidón, incrementando la gelatinización y la tasa de digestión enzimática (Le Francois, 1989 citado por Herrera, 1997; Chowdhury y Punia, 1997; Herrera, 1997).

En las moliendas el endospermo de trigo, maíz, arroz o avena, a veces el endospermo simplemente se rompe o se prensa, y puede tostarse o no, para dar cereales como harinas o avena que requieren cocimiento antes de consumirse (Potter, 1978; Primo, 1998). La molienda seca es un proceso sencillo, en el que se emplean molinos de rodillos y cribas, donde el cereal previamente se somete a un acondicionamiento de humectación ligera, con agua fría o caliente, o vapor, para conseguir que el germen y las cubiertas exteriores adquieran una consistencia correosa, lo que facilita su separación posterior del endospermo. Los rodillos trituran los granos hasta condición pulverulenta separando las partículas más gruesas. También la separación se efectúa según su finura con la ayuda de tamices, distinguiéndose en fracciones de alto contenido de proteína y almidón, basándose en distintas densidades. Los productos de la molienda incluyen germen, salvado y una variedad de sémolas y harinas, de distintas granulometrías, que pueden combinarse de forma distinta o volverse a triturar, según el uso a que la destinen (Coenders, 1996; Primo, 1998).

En el presente estudio la muestra de harina de avena se obtuvo mediante acondicionamiento térmico con vapor húmedo seguido de laminado en rodillo para obtener hojuelas, las cuales son finamente molidas. La harina de arroz, por su parte, se obtuvo por simple molienda del grano entero en un micro pulverizador y posterior selección de tamaño de partículas por cernido. El gofio se obtuvo por un proceso más rudimentario, tostado del trigo y como molienda en un sistema de piedras y posterior cernido (Muller y Tobin, 1986; Coenders, 1996), mientras que el fororo se produjo mediante tostado a punto de cotufa del grano de maíz y molienda con micro pulverizador y cernido. Lo antes expuesto revela diferencias en el tipo de tratamiento que se aplica a cada cereal para lograr los diferentes

productos estudiados, por lo que cabría esperar efectos diferenciales del proceso sobre el tenor de almidón disponible de cada muestra.

Al comparar el nivel de almidón disponible presente en las preparaciones listas para el consumo (atoles) no se observaron cambios significativos con respecto a la formulación cruda, excepto para el fororo, cuyo atol presentó 4% menos en el contenido de almidón (b.s) que la harina inicial (Tabla VIII).

Las harinas de los cereales al ser sometidas a cocción con suficiente contenido de agua experimentaron una gelatinización del almidón, involucrando una pérdida de la estructura cristalina, donde hubo una disociación de los cristales. Posteriormente en reposo, ocurrieron cambios en la estructura del almidón, en el que se asocian las moléculas de amilosa y amilopectina formándose un gel, que luego puede aumentar en cristalinidad por retrogradación. El comportamiento diferente de cada atol pudo deberse principalmente a él origen botánico, y al distinto procesamiento para obtener las harinas de los cereales, ya que la cocción y sus condiciones (tiempo, temperatura, cantidad de agua y reposo posterior a la cocción) se mantuvieron constantes para todas las preparaciones de atol. Es importante destacar que se observó un descenso de la cantidad de almidón disponible en el atol de fororo y del atol de harina de arroz.

Según la literatura las características estructurales, composicionales, químicas y físicas de los alimentos influyen la disponibilidad enzimática del almidón (Colonna y col., 1992; Björck y col., 1994). La biodisponibilidad de los almidones está entonces relacionada con los constituyentes mismos del almidón o de los alimentos que lo contienen, factores conocidos como "intrínsecos", si bien existen otros factores de naturaleza "extrínseca" (Englyst y Cummings, 1990). El procesamiento puede producir cambios en la disponibilidad del almidón. Tales alteraciones pueden ir desde una reducción del parámetro, asociada a un aumento del contenido de almidón resistente, aumentando el contenido aparente de fibra dietética (Veena y col., 1995), hasta un incremento en la velocidad de digestión, que dependerá del grado de gelatinización alcanzado por el almidón

TABLA VIII. CONTENIDO DE ALMIDÓN DISPONIBLE EN LAS MUESTRAS DE CEREALES.

MUESTRA	ALMIDÓN DISPONIBLE (%), BASE HUMEDA	ALMIDÓN DISPONIBLE (%), BASE SECA
HARINA DE GOFIO	58,1 ± 2,2 ^a	64,3 ± 2,4 ^a
ATOL DE GOFIO	60,0 ± 0,9 ^a	64,3 ± 0,9 ^a
HARINA DE FORORO	64,4 ± 1,5 ^b	70,4 ± 1,6 ^b
ATOL DE FORORO	61,6 ± 1,8 ^a	66,3 ± 2,4 ^a
HARINA DE AVENA	66,7 ± 2,5 ^b	72,3 ± 2,7 ^b
ATOL DE AVENA	67,3 ± 2,2 ^b	72,8 ± 2,4 ^b
HARINA DE ARROZ	81,3 ± 1,5 ^c	90,7 ± 1,6 ^c
ATOL DE HARINA DE ARROZ	80,5 ± 0,7 ^c	88,2 ± 0,7 ^c

Promedio ± DE.

(n = 3).

Los valores marcados con letras distintas son estadísticamente diferentes (P< 0,05).

con el procesamiento industrial (Holm y col., 1985). Es evidente pues, que los tratamientos tecnológicos y culinarios modifican la digestibilidad del almidón (Herrera, 1997).

La gelatinización implica la disgregación del gránulo, fenómeno al que puede seguir la reorganización de los polímeros dispersados, lo que constituye el fenómeno de retrogradación. La retrogradación de la amilosa es un proceso rápido, ocurre en cuestión de horas, mientras que la amilopeptina retrograda mucho más lentamente, necesitando días para alcanzar valores significativos. La amilopeptina se ve limitada en su capacidad de retrogradar debido a su estructura tridimensional ramificada que dificulta la reasociación efectiva del polímero (Englyst y col., 1992). La retrogradación del almidón, vista en términos globales, es en sí un fenómeno cinético que puede ser potenciado por un segundo tratamiento térmico, lo que incrementa la reasociación de las cadenas de amilosa (Sievert y col., 1991; citado por Colonna 1992).

Diversos estudios durante los últimos años han mostrado que la digestibilidad de los almidones en diferentes alimentos pueden variar ampliamente (Asp, 1995), por lo que se ha validado la clasificación nutricional de los almidones (almidón rápidamente digerible, almidón lentamente digerible y almidón resistente) propuesta originalmente por Englyst y col. en 1992 (Jenkins y col., 1994; Björck y Asp, 1994). En particular, el descenso de la cantidad de almidón disponible en un alimento procesado suele deberse a la aparición de fracciones resistentes (almidón resistente o AR).

Los factores como el origen botánico del almidón, el tipo de procesamiento utilizado, la relación amilosa/amilopeptina, la temperatura y el tiempo de almacenamiento del alimento, también pueden contribuir a las diferencias en el contenido de almidón resistente de diversos alimentos. Es clara la influencia del origen botánico y el procesamiento en la formación de almidón resistente, específicamente del tipo III que es el formado por gelatinización y posterior retrogradación del almidón. Este tipo de almidón resistente es el más abundante y está constituido fundamentalmente por cadenas de amilosa lineales y cortas, unidas entre sí por puentes de hidrógeno en arreglos cristalinos (Würsch, 1989, citado por Goñi y col., 1995; Tovar, 1994). De igual manera, es importante destacar que el

procesamiento, la temperatura y tiempo almacenamiento ejercen un efecto sobre el contenido de almidón resistente (Kavita y col., 1998). Así, por ejemplo, la cocción por ebullición y la cocción con presión aumentan el tenor de almidón resistente tipo III en el arroz (Parchure y Kulkarni, 1997).

El contenido de almidón resistente de los cereales cocidos, analizados por dos métodos distintos, se presenta en la Tabla IX. El almidón resistente en los atoles varió significativamente, tanto entre muestras como dependiendo del método analítico empleado. El mayor contenido en base seca, estimado por el método de Saura-Calixto y col. (1993), fue el del atol de fororo (1,4%), mientras que el menor se registró para el atol de harina de arroz (0,2%). Para el caso del almidón resistente medido por el método de Goñi y col. (1996), el almidón resistente más abundante se encontró en el del atol de gofio (3,3%) y el menor fue del atol de avena (1,5%) (Tabla IX).

La diferencia entre los atoles puede explicarse por el contenido en éstos de diferentes fracciones, retrogradadas y nativas, en mayor o menor cantidad, las cuales son medidas de forma diferencial por cada técnica. El método de Saura-Calixto y col. (1993) determina exclusivamente las fracciones resistentes retrogradadas (AR III), mientras el método de Goñi y col. (1996) evalúa las fracciones retrogradadas junto con las nativas de escasa digestibilidad (Tovar, 2000). Por este motivo, los valores obtenidos en este estudio son más altos al emplear en el método de Goñi y col. (1996). Los valores para los atoles con el método de Saura-Calixto y col. (1993) variaron entre 0,2% y 1,4%, y por el método de Goñi y col. (1996) variaron entre 1,5% y 3,3% (base seca).

La presencia de cantidades apreciables de AR (tipo III) en el atol de fororo y harina de arroz es consistente con el descenso en el contenido de almidón disponible observado durante la cocción (Tabla VIII). Sin embargo, el nivel detectado por el método directo de Saura-Calixto y col. (1993) es inferior a la disminución de almidón disponible entre el atol y la harina, discrepancia que refleja la limitada exactitud de los diferentes métodos analíticos hasta ahora disponibles para evaluar in vitro la biodisponibilidad de los

**TABLA IX. CONTENIDO DE ALMIDÓN RESISTENTE DE LOS CEREALES
EVALUADO POR DOS MÉTODOS.**

MUESTRA	ALMIDÓN RESISTENTE RETOGRADADO (MÉTODOS SAURA-CALIXTO Y COL.)	ALMIDÓN RESISTENTE RETOGRADADO (MÉTODOS GOÑI Y COL.)
ATOL DE AVENA	0,4 ± 0,1 ^a (n = 3)	1,5 ± 0,1 ^b (n = 3)
ATOL DE HARINA DE ARROZ	0,2 ± 0,0 ^c (n = 3)	1,9 ± 0,4 ^{de} (n = 3)
ATOL DE FORORO	1,4 ± 0,2 ^{bd} (n = 5)	2,1 ± 0,0 ^e (n = 3)
ATOL DE GOFIO	0,6 ± 0,0 ^f (n = 6)	3,3 ± 0,4 ^g (n = 3)

Promedios ± DE.

Los valores están expresados en % (base seca).

Los valores señalados con letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0,05).

almidones dietarios (Tovar, 2000). Este hecho pudo ser evidenciado nuevamente al detectar cantidades bajas, pero significativas, de AR III en los atoles de avena y gofio, a pesar de que la simple evaluación del contenido de almidón disponible de estas harinas no indicó cambios apreciables con el tratamiento de cocción aplicado al preparar los atoles.

Otro aspecto digno de ser destacado es el cuidado que se tomó con el tiempo de enfriamiento permitido a los atoles antes de iniciar el proceso de cuantificación enzimática de AR, el cual se restringió a un máximo de 15 minutos a temperatura ambiente. De esta manera, puede garantizarse que el tenor de almidón observado es representativo de la forma del alimento tal como es ingerido.

El atol de avena resultó diferente a los demás con los dos métodos de análisis de AR. Una razón que pudiera explicar esto es el tipo de procesamiento seguido para la elaboración de la harina de avena y la del atol, que es la forma como es consumido el producto en el país. Cabe mencionar que la obtención de la harina de avena no lleva consigo cocción, por lo que su almidón no se gelatiniza. Además, las partículas de esta harina son generalmente de tamaño relativamente grande y por ello su cocción se hace más larga que con otro tipo de harina, para lograr gelatinizar el almidón; sin embargo, en harinas especiales de avena con partículas muy finas, la cocción es rápida pero el producto cocido no posee la estructura granular del copo de avena (Kent., 1971). Así, puede pensarse que en el atol de avena aquí estudiado persiste una mayor fracción de gránulos no gelatinizados, lo cual eleva el valor obtenido al emplear el procedimiento de Goñi y col. (1996). Al mismo tiempo, los resultados obtenidos también permiten afirmar que en todos los atoles analizados, persiste una porción de gránulos de almidón que no alcanzó gelatinización y se detecta como almidón resistente según el protocolo de Goñi y col. (1996).

Si se considera todo el espectro de valores de AR encontrados aquí para las muestras de cereales, puede concluirse que estos productos presentan contenidos moderados de dicho componente dietario (Tovar y Velasco, 1995) y, en todo caso, menores que los asociados a las leguminosas, como se discute más adelante.

3.- CONTENIDO DE ALMIDÓN DISPONIBLE Y RESISTENTE DE LAS DIFERENTES PREPARACIONES DE CARAOTAS NEGRAS.

En el caso de las caraotas, atendiendo a su conocida complejidad desde el punto de vista analítico (Tovar y col., 1990a), además de evaluar el tenor de almidón disponible enzimáticamente y el de almidón resistente, se realizó la cuantificación del contenido de almidón total mediante el método descrito por Tovar y col. (1990a), el cual permite estimar, en un solo ensayo, la suma de las fracciones disponibles y resistentes presentes en un alimento. Es importante recordar que todas las muestras de caraotas estudiadas aquí provienen del mismo lote, de tal manera que los resultados pueden considerarse plenamente comparables.

De acuerdo con el conocimiento teórico, puede decirse que durante la cocción de las muestras de caraotas (cocción por ebullición o enlatado), los granos absorbieron agua y su almidón sufrió hinchamiento, permitiendo el aumento del tamaño del grano, ablandándose y debilitándose las paredes celulares, con la gelatinización de los gránulos de almidón. Los contenidos de almidón disponible y total de los granos resultaron estadísticamente equivalentes ante los distintos tratamientos (Tabla X). No obstante, el valor promedio de almidón disponible registrado para la preparación cocida a presión atmosférica fue apreciablemente menor que en las demás muestras.

Vale la pena mencionar que con los granos recién cocidos, a presión (enlatados) y homogeneizados en fresco antes del análisis, hubo una marcada dispersión de los valores entre réplicas (Tabla X), por lo que las semillas cocidas por ambos métodos se secaron también en una estufa a 50 °C por 48 horas y, posteriormente, se molieron para obtener las correspondientes harinas. Así, se pudo comparar los valores obtenidos en ambos casos, siendo los de las harinas más homogéneas especialmente en el caso de granos enlatados (Tabla X). Se observa además que a pesar de llevar un tratamiento término adicional (secado), las harinas no mostraron diferencias significativas con las demás muestras, posiblemente porque la temperatura utilizada para el secado no fue muy alta, preservando la condición post-cocción del almidón.

TABLA X. CONTENIDO DE ALMIDÓN DISPONIBLE Y ALMIDÓN TOTAL DE LAS MUESTRAS DE CARAOTAS NEGRAS.

MUESTRAS	ALMIDÓN DISPONIBLE	ALMIDÓN TOTAL
HARINA DE CARAOTAS CRUDAS	36,3 ± 0,6 ^a (n = 3)	40,9 ± 2,1 ^a (n = 3)
CARAOTAS HERVIDAS	31,8 ± 0,3 ^a (n = 3)	41,2 ± 0,2 ^a (n = 4)
HARINA DE CARAOTAS HERVIDAS	33,1 ± 1,1 ^a (n = 3)	41,1 ± 2,1 ^a (n = 3)
CARAOTAS ENLATADAS	38,3 ± 4,4 ^a (n = 6)	44,6 ± 1,3 ^a (n = 3)
HARINA DE CARAOTAS ENLATADAS	35,3 ± 0,3 ^a (n = 9)	42,0 ± 1,4 ^a (n = 6)

Promedios ± DE.

Los valores están expresados en % (base seca).

Todos los valores dentro de una misma columna resultaron estadísticamente iguales (P < 0,05).

Se observa, así mismo, que el procesamiento de las caraotas en autoclave (enlatadas) o en forma casera (hervidas) no produjo diferencias significativas ($P < 0,05$), ni siquiera en cuanto a contenido de almidón de los granos crudos (Tabla X), situación contraria a la observada en otros trabajos, donde la ebullición se tradujo en un contenido más bajo de almidón disponible en caraotas negras y frijoles (Velasco y col., 1997), alteraciones que han puesto en evidencia que el tratamiento termo mecánico involucrado en el procesamiento cambia las propiedades nutricionales relevantes en las leguminosas (Würsch y col., 1988; Tuan y Phillips, 1991; Tovar y col., 1992b; Melito y Tovar, 1995). La discrepancia entre los presentes resultados y los hallados en la literatura puede deberse a la variabilidad entre réplica de una misma muestra señalada anteriormente, la cual limita la sensibilidad discriminante del análisis estadístico utilizado (análisis de varianza, una vía). Esta apreciación se pudo confirmar al evaluar el contenido de almidón resistente de estas preparaciones, como se discute más adelante.

La variabilidad entre réplicas del análisis de los granos cocidos y homogeneizados en fresco puede tener origen en una homogeneización mecánica insuficiente del material, en las condiciones aquí utilizadas. Esta hipótesis parece cobrar fuerza por el hecho de obtener mejores resultados en las preparaciones cocidas que fueron deshidratadas y molidas. Es evidente también que la tendencia de los valores de almidón total, en todos los casos, es hacia niveles más elevados que para el almidón disponible, la cual indica que el pretratamiento con KOH 2N que se emplea en la determinación de almidón total, logra la dispersión de fracciones retrogradadas de almidón en estas preparaciones.

Es importante destacar que los valores de almidón disponible de las caraotas negras hervidas obtenidas en el presente trabajo son más altos (Tovar y Velasco, 1995) o similares a otros (Velasco y col., 1997; Bravo y col., 1998) reportados en la literatura para granos de leguminosas, posiblemente por efecto de la variabilidad existente aún dentro de la misma especie de granos. Los valores de almidón total están en mejor concordancia con lo encontrado por otros autores (Velasco y col., 1997) y para otras leguminosas de semillas negras (*Vigna mungo* L.) (Bravo y col., 1998).

En la Tabla XI se presenta el contenido de almidón resistente de las caraotas negras analizado por dos métodos distintos, y según el tipo de procesamiento (ebullición y enlatado). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el contenido de almidón resistente de la leguminosa, dependiendo tanto del tratamiento utilizado, como del método empleado para el análisis. La literatura explica que existen diversos factores que pueden interaccionar entre sí para la formación de almidón resistente; entre éstos se tiene: la relación amilosa/amilopectina (Goñi y col., 1995), el origen botánico y las condiciones de procesamiento, (Snow y O'Dea., 1981; Björck y col., 1994; Goñi y col., 1995; Asp y col., 1996).

Los valores de almidón resistente se encuentran entre 1,0 % y 4,9 % para el método de Saura-Calixto y col. (1993) mientras para el método de Goñi y col. (1996) oscilaron entre 4,6% y 8,6%, en base seca (Tabla XI). El contenido de almidón resistente más alto fue detectado para las caraotas sometidas a cocción normal (4,9%) y el menor para la harina cruda de caraotas (1,0 %) usando el método de Saura-Calixto y col. (1993). Con el método de Goñi y col. (1996) el valor porcentual más alto fue en las caraotas negras enlatadas (8,6 %) y el más bajo fue el de la harina cruda de caraotas (4,6 %). Al igual que en los cereales analizados, estas diferencias deben responder al contenido relativo de diferentes fracciones de almidón resistente (retrogradadas y nativas), las cuales son cuantificadas diferencialmente por los métodos utilizados (Saura-Calixto= fracciones retrogradadas y Goñi= retrogradadas y nativas). También se observa que los valores reportados por el método de Goñi y col. (1996) son más altos.

**TABLA XI. CONTENIDO DE ALMIDÓN RESISTENTE DE LAS CARAOTAS
NEGRAS EVALUADO POR DOS METODOS DIFERENTES.**

MUESTRAS	ALMIDÓN RESISTENTE RETROGRADADO (METODO SAURA-CALIXTO Y COL.)	ALMIDÓN RESISTENTE RETROGRADADA Y NATIVA II y III (METODO GOÑI Y COL.)
CARAOTAS ENLATADAS	3,3 ± 0,2 ^a (n = 3)	8,6 ± 0,5 ^b (n = 3)
CARAOTAS HERVIDAS	4,9 ± 0,3 ^c (n = 3)	6,0 ± 0,1 ^d (n = 7)
HARINA DE CARAOTAS CRUDAS	1,0 ± 0,2 ^e (n = 4)	4,6 ± 0,4 ^c (n = 4)
HARINA DE CARAOTAS ENLATADAS	3,4 ± 0,5 ^a (n = 4)	6,4 ± 0,3 ^d (n = 3)
HARINA DE CARAOTAS HERVIDAS	4,6 ± 0,7 ^c (n = 4)	6,8 ± 0,2 ^d (n = 3)

Promedios ± DE.

Los valores están expresados en % (base seca).

Los valores señalados con letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0,05).

La harina cruda de caraotas contiene escaso AR₃ como se deduce de los resultados obtenidos con el método de Saura-Calixto, y es relativamente alto en AR₂, pero para las harinas cocidas se observó cómo comportamiento inverso. Se puede destacar que para ambos métodos existen diferencias entre el tenor de almidón resistente de las harinas crudas y de aquellas cocidas. Recordemos que en alimentos crudos el almidón es más difícilmente digerido, especialmente en los que contienen almidones con patrón de difracción de rayos X del tipo B o C, correspondiendo con el almidón resistente tipo II (Englyst y col., 1992). Las leguminosas tienen almidones que originan patrones de difracción tipo C. Sin embargo, durante la cocción el almidón es gelatinizado lo que aumenta por una parte la disponibilidad al ataque enzimático, pero también conduce a la generación de fracción que es de almidón retrogradado que son resistentes a la digestión enzimática (AR₃), mecanismos que pudieran explicar la diferencia anterior.

El almidón resistente (AR₃) en granos de caraotas hervidas (96 °C por 2 horas) resultó mayor que para los granos de caraotas enlatadas (120 °C a 15 PSI por 80 min.)(Tabla XI) según el método de Saura-Calixto; sin embargo, para el método de Goñi ocurrió lo contrario. Por otra parte, se observa que para estos granos no parece alterarse mucho el AR₂, con excepción del análisis hecho con el grano cocido homogeneizado, que resultó mucho mayor que al analizar su harina. Cabe destacar que los valores de almidón resistente en las caraotas hervidas son muy parecidos a los publicados para otras leguminosas utilizando el método de Goñi, pero menores que para leguminosas crudas (Bravo y col., 1998). Sin embargo, los valores de almidón resistente (AR₃) de las caraotas cocidas a presión atmosférica obtenidos con el método de Saura-Calixto son más bajos que los encontrados en trabajos previos (Tovar y Velasco, 1995; Velasco y col., 1997), lo cual reitera la amplia variabilidad del contenido de este material entre preparaciones aparentemente similares de este tipo de granos.

Se conoce que el proceso de enlatado induce una mayor formación de almidón resistente tipo III que la cocción a presión atmosférica, aun cuando se controle la temperatura, las condiciones de presión, ebullición y otros parámetros (Escarpa y col., 1996); pero a pesar que ésta es una razón de peso para explicar las diferencias entre las muestras aquí

estudiadas, también pudieran estar involucrados otros factores en este fenómeno, como la interacción del almidón con otros nutrientes o componentes del grano, factores que se han estudiado en algunos cereales. Entre dichos agentes se ha señalado a los lípidos, las proteínas, azúcares, lignina, celulosa, pectina, gomas, ácido fólico, catequinas y otros fenoles, así como iones de calcio y potasio, los cuales podrían alterar el patrón de formación de almidón resistente tipo III (Croghan, 1997; Escarpa y col., 1997b; Mángala y col., 1999).

No puede pasar desapercibido el hecho que existen diferencias en el tenor de almidón resistente entre las caraoatas y los cereales estudiados, siendo más altos en las leguminosas. Esto coincide con estudios realizados por otros autores (Jenkins y col., 1982; Tovar y col., 1992a; Björck y col., 1994; Tovar y Melito, 1996; Velasco y col., 1997), donde las leguminosas procesadas tienen una cantidad significativamente superior de almidón resistente en comparación con cereales y papas, independientemente del procesamiento al que se sometan.

4.-TASA DE α -AMILOLISIS E ÍNDICE DE HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN PRESENTE EN LOS CEREALES Y CARAOTAS NEGRAS.

La velocidad de hidrólisis del almidón *in vitro* permite obtener cierta información sobre el grado de gelatinización del almidón en un producto, al tiempo que permite predecir, con exactitud variable, el componente cinético de la biodisponibilidad del almidón *in vivo* (Björck y col., 1994). La tasa de hidrólisis depende de la morfología del gránulo de almidón, en el caso de las preparaciones nativas, y en los almidones tratados son importantes la relación amilosa/amilopectina, el contenido de almidón resistente y otros posibles factores (Björck y col., 1994). La amilopectina es generalmente considerada más fácilmente digerible que la amilosa (Behall y col., 1989; citado por Truswell, 1992).

En este estudio se evaluó la tasa de digestión enzimática *in vitro* utilizando α -amilasa pancreática. Se observó (Fig. 5) que todos los atoles tuvieron un comportamiento similar en cuanto a su grado de digestión a los 5 minutos de reacción, pero se diferenciaron a tiempos

mayores. El mayor índice de hidrólisis al cabo de 60 minutos de incubación lo mostró el atol de gofio (70,0 %), seguido del atol de fororo (68,0 %) y del atol de harina de arroz (64,0 %), aun cuando las diferencias son realmente pequeñas. Sin embargo, el atol de avena fue hidrolizado mucho más lentamente que las demás muestras (Fig.5). Aun cuando no se efectuó evaluación estadística de estos resultados, la hidrólisis del atol de gofio fue aparentemente más rápida que para los otros atoles, lo que pudiera explicarse por varios factores, entre ellos: su procesamiento particular, que puede haber producido un mayor grado de gelatinización, el tipo de almidón contenido en él y el tamaño de las partículas remanentes en el atol, que pudieran permitir una mayor susceptibilidad al ataque enzimático del almidón. El caso contrario se observó con la avena (Fig.5).

Es importante destacar que los valores de hidrólisis al cabo de 60 minutos de incubación fueron menores a los encontrados en el trabajo de Herrera (1997), evaluando almidones aislados de diversas fuentes, como apio, lentejas, maíz y sorgo, en las cuales, y según el tipo de procesamiento, se observó un aumento significativo de la pendiente de la curva de hidrólisis y del punto final, teniendo el mayor efecto la deshidratación en rodillos y la extrusión, con lo cual se les confirma como procesos pre-gelatinizadores. También es llamativo que los valores de este estudio fueron mayores que los encontrados en la investigación de Mangala (1999) para arroz (*Oryza sativa*) y ragi, en muestras desproteinizadas, desgrasadas y autoclavadas. Estos autores concluyeron que es el procesamiento el responsable principal de los cambios en la velocidad de hidrólisis del almidón. Por otra parte, Velasco (1995) observó valores de hidrólisis al cabo de 60 minutos de incubación, parecidos a los registrados en este estudio; la autora utilizó harinas precocidas de maíz hervidas y sus productos (arepas y bollos). Esto, nuevamente, apoya la idea de que la hidrólisis del almidón es afectada por la fase térmica de procesamiento.

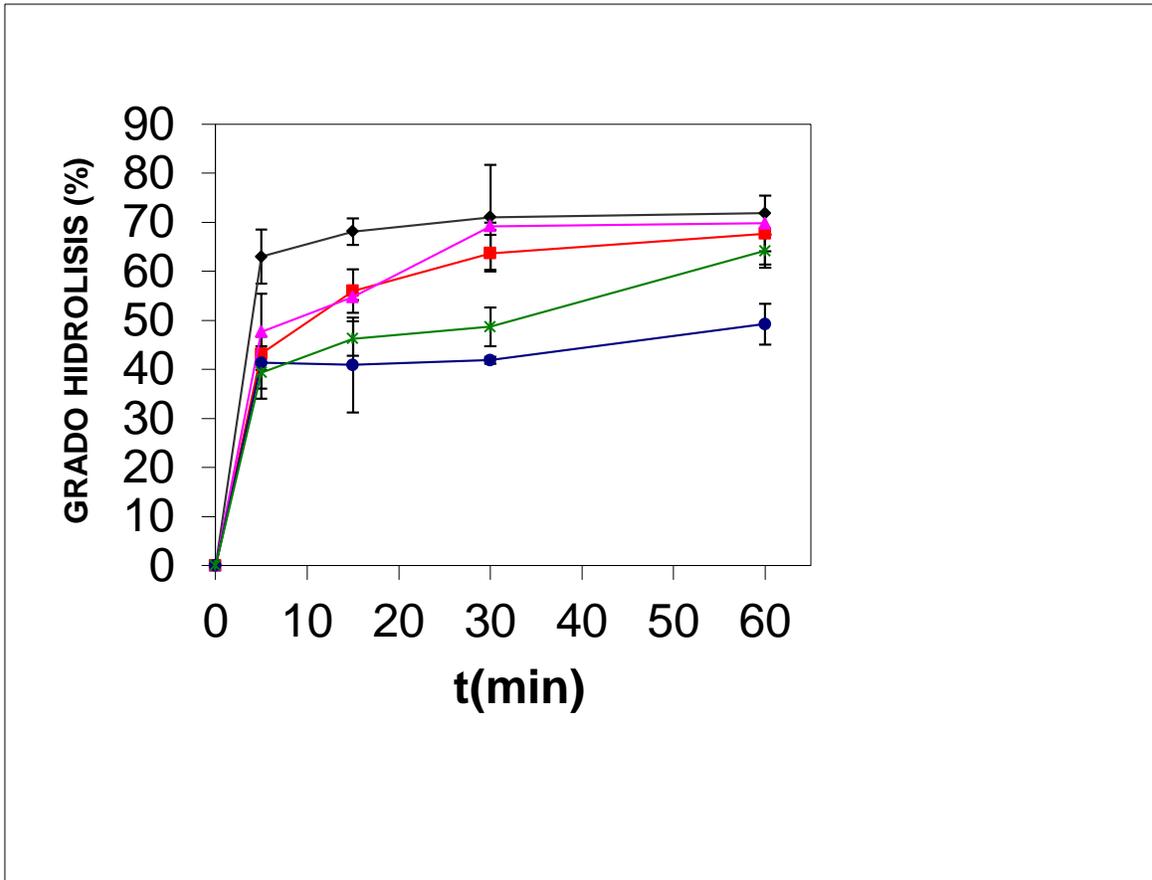


FIGURA 5. Hidrólisis de los atoles de cereales en base al almidón disponible. Atol de fororo ■; Atol de gofio ▲; Atol de harina de avena ●; Atol de harina de arroz*; Almidón de maíz gelatinizado (referencia) ♦.

Para el caso de las leguminosas se observó que los granos de caraotas enlatados y homogeneizados tuvieron un grado de hidrólisis a los 5 minutos igual que los hervidos homogeneizados, aunque se diferenciaron a tiempos de incubación de 30 y 60 minutos, siendo en este último tiempo notablemente mayor para los granos enlatados (52 %) que para los granos hervidos (35 %), (Fig.6). Es importante resaltar que estas caraotas hervidas presentaron la menor susceptibilidad a la hidrólisis a lo largo del ensayo. La mayor velocidad de hidrólisis de los granos enlatados pudiera explicarse suponiendo que la alta temperatura alcanzada durante el autoclave, permite un mayor grado de inactivación de inhibidores proteicos de α -amilasa y/o lectinas con acción antiamilolítica (Thompson y Gabón, 1987).

Igualmente, cabe pensar que la alta presión en el autoclave pueda haber facilitado una mayor ruptura de las paredes celulares lo que, sin llegar a fragmentarse completamente, podría permitir alcanzar un mayor hinchamiento y dispersión del almidón, factores que no necesariamente se completan durante la ebullición de los granos en tacho abierto (Würsh y col., 1986).

La harina de caraotas hervidas que no se homogeneizó antes del ensayo enzimático, tuvo una velocidad de hidrólisis menor en los primeros tiempos de incubación, que la harina de caraotas enlatadas y no sometida a homogeneización. Ambas harinas posteriormente alcanzaron valores similares (63 % y 60 %, respectivamente) a los 60 minutos de incubación (Fig. 6).

Por otra parte la harina homogeneizada de granos enlatados tuvo un comportamiento similar a los 5 y 15 minutos de digestión, que la harina homogeneizada de granos hervidos, siendo no obstante siempre menor a los valores del almidón de maíz de referencia. A los 30 minutos de incubación se observó una gran diferencia entre la harina homogeneizada de granos enlatados y la harina homogeneizada de granos hervidos (47 % y 74 % respectivamente). Sin embargo, a los 60 minutos de incubación ambas harinas tuvieron

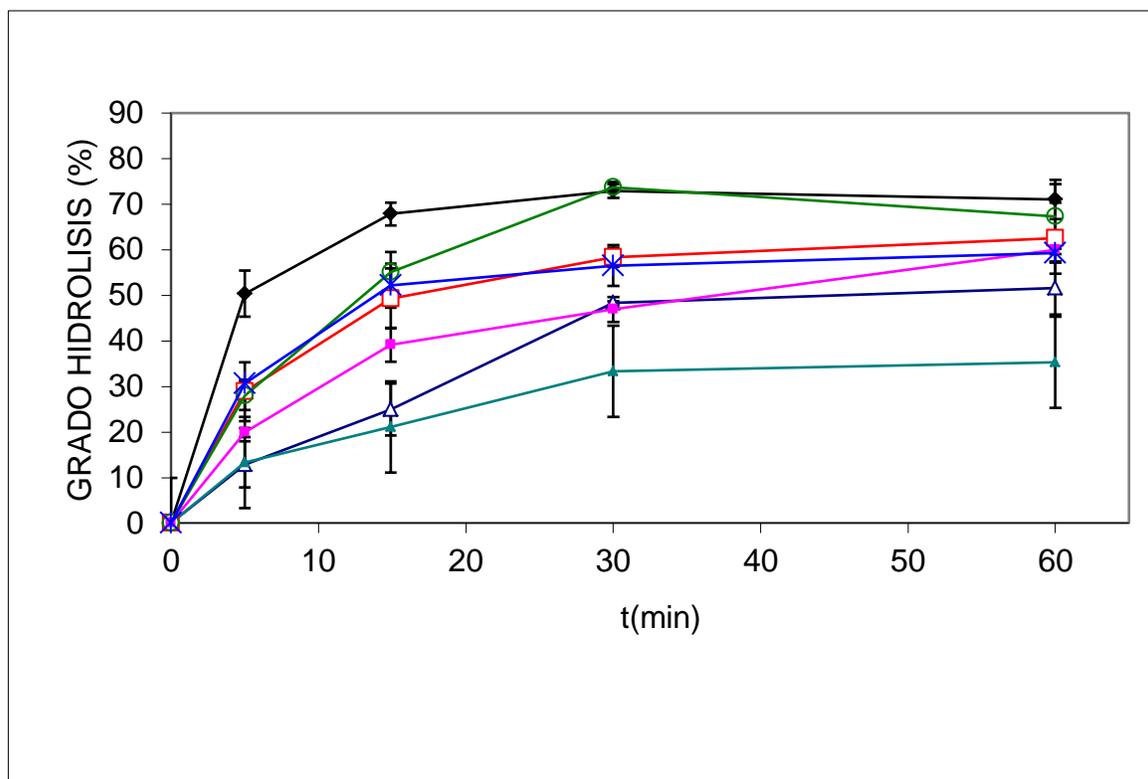


Figura 6. Hidrólisis del almidón presente en caraotas negras: Caraotas hervidas homogeneizadas▲; Caraotas enlatadas homogeneizadas △; Harina de caraotas hervidas◼; Harina de caraotas enlatadas *; Harina homogeneizada de caraotas hervidas◻; Harina homogeneizada de caraotas enlatadas ○; Almidón de maíz gelatinizado (referencia)♦. Valores porcentuales expresados con relación al almidón potencialmente disponible presente en la muestra.

comportamientos parecidos, con los valores de 63 % y 67 %, respectivamente. Es importante destacar que la harina homogeneizada de los granos enlatados alcanzó valores similares al almidón de referencia a los 30 min de digestión (Fig. 6).

Si se compara las harinas con los granos enteros sometidos a los diferentes tratamientos, los valores de velocidad de hidrólisis son menores en estos últimos. Así mismo, si se compara las harinas homogeneizadas de granos con las harinas no homogeneizadas de granos, se observa que en las primeras se obtuvieron mayores valores de grado de hidrólisis, por lo que se concluye que la homogeneización afecta la barrera física constituida por el tejido del cotiledón y las paredes de las células que la constituyen (Tovar y col., 1992; Tovar, 1995a), permitiendo una mayor accesibilidad de las enzimas al almidón. Vale decir pues, que las harinas son más digeribles que los granos completos.

También es importante mencionar que la molienda no parece haber causado diferencias significativas entre los granos estudiados, a pesar que se ha descrito que la molienda de semillas crudas puede afectar la composición química y, cuando hay tratamiento o generación de calor durante la ruptura de la estructura, llegar a disminuir el contenido de polifenoles, de ácido fítico y mejorar la digestibilidad de la proteína y del almidón (Chowdhury y Punia, 1997).

Según la literatura, el tratamiento térmico aplicado a los enlatados es más drástico que la cocción a presión atmosférica. En apoyo a esta idea, se observó, a través de microscopía óptica, que las células que contenían al almidón de los granos sufrieron mayor daño en sus paredes celulares, en las preparaciones enlatadas que en las provenientes de caraotas hervidas, aunque en todos los casos el almidón se encontraba mayoritariamente rodeado por paredes celulares relativamente intactas (Figs. 7, 8), Además, para el caso de la harina cruda se observaron gránulos de almidón libres tal y como era de esperar (Figs. 7,8). Cabe destacar que el rompimiento de la pared de las células de los cotiledones de las leguminosas es bastante bajo durante la cocción (Tovar y col., 1990a,b: 1991), lo cual influye en las propiedades de digestión in vitro e in vivo. Adicionalmente, el tratamiento térmico puede

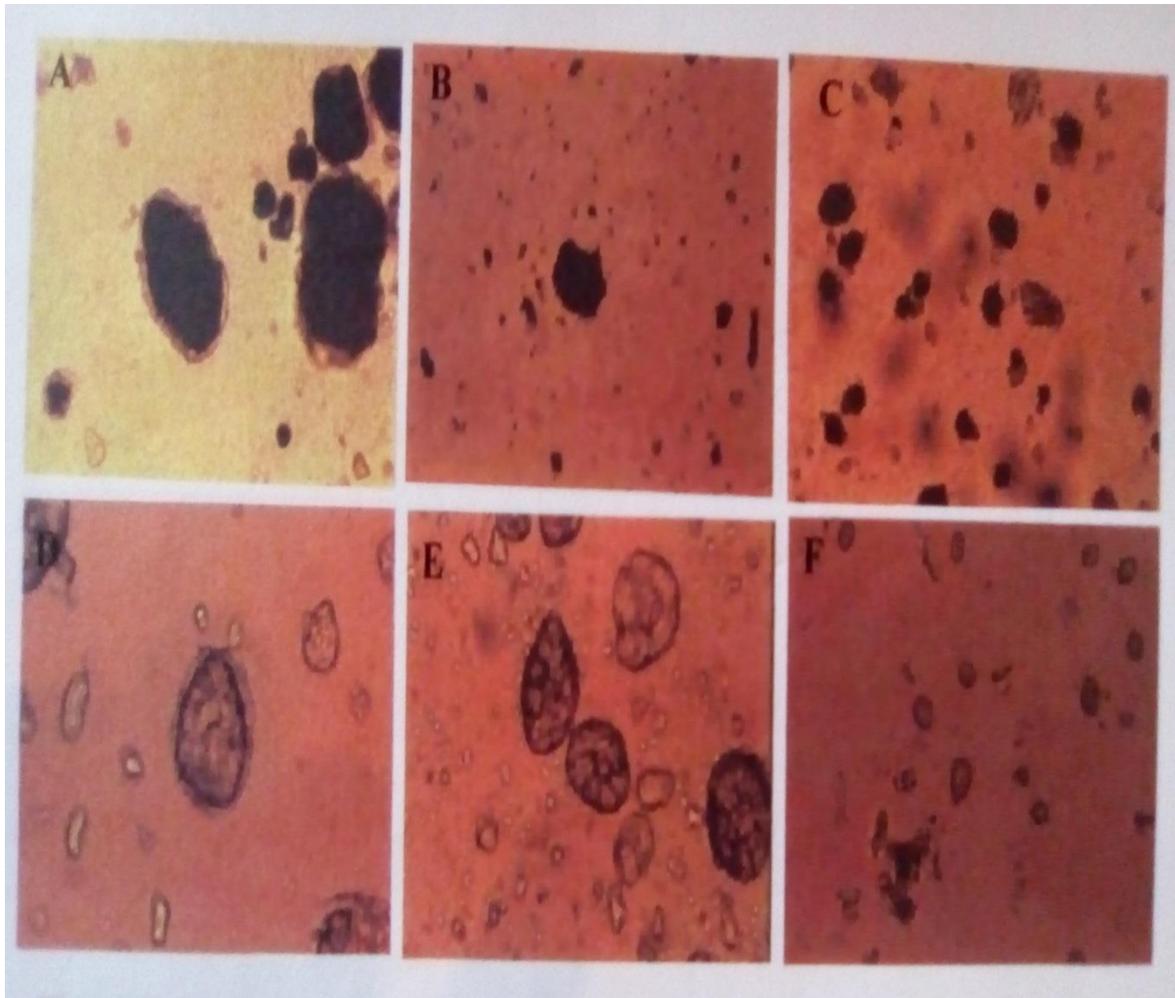


Figura 7: Microscopía óptica de las harinas de caraotas (Micrografía tomada a 20x). A.- Harina de granos hervidos, B.- Harina de granos enlatadas, C.- Harina de granos crudos, 1.- Harinas suspendidas en solución de yodo, 2.- Harinas suspendidas en agua.

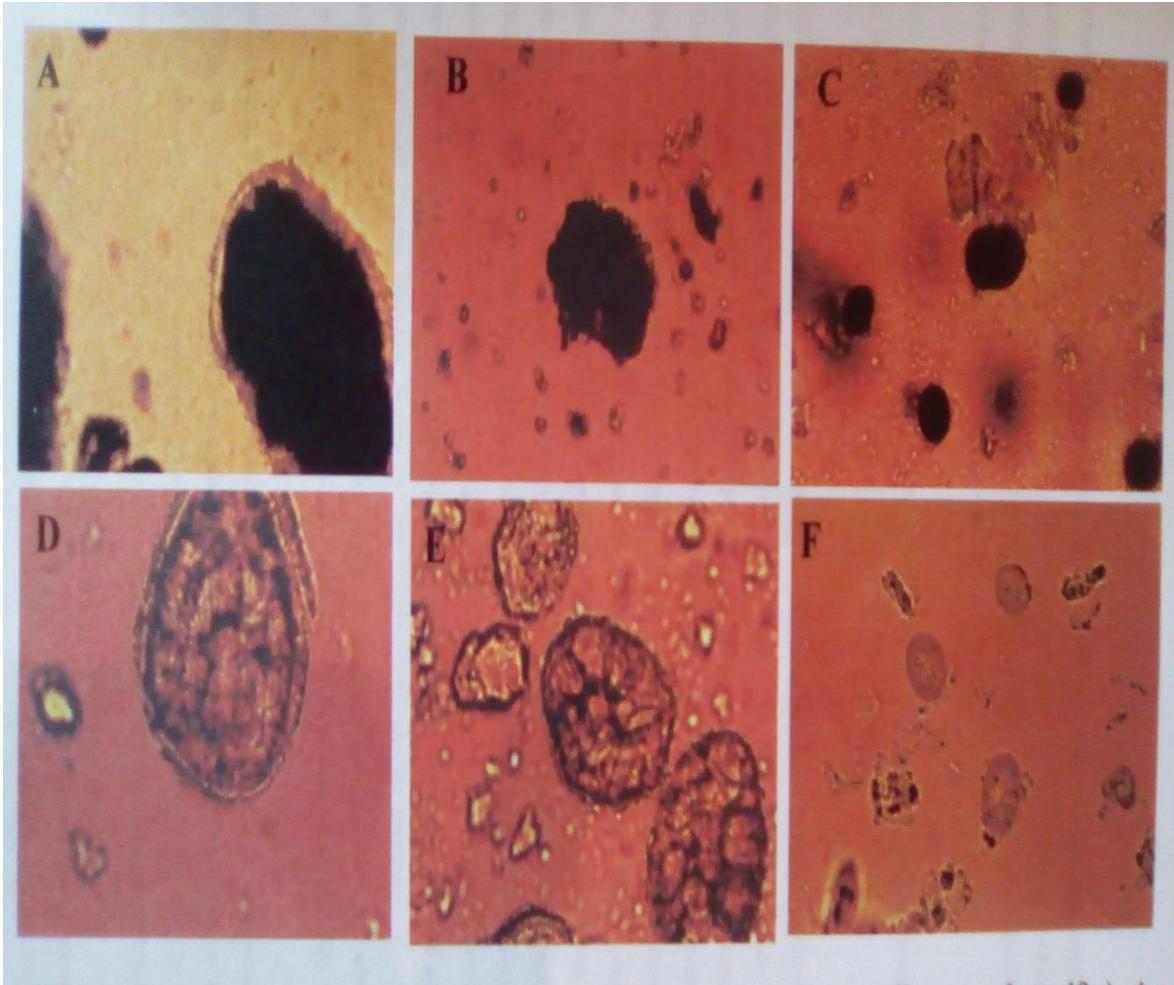


Figura 8: Microscopía óptica de las harinas de caraotas (Micrografía tomada a 40x). A.- Harina de granos hervidos, B.- Harina de granos enlatadas, C.- Harina de granos crudos, 1.- Harinas suspendidas en solución de yodo, 2.- Harinas suspendidas en agua.

influir sobre los factores anti nutricionales termolábiles, lo que favorecería la mejor acción de las enzimas digestivas. La gelatinización, por lo regular, se considera menos efectiva en la cocción a presión atmosférica que en la realizada por autoclave, pero esto puede variar con el tipo de almidón y/o alimento que lo contenga.

La velocidad de hidrólisis de los cereales estudiados resultó mayor que la determinada para las leguminosas (Figs. 5, 6). También se pudo confirmar que la homogeneización de las caraotas influye en la velocidad de hidrólisis de su almidón. Sin embargo, se observó que las harinas homogeneizadas de caraotas con diferentes procesamientos tuvieron, a los 60 minutos, un grado de hidrólisis menor que el obtenido para los cereales. Esta diferencia en susceptibilidad a la α -amilólisis entre los cereales y las leguminosas estudiados puede deberse a diferencias de contenido y tipo de amilosa/amilopectina. Estos resultados concuerdan con el hecho conocido que el almidón de las semillas de leguminosas es más difícil de digerir que el almidón de cereales y tubérculos.

Se ha reportado la lenta (Sathe y col., 1982; Würsch y col., 1986) e incompleta (Socorro y col., 1989; Faulks y Bailey, 1990) hidrólisis enzimática de los almidones de leguminosas tratados con calor, fenómeno en el cual la relación amilosa/amilopectina juega un papel importante, como también la presencia de la pared celular como barrera física, y los inhibidores de la amilasa. Todas estas características son determinantes del comportamiento "in vitro" de estos almidones (Wong y col., 1985; Würsch y col., 1986; Socorro y col., 1989; Tovar y col., 1991).

Por lo tanto, los productos aquí estudiados contienen almidones cuya hidrólisis ocurre a una velocidad entre moderada y rápida, para los atoles de cereales y harinas de caraotas hervidas o enlatadas, y lenta para los granos hervidos o enlatados, ya que la tasa de hidrólisis de estos últimos productos es más baja que el almidón de maíz de referencia. Es importante señalar que la tasa de amilólisis no es el mejor índice predictivo del índice glicémico en el caso de las leguminosas, y de allí que se ha desarrollado un método de digestión en tubos de diálisis, basado en la masticación, como procedimiento de desintegración de las semillas cocidas (Granfeldt y col., 1992). Con este método se estudió

el efecto del procesamiento de las caraotas sobre el índice glicémico estimado in vitro (Ige), a partir de la evaluación del Índice de Hidrólisis (IH).

Los resultados de estos ensayos (Figura 9, Tabla XII), indicaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las caraotas hervidas (IH=35) y las caraotas enlatada (IH=23). Sin embargo, la muestra que mostró mayor IH fue la harina de caraotas hervidas, (IH=68) (Tabla XII). Este sistema de digestión/diálisis (Granfeldt y col., 1992), permite incluir en el comportamiento global de digestión simulando el efecto que sobre la difusión intestinal ejercen los polisacáridos viscosos que son componentes de la fibra dietética presente en el grano, y que constituye un factor que también afecta la biodisponibilidad del almidón (Leeds y col., 1979; Tinker y Schneeman, 1989), así como también lo hacen el tipo y tamaño de las partículas presentes en la mezcla de digestión.

Las diferencias significativas ($p < 0,05$) en velocidad de digestión del almidón de las caraotas, expresada como IH se traducen por supuesto en la magnitud del Índice Glicémico estimado in vitro (Tabla XII), siendo las semillas enlatadas los que exhibieron la menor respuesta. En términos globales, estos resultados refuerzan la idea, ya mencionada, de que el almidón de las leguminosas es de digestión más lenta que el de los cereales, representados aquí estos últimos por el almidón presente en el pan de trigo, empleado como referencia. Este comportamiento, como se discutió anteriormente, se debe a una serie de factores, a los que se suman en este modelo experimental, los posibles efectos de aumento de viscosidad causados por las fibras solubles del grano, así como la limitada accesibilidad física del almidón incluido en partículas de tejido botánico parcialmente desintegrado y sus células intactas (Tovar y col., 1992; Björck y col., 1994).

Sin embargo, el comportamiento de los granos enlatados en el sistema de masticación/diálisis luce incongruente con lo discutido para los ensayos de α -amilólisis, ya que aquí la preparación hervida fue más rápidamente digerida que su contraparte

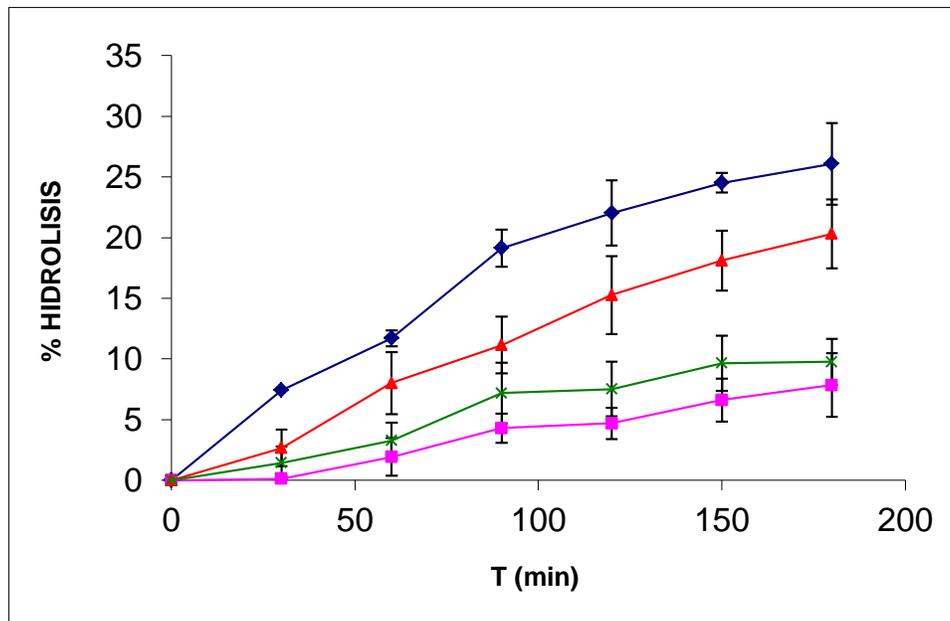


Figura 9. Curva de hidrólisis en un sistema basado en masticación/diálisis del almidón presente en caraotas procesadas. Valores promedio de 6 réplicas por muestra. Las barras verticales representan el margen de desviación estandar en los datos. Pan blanco♦, Caraotas enlatadas■, Caraotas hervidas*, Harina de caraotas hervidas▲.

**TABLA XII. EFECTO DEL PROCESAMIENTO DE LAS CARAOTAS NEGRAS
SOBRE EL ÍNDICE DE HIDRÓLISIS Y EL ÍNDICE GLICÉMICO
ESTIMADO.**

MUESTRA	ÍNDICE DE HIDRÓLISIS (IH)* (%)	ÍNDICE GLICÉMICO (IGe)** (%)
PAN DE TRIGO	100 ^a	94
CARAOTAS ENLATADAS	23 ± 0,12 ^b	28
CARAOTAS HERVIDAS	35 ± 0,12 ^c	39
HARINA CARAOTAS HERVIDAS	68 ± 0,07 ^d	67

- Promedios ± DE. Los valores con diferentes letras son estadísticamente diferentes (P<0,05) n=6.

** Valores calculados en base al IH según la ecuación empírica $IGe = 0,862 \times (IH) + 8.198$ (Granfeldt, 1994).

autoclavada/enlatada. De hecho, las observaciones de microscopía óptica (Figs. 7 – 8) permitirían esperar mayor IH e IGe para los granos enlatados, dada la menor integridad física aparente de las paredes de sus células cotiledóneas.

Por esto, se efectuó un ensayo adicional para tratar de obtener información sobre la posible influencia de diferencias potenciales en viscosidad de las preparaciones hervidas y enlatadas, factor que podría ayudar a entender la paradoja planteada. Dicho ensayo consistió en evaluar la tasa de diálisis del colorante rojo de metilo, adicionando a la mezcla de digestión en el interior de la bolsa de diálisis. Según puede apreciarse en la figura 10, no existe diferencia apreciable, al menos en las etapas iniciales del proceso (hasta 3 h), en la velocidad de salida del colorante a partir de las dos preparaciones de granos, lo que puede considerarse una evidencia indirecta de la similitud en las propiedades de viscosidad de estos materiales. Por lo tanto, debe destacarse la hipótesis propuesta. Hasta el presente, no se tiene una explicación plausible para el fenómeno en discusión. No obstante, habiéndose utilizado aquí el mismo lote de granos para obtener ambos tipos de preparaciones, condición no garantizada en estudios previos (Traianedes y col., 1986; Wolever y col., 1987), la confiabilidad de los presentes datos puede considerarse elevada.

La información encontrada en la literatura sobre este problema (Traianedes y col., 1986; Wolever y col., 1987; Tovar y col., 1992) sugiere que las leguminosas sometidas a autoclave y/o enlatado se digieren más rápidamente que las hervidas, posiblemente debido a que la cocción a presión rompe más fácilmente las paredes celulares, quedando más disponible el almidón a las enzimas y, por tanto, inducen una mayor respuesta glicémica. Es evidente que, a la luz de los datos aquí presentados, el problema debe ser investigado en mayor profundidad. Por otra parte, el IH y el IGe tanto de las caraotas enlatadas como de las hervidas es indiscutiblemente bajo, lo cual concuerda con las propiedades "lentas" del presente almidón en leguminosas (Jenkins y col., 1980; Brand y col., 1990; Tovar y col., 1992).

En este trabajo, el menor IGe encontrado fue el de las caraotas enlatadas, seguida por las caraotas hervidas, y el mayor fue el de la harina de caraotas hervidas. Los valores

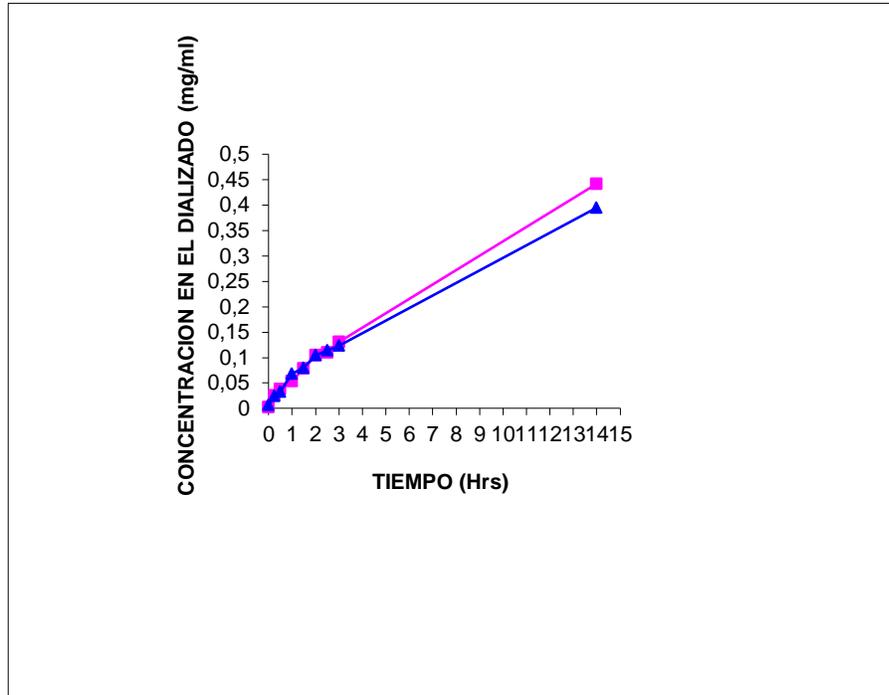


Figura 10. Difusión del colorante rojo de metilo en las condiciones del ensayo de evaluación del índice de hidrólisis (IH). Caraotas enlatadas■, Caraotas hervidas▲.

absolutos son menores que los reportados por Wolever y col. (1986) para caraotas rojas enlatadas, caraotas cocidas secas y otras leguminosas; sin embargo, la harina de caraotas hervidas estudiada en este trabajo tuvo un Ige cercano al de las caraotas blancas estudiadas por dichos autores. Es un hecho aceptado en la literatura que la tasa de digestión del almidón de las leguminosas, y por lo tanto la concentración de glucosa en el torrente sanguíneo, es baja después de la ingestión de este tipo de granos, resultando en bajas respuestas glicémicas e insulinémicas postprandiales, en comparación con granos de cereales o papas (Jenkins y col., 1982, 1988; Tovar y col., 1992b). Sumado a esto, como ya se mencionó, las leguminosas contienen altas cantidades de fibra dietaría, integrantes de paredes celulares con alta resistencia a la desintegración durante la cocción (Tovar y col., 1992a; Würsch y col., 1986). Pese a esto, causa sorpresa que el efecto del procesamiento sobre la digestibilidad del almidón de los granos, siga siendo escasamente estudiado (Bravo y col., 1998).

En este trabajo, los resultados obtenidos para IH de las caraotas hervidas fueron menores a los reportados por Bravo y col. (1998) para otras leguminosas (Vigna mungo L.; Vigna aconitifolia Jacq. Marechal; Macrotyloma uniflorum Lam. Verdc.; Previously Dolichos biflorus) y mayores a los reportados por Velasco y col. para caraotas negras (1997). Dichos autores encontraron IGe más bajo en este último estudio.

Es un hecho, sin embargo, que existen diferencias en el comportamiento de digestión in vitro de los granos enlatados y hervidos y dicha diferencia depende del procesamiento empleando para la evaluación del índice de digestión. En este sentido, la presente investigación suministra información interesante que proporciona elementos para incentivar nuevos estudios.

5.- ALMIDÓN RESISTENTE TIPO III EN DIVERSAS LEGUMINOSAS COCIDAS.

La fibra dietética incluye polisacáridos no digeribles, oligosacáridos resistentes y lignina, y puede ser clasificada como soluble e insoluble (Cho y Prosky, 1999). Esta última

fracción suele llevar consigo a una porción del almidón no digerible o resistente: las porciones no digeribles debidas a la retrogradación (AR tipo III) (Tovar, 1994). Así, en este trabajo se utilizó el método para cuantificar el almidón resistente tipo III, basándose en el análisis de las porciones de α -glucanos que quedan asociadas al residuo indigerible insoluble de los alimentos, o método de Lund (Tovar, 2000). Este método fue aplicado a diversas preparaciones de leguminosas consumidas en Venezuela, cocidas de acuerdo a la costumbre tradicional, es decir, hervidas hasta alcanzar una textura suficientemente suave como para su consumo (Herrera y col., 1998).

Tales preparaciones de leguminosas fueron previamente estudiadas en el Instituto Nacional de Nutrición, en un esfuerzo por mejorar el conocimiento sobre la composición de fibra dietética de productos consumidos por nuestra población (Herrera y col., 1998). Al determinarse aquí el tenor de almidón resistente tipo III, y conociendo el valor de fibra dietética aparente reportado por Herrera y col. (1998), se puede estimar por diferencia el contenido de material no digerible distinto a α -glucanos, lo cual corresponde a la definición más estricta de fibra dietética (Cho y Prosky, 1999).

Al disponer de valores de AR tipo III en estas preparaciones de leguminosas, se torna interesante establecer el contenido de fibra dietética real de los mismos (fibra dietética “corregida”), es decir, aquel que se refiere exclusivamente a los polisacáridos no amiláceos y la lignina (Cho y Prosky, 1999). Este cálculo es todavía más relevante si consideramos que las muestras aquí analizadas para AR son las mismas que se utilizaron en la evaluación de fibra dietética realizada por el Instituto Nacional de Nutrición (Herrera y col., 1998).

En la tabla XIII se presenta el contenido de almidón resistente tipo III en las distintas leguminosas tal y como se analizaron, es decir, harinas obtenidas por deshidratación de los granos cocidos. Para fines comparativos, estos valores se transformaron a la base de cálculo correspondiente a las semillas recién cocidas (tal y como se consumen) (Tabla XIV).

**TABLA XIII. CONTENIDO DE ALMIDÓN RESISTENTE TIPO III EN
LEGUMINOSAS COCIDAS Y DESHIDRATADAS.**

MUESTRAS	ALMIDÓN RESISTENTE (%) MUESTRA COCIDA Y DESHIDRATADA			HUMEDAD
	VALOR PROMEDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	
ARVEJAS AMARILLAS C/CASCARA	3,1	3,0	3,3	14,6
ARVEJAS AMARILLAS S/CASCARA	4,2	3,9	4,4	12,7
ARVEJAS VERDES C/CASCARA	6,5	6,5	6,5	10,4
ARVEJAS VERDES S/CASCARA	4,5	4,2	4,8	13,6
CARAOTAS BLANCAS	5,6	5,0	6,1	15,7
CARAOTAS NEGRAS	5,2	4,9	5,4	12,9
CARAOTAS ROJAS	5,8	5,7	5,9	13
CARAOTAS ROSADAS	4,6	4,2	5,1	9,8
FRIJOL BLANCO	3,0	2,9	3,0	11,3
FRIJOL ROJO	2,6	2,2	3,0	12,1
GARBANZOS	5,7	4,9	6,5	11,1
LENTEJAS	3,1	3,1	3,1	12,2
QUINCHON- CHO	2,8	2,6	3,0	14,2

Los valores son el promedio de al menos 2 determinaciones y se señala el valor mínimo y el valor máximo.

**TABLA XIV. CONTENIDO DE ALMIDÓN RESISTENTE TIPO III EN
LEGUMINOSAS RECIEN COCIDAS.¹**

MUESTRAS	ALMIDON RESISTENTE (%) MUESTRA RECIEN COCIDA			HUMEDAD
	VALOR PROMEDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	
ARVEJAS AMARILLAS C/CASCARA	1,0	1,0	1,0	72,0
ARVEJAS AMARILLAS S/CASCARA	1,7	1,6	1,7	65,0
ARVEJAS VERDES C/CASCARA	2,1	2,1	2,1	71,5
ARVEJAS VERDES S/CASCARA	1,8	1,7	1,9	65,0
CARAOTAS BLANCAS	1,8	1,6	2,0	70,9
CARAOTAS NEGRAS	1,8	1,7	1,9	69,2
CARAOTAS ROJAS	2,1	2,1	2,1	68,4
CARAOTAS ROSADAS	1,6	1,5	1,8	69,0
FRIJOL BLANCO	1,2	1,2	1,2	63,2
FRIJOL ROJO	0,9	0,8	1,1	69,2
GARBANZOS	2,2	1,9	2,5	64,8
LENTEJAS	1,2	1,1	1,2	67,3
QUINCHON- CHO	1,0	1,0	1,0	67,2

Los valores son el promedio de al menos 2 determinaciones, y se señala el valor mínimo y el máximo obtenidos.

¹ Tal y como se consumen.

En primer lugar, llama la atención el contenido relativamente alto de AR₃ en todas las preparaciones, aún expresado el valor en base fresca del material (Tabla XIV). Estos valores son apreciablemente mayores a los encontrados típicamente en preparaciones frescas de cereales y otros productos amiláceos. (Tovar y Velasco, 1995). Este hecho concuerda con la alta tendencia a producir fracciones indigeribles por retrogradación que poseen las leguminosas, lo que se debe en buena parte a la relativa abundancia de amilosa en estos almidones (Tovar y col., 1990; Tovar, 1995a).

El mayor contenido de almidón resistente para muestras tal y como se consumen se encontró en los garbanzos (2,20%) y el menor valor encontrado fue el del frijol rojo, con un 0,91%. Esto es muy importante ya que a nivel nacional las leguminosas más consumidas son precisamente las caraotas y los frijoles, siendo las caraotas también predilectas en América Latina (Herrera y col., 1998; F.A.O., 1998). Las caraotas en general, a excepción de las rojas, presentaron cantidades de almidón resistente muy parecidas y, por otra parte, las arvejas verdes con cáscara mostraron mayor cantidad de almidón resistente que aquellas descascaradas. Caso contrario ocurrió con las arvejas amarillas (Tabla XIV).

En las muestras cocidas y deshidratadas (Tabla XIII) el mayor contenido de almidón resistente fue encontrado en las arvejas verdes con cáscara (6,47%), seguida de las caraotas rojas (5,84%) y los garbanzos (5,71%), mientras que el tenor más bajo se registró el frijol rojo, con 2,59%, y en el frijol blanco (2,96%). El contenido de almidón resistente fue parecido en las diferentes caraotas estudiadas. Las arvejas verdes con cáscara tuvieron mayor cantidad que las arvejas verdes sin cascara, ocurriendo lo contrario con las arvejas amarillas (Tabla XIII).

En el estudio de Velasco (1995) los valores reportados de almidón resistente tipo III en caraotas negras y frijoles son cercanos a los encontrados en este trabajo, mientras que Tovar y col. (1992), reportaron menores valores de almidón resistente en caraotas rojas. Estas aparentes discrepancias reiteran la variabilidad en el tenor de AR tipo III en las leguminosas, hecho altamente dependiente de las condiciones particulares del proceso térmico utilizado en cada caso (Tovar, 1995a).

El contenido de fibra dietética insoluble “corregida” mayor se registró en el frijol rojo (21,1 %), seguido por el quinchoncho (17,9%) y las caraotas negras (17,5%), mientras que el menor fue el de las arvejas amarillas descascaradas (Tabla XV). Tanto las arvejas amarillas como las verdes completas mostraron mayor contenido de fibra dietética “corregida” que los mismos granos sin cáscara. Así mismo, los valores de fibra dietética de las diversas caraotas resultaron similares entre sí, a excepción de las caraotas negras que destacaron con un tenor cercano al 26% (b.s) (Tabla XV). Por otra parte, los valores de la tabla XV pueden compararse con los de otros estudios, como el de Englyst y col. (1996b), donde se encontraron valores más bajos de fibra dietética insoluble que los de algunas de las leguminosas estudiadas aquí.

Debe señalarse que si bien la tendencia de los valores de fibra dietética corregida es bastante similar a la de los datos originales, el tenor absoluto disminuyó apreciablemente en todos los casos, como consecuencia de la no consideración del AR_3 (Tabla XV). La corrección de los valores de fibra dietética insoluble de las leguminosas por AR_3 se traduce en un descenso entre 2 y 8% del valor calculado sin restar el tenor de almidón indigerible del grano. Dichos datos corregidos son, de acuerdo con escuela tradicional (Englyst y col., 1996b), los más representativos del contenido real de fibra dietética en nuestras leguminosas.

TABLA XV. CONTENIDO DE FIBRA DIETÉTICA INSOLUBLE (FDI), ALMIDÓN RESISTENTE (AR₃), Y FIBRA DIETÉTICA INSOLUBLE CORREGIDA (FDC) EN LEGUMINOSAS COCIDAS Y DESHIDRATADAS.

MUESTRAS	FDI MEDIDA ENZIMATICAMENTE. *	FDI MEDIDA ENZIMATICAMENTE. *	ALMIDÓN RESISTENTE. ***	ALMIDÓN RESISTENTE.***	FDC **	FDC **
	MUESTRAS COCIDAS Y DESHIDRATADAS	BASE SECA	MUESTRAS COCIDAS Y DESHIDRATADAS	BASE SECA	MUESTRAS COCIDAS Y DESHIDRATADAS	BASE SECA
ARVEJA AMARILLA CON CASCARA	16,6	19,4	3,1	3,7	13,5	15,8
ARVEJA AMARILLA SIN CASCARA	14,3	16,4	4,2	4,8	10,2	11,6
ARVEJA VERDE CON CASCARA	17,2	19,2	6,5	7,2	10,7	12,0
ARVEJA VERDE SIN CASCARA	14,8	17,1	4,5	5,2	10,3	11,9
CARAOTAS BLANCAS	18,4	21,8	5,6	6,6	12,8	15,2
CARAOTAS NEGRAS	22,6	26,0	5,2	5,9	17,5	20,0
CARAOTAS ROJAS	19,0	21,8	5,8	6,7	13,2	15,1
CARAOTAS ROSADAS	20,1	22,3	4,6	5,1	15,5	17,2
FRIJOL BLANCO	16,1	18,2	3,0	3,3	13,1	14,8
FRIJOL ROJO	23,7	27,0	2,6	3,0	21,1	24,0
GARBANZOS	18,1	20,4	5,7	6,4	12,4	13,9
LENTEJAS	16,7	19,0	3,1	3,5	13,6	15,5
QUINCHONCHO	20,7	24,1	2,8	3,3	17,9	20,9

*LOS VALORES CONTENIDOS DE FIBRA DIETETICA MEDIDOS ENZIMATICAMENTE FUERON TOMADOS DEL TRABAJO DE HERRERA Y COL., 1998.

**FDC = FDI - AR.

***VER TABLA XIV.

VII.-CONCLUSIONES

- 1.- Existen diferencias en el tenor de almidón disponible entre las harinas crudas de los cereales, reflejando las características de la materia botánica que origina cada producto.
- 2.- La preparación de atoles no produjo cambios significativos en el tenor de almidón disponible, con excepción del atol de fororo.
- 3.- Los contenidos de almidón disponible y total de las caraotas negras no variaron significativamente al comparar los tratamientos de cocción en tacho abierto y enlatado.
- 4.- El contenido de almidón resistente en los atoles de cereales y de las preparaciones de caraotas negras varió significativamente, tanto entre muestras como dependiendo del método analítico empleado.
- 5.- Se confirma que el método de Goñi da valores más altos que los valores de Saura-Calixto, ya que determina fracciones retrogradadas y fracciones nativas.
- 6.- Se detectaron cantidades bajas pero significativas de AR₃ (retrogradado) en todos los atoles de cereales y preparaciones de caraotas.
- 7.- Los cereales estudiados presentan contenidos moderados de AR, menores a los asociados a las leguminosas.
- 8.- Existen diferencias significativas entre el tenor de almidón resistente de la harina de caraotas cruda y las de granos cocidos, lo que sugiere la generación de fracciones de almidón retrogradado durante la cocción (AR₃).
- 9.- La tasa de amilólisis de los cereales estudiados resultó mayor que la determinada para las caraotas.

10.- Las caraotas enteras tuvieron una menor tasa de hidrólisis que las harinas correspondientes, por la limitada accesibilidad física del almidón en partículas de tejido botánico parcialmente desintegrado y sus paredes celulares intactas.

11.- Las harinas homogeneizadas mostraron mayor tasa de amilólisis que las no tratadas, lo que sugiere el deterioro por efecto del tratamiento mecánico de la barrera física, constituida por las paredes de las células que contienen al almidón.

12.- Las observaciones por microscopía óptica evidenciaron que el enlatado de las caraotas se tradujo en un mayor deterioro de las células que contienen al almidón.

13.- Existen diferencias en el I.H. e IGe en caraotas hervidas y caraotas enlatadas. Sin embargo, la tendencia observada para éstos índices es contraria a la de los resultados de la tasa de amilólisis.

14.- Se confirmó el bajo IH e Ige de los granos de leguminosas.

15.- Existe variabilidad del tenor de AR_3 de las leguminosas cocidas más comúnmente consumidos en Venezuela.

16.- La corrección de los valores de FD_I de las leguminosas por AR_3 se traduce en un descenso entre 2 y 8% del valor calculado sin descartar el tenor de almidón indigerible del grano.

VIII.- RECOMENDACIONES

1.- La discrepancia entre los resultados obtenidos para las caraotas hervidas y enlatadas al aplicar el sistema de masticación/diálisis o la evaluación directa de la velocidad de amilólisis, pone de manifiesto la necesidad de ahondar en el estudio de la respuesta metabólica (glicemia e insulinemia) a la ingestión de granos procesados por diversos métodos.

2.- La presente investigación suministra información interesante del índice glicémico estimado in vitro de las caraotas negras, sin embargo es conveniente evaluar la respuesta glicémica in vivo para confirmar las presentes observaciones.

IX.-ANEXO

ANEXO A. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS CEREALES Y LEGUMINOSAS.

MUESTRA	HUMEDAD (g/100g)	n
CEREALES		
ATOL DE AVENA	92,4 ± 2,38	12
ATOL DE ARROZ	91,3 ± 2,80	10
ATOL DE FORORO	92,2 ± 0,97	16
ATOL DE GOFIO	93,3 ± 0,39	12
HARINA DE FORORO	8,5 ± 0,56	3
HARINA DE GOFIO	9,5 ± 0,52	3
HARINA DE AVENA	7,8 ± 0,04	3
HARINA DE ARROZ	10,4 ± 0,02	3
LEGUMINOSAS		
CARAOTAS ENLATADAS	69,6 ± 4,48	16
CARAOTAS HERVIDAS	63,1 ± 4,01	10
HARINA DE CARAOTAS CRUDAS	10,0 ± 1,20	8
HARINA DE CARAOTAS ENLATADAS	6,5 ± 0,32	8
HARINA CARAOTA HERVIDAS	10,6 ± 0,60	6
PATRONES		
CORN FLAKES	6,4 ± 0,64	6
ALMIDÓN DE MAÍZ	8,3 ± 6,90	12
ALMIDÓN DE PAPA	12,6 ± 1,05	38

Promedio ± DE.

X.- BIBLIOGRAFIA.

- **Abia, R.; Buchanan, C. J.; Saura-Calixto, F.; Eastwood, M. A.** (1993) Structural changes during the retrogradation of legume starch modify the in vitro fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1856-1863.
- **Acquistucci, R.; Fornal, J.** (1997) Italian buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch: physicochemical and functional characterization and “in vitro” digestibility. *Nahrung.* 41: 281-284.
- **Akerberg, A.K.E.; Liljeberg, H.G.M.; Björck, I.M.E.** (1998a) Effects of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices. *J. Cereal Sci.* 28: 71-80.
- **Akerberg, A.K.E.; Liljeberg, H.G.M.; Granfeldt, Y.E., Drews, A.W.; Björck, I.M.E.** (1998b) An in vitro method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. *J. Nutr.* 128: 651-660.
- **Almeida, N. G.** (1997) *Dieta y salud. Publicaciones Kellogg's. Vol 7. No.1. 1er. Sem.*
- **Al-Othman, A.A.; Al-Shagrawi, R.A.; Hewedy, F.M.; Hamdi, M.M.** (1998) Plasma total, lipoprotein cholesterol, organs cholesterol and growth performance in rats fed dietary gum arabic. *Food Chem.* 62: 69-72.
- **Annison, G. y Topping, D.L.** (1994) Nutritional role of resistant starch: chemical structure and physiological function. *A. Rev. Nutr.* 14: 297-230.
- **Antony, U.; Chandra, T.S.** (1998) Antinutritional reduction and enhancement in protein, starch, and mineral availability in fermented flour of finger millet (*Eleusine caracana*). *J. Agric. Food Chem.* 46: 2578-2582.
- **A.O.A.C.** (1990) Association of Official Analytical Chemistry. *Official Methods of Analysis.* 15 th ed. Washington, D.C. The Association.
- **Asp, N.G.** (1989) Bioavailability of food carbohydrates as related to analytical methods. En: *Nutrient availability: Chemical and biological aspects.* D.A.T. Sougthate, I. Johnson, G.R. Ferwick, eds. Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp.301-309.

- **Asp, N.G.** (1993) Nutritional importance and clasification of food carbohydrates. En: Plant Polymeric Carbohydrates. Meuser, F.; Manners, D.J. y Seibel, W. (eds) Royal Society of Chemistry. Of Chem. Cambrige. pp. 121-126.
- **Asp, N.G.** (1995) Classification and methodology of food carbohydrates as related to nutritional effects. *Am. J. Clin. Nutr.* 61(suppl): 930S- 937S.
- **Asp, N.G.** (1996) Dietary carbohidrates: clasification by chemistry and physiology. *Food Chem.* 57: pp. 9-14.
- **Asp, N.G. y Tovar, J.** (1990) Determination of resistant starch. Monografía interna, Department of Applied Nutrition and Food Chemistry. Chemical Center. University of Lund. pp.1,2.
- **Badui, S.** (1981) Química de Alimentos. 1era. Edición. Editorial Alhambra Mexicana S.A. México. pp. 80-90.
- **Badui, S.** (1997) Química de Alimentos. 1era. Edición. Editorial Alhambra Mexicana S.A. Quinta reimpresión. México. pp. 8-104.
- **Barberá, R.; Farré, R.** (1992) Biodisponibilidad de los elementos traza. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.* 32: 381-399.
- **Behall, K.M.; Scholfield, D.J.; Yuhaniak, I.; Canary, J.** (1989) Diets containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 337-334.
- **Bender, A.E.** (1989) Nutritional significance of bioavailability. En: *Nutrient Availability: Chemical and Biological Aspects.* D.A.T. Southgate, I.T. Johnson, G.R. Fenwick, eds. Royal Soc. Chem. Cambridge. pp. 3-9.
- **Berghofer, E.** (1997) Properties and importance of starch in human nutrition. *Ernaehrung.* 21: 253-258.
- **Berry, C.S.** (1986) Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylytic enzymes during the determination of dietary fibre. *J. Cereal. Sci.* 4: 301-314.
- **Berry, C.S.; Panson, K.J.; Miles, M.J.; Morris, V.J.; Russel, P.L.** (1988) Physical-chemical characterization of resistant starch from wheat. *J. Cereal Sci.* 8: 203.
- **Biliaderis, C.G.** (1991) The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69: 60-78.

- **Biliaderis, C.G.** (1992) Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Tech.* 46: pp. 98-109.
- **Binita, R.; Kehetarpaul, N.** (1997) Probiotic Fermentation: effect on antinutrients and digestibility of starch and protein of indigenously developed food mixture. *Nutr. Health.* 11: 139-147.
- **Björck, I.** (1993) The glycaemic response after starchy food consumption as affected by choice of raw material and processing. En: *Plant polymeric carbohydrates*. Meuser, F; Mammers, D.J.; Seibel, W. (eds) Royal Soc. Chem. Cambridge. pp.127-136.
- **Björck, I. y Asp, N.G.** (1994) Controlling the nutritional properties of starch in foods. A challenge to the food Industry. *Trends Food Sci. Tech.* 3: 213-218.
- **Björck, I.; Nyman, M.; Pederson, P; Siljeström, M.; Asp, N.G.; Eggum, B. O.** (1987) Formation of enzyme resistant starch during autoclaving of wheat starch: studies in vitro y in vivo. *J. Cereal Sci.* 6:159-172.
- **Björck, I.; Granfeldt, Y; Lijeberg, H.; Tovar, J.; Asp, N.G.** (1994) Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 699S-705S.
- **Blanshard, J.M.V.** (1986) The significance of the structure and function of the starch granule in baked products. En *Chem. And Phys. Of Baking*, J.M.V. Blanshard, P.J. Frazier, and T. Galliard, Royal Soc. Chem. London. pp.1-13.
- **Blanshard, J.M.V.** (1987) Studies on the biochemical morphology of maize starch. *Royal Soc. Ind. Res. Bangladesh J. Sci. Ind. Res.* 22: 81-88.
- **BNF** (The British Nutrition Foundation's Task Force) (1990) Complex carbohydrates in foods. Chapman and Hill, London. Chapters. pp. 3-21, 26-30.
- **Bornet, F.R.J.** (1993) Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch. *Carbohydr polymers.* 21: 195-203.
- **Bornet, F.R.J.; Castagliola, D.; Rizkalla, S.W.; Blayo, A.; Fontavieille, A.M.; Haart, M.J.; Letanoux, M.; Tchobroutsky, G.; Slama, G.** (1987) Insulinemic and glycemic indexes of six starch-rich foods taken alone and mixed in a meal by type 2 diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 45: 588-595.
- **Bornet, F.R.J.; Fontvieille, A-M; Rizkalla, S.W.; Colonna, P.; Blayo, A.; Mercier, C.; Slama, G** (1989) Insulin and glycemic responses in healthy humans to native

starches processed in different ways: correlation with in vitro α -amylase hydrolysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 50: 315-323.

- **Botham, R.L.; Cains, P.; Faulks, R.M.; Livesey, G.; Morris, V.S.; Noel, T.R.; Ring, S.G.** (1997) Physicochemical characterization of barley carbohydrates resistant to digestion in a human ileostomate. *Cereal Chem.* 74: 29-33.
- **Brand, J.C.; Nicholson, P.L.; Thourburn, A.W.; Truswell, A.S.** (1985) Food processing and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 42: 1192-1196.
- **Brand, J.C.; Snow, P.; Nabhan, G.P.; Truswell, A.S.** (1990) Plasma glucose and insulin responses to traditional Pima Indian meals. *Am. J. Clin Nutr.* 51: 416-420.
- **Braverman, R.** (1980) *Introducción a la bioquímica de los alimentos.* Omega. Barcelona.
- **Bravo L.; Siddhuraju, P.; Saura-Calixto, F.** (1998) Effect of various processing methods on the “in vitro” starch digestibility and resistant starch content of indian pulses. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4667-4674.
- **Buleon, A.; Gerard, C.; Riekkel, C.; Vuong, R.; Chanzy H.** (1998) Details of the crystalline ultrastructure of C-starch granules revealed by synchrotron microfocus mapping. *Macromolecules.* 31: 6605-6610.
- **Cairns, P., Merris V.J.; Botham, R.L.; Ring, S.G.** (1996) Physicochemical studies on resistant starch “in vitro” and “in vivo”. *Br. J. Nutr.* 75:749-755.
- **Camire, M.E. y Flint, S.T.** (1991) Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal and potato peels. *Cereal Chem.* 68: 645-647.
- **Carmona, A. y Liuzzi, J.P.** (1998) Biodisponibilidad de nutrientes: fácil de definir, difícil de evaluar. *An. Venez. Nutr. Fundación Cavendes. Venezuela.* 11: 66-78.
- **Caygill, C.P.J.** (1997) Dietary fibre and colorectal cancer. *Nutr. Disease- Update.* 1: 14-17.
- **Champ, M.M.J.** (1996) Resistant starch: analytical and physiological aspects. *Symposium on the Nutritional Consequences of Complex Carbohydrates: relevance of values obtained in vitro. Proceeding of the Nutrition Society, France, Sban.* 55: 863-880.

- **Champ, M. y Faisant, N.** (1996) Resistant starch: analytical and physiological aspects. Bol. SBCTA, 30. (1): 37-43.
- **Champ, M.; Barry, J.L.; Bounet, C.; Berot, S.; Delort-Laval, J.** (1990) The role of cell wall polysaccharides and alpha-galactosides in the flatus induced by the consumption of a legume seed (Lupin) in the rat. Sci. Aliments. 10: 317-323.
- **Champ, M.; Berot, S.; Kozłowski, F.; Lecannu, G.; Delort-Laval, J.** (1991) Volatile fatty acid production from lupin meal in the caecum of the rat: the role of cell wall polysaccharides and alpha-galactosides. Anim. Food Sci. Tech. 32: 177-183.
- **Chau, C.F. y Cheung, P.C.K.** (1997) Effect various processing methods on antinutrients and “in vitro” digestibility of protein and starch of two chinese indigenous legume seeds. J. Agric. Food Chem. 45: 4773-4776.
- **Cheung, P.C.K. y Chi-Fai-Chau.** (1998) Changes in the dietary fiber (resistant starch and non starch polysaccharides) content of cooked flours prepared from three chinese indigenous legume seeds. J. Agric. Food Chem. 46: 262-265.
- **Chilukuri, A. y Swanson, B.G.** (1991) Microstructure of adzukibean (*Vigna angularis* cv. Express). Food Structure. 10: 131-135.
- **Cho, S.S.; y Prosky, L.** (1999) Complex carbohydrates Definition and analysis. En: Complex Carbohydrates in Foods. S.S. Cho, L. Prosky, M. Dreher. (Eds.) Marcel Dekker Inc. New York. pp. 131-143.
- **Chonchol, N. y Tovar, J.** (1989) Dietary fiber content and starch digestibility in cassava bread. Nutr. Rep. Int. 38: 437-443.
- **Chowdhury, S. y Puhia, D.** (1997) Nutrient and antinutrient composition of pearl millet grains as affected by milling and baking. Nahrung. 41: 105-107.
- **Clark, A.U.; Gidley, M.J.; Richardson, R.K.; Ross-Murphy, S.B.** (1989) Rheological Studies of aqueous amylose gels: the effect of chain length and concentration on gel modulus. Macromolecules. 22: 346-351.
- **Coenders, A.** (1996) Química culinaria. Estudio de lo que le sucede a los alimentos antes, durante y después de cocinados. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. pp. 1-99.
- **Colonna, P.; Tayed, J.; Mercier, C.** (1989) Extrusion cooking of starch and starchy products. En: Extrusion cooking. Mercier, C.; Linko, P. y Harper, J.M. eds. American Association of Cereal Chem. pp. 247-319.

- **Colonna, P.; Leloup, V.; Buleón, A.** (1992) Limiting factors of Starch Hydrolysis. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46(supp 2) S17-S32.
- **Comisión Coordinadora de Investigaciones en Alimentos y Nutrición. C.C.I.A.N.** (1986) Los cereales en el patrón alimentario del venezolano. Caracas. pp. 31-80.
- **Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)** (1982) Cereales – leguminosas productos derivados, muestreo. Ministerio de Fomento. Fondonorma. Impreso en COVENIN. Caracas. No. 612-82.
- **Craig, S.A.A. y Sark, J.R.** (1984) Molecular propeties of physically damaged sorghum starch granules. *J. Cereal Sci.* 2: 203-211.
- **Crapo, P.A.** (1985) Simple versus complex carbohydrate use in the diabetic diet. *Annu. Rev. Nutr.* 5: 95-114.
- **Croghan M.** (1997) New breakthroughs in resistant starch technology. En: *Food Ingredients in Europe. Conference proceedings.* pp. 76-78.
- **Cummings, J.H.; Englyst, H.N.; Wiggins, H.** (1986) The role of carbohydrates in lower gut funtion. *Nutr. Rev.* 44: 50-54.
- **Cummings, J.H.; Beatty, E.R., Kingman, S.M.; Singltam, S.A.; Englyst, H.N.** (1996) Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br. J. Nutr.* 75: 733-747.
- **Cummings, J.H.; Roberfroid M.B. and members of the Paris Carbohydrate Group; Andersson, H.; Barth, C.; Ferro-luzzi, A.; Ghos, Y.; Gibney M.; Hermosen, K.; James, W.P.T.; Kover O.; Lairon D.; Pascal, G.; Voragen A.G.S.** (1997) Review a new look at dietary carbohydrate: chemistry, physiology and health. *Eur. J. Clin. Nutr.* 51: 417-423.
- **Czarnecka, M.; Czarnecki, Z.; Nowak, J.; Roszyk, H.** (1998) Effect of lactic fermentation and extrusion of bean and pea seeds on nutritional and functional properties. *Nahrung.* 42: 7-11.
- **Dahlqvist, A. y Semenza, G.** (1985) Disaccharidases of small-intestinal mucosa. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 4: 857-867.
- **Delargy, H.J.; O’Sullivan, K.R.; Fletcher, R.J.; Blundell, J.F.** (1997) Effects of amount and type of dietary fibre (soluble and insoluble) on short term control of appetite. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 48: 67-77.

- **De Lumen, B.O.** (1990) Molecular approaches to improving the nutritional functional properties of plant seeds as food sources: developments and comments. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1779-1788.
- **Deshpande, S.S. y Damodaran, S.** (1990) Food legumes: Chemistry and Technology. In: *Advances in cereal Science and Technology*. Vol.10. Y. Pomeranz, ed. American Association of Cereal Chem., St. Paul. pp. 147-241.
- **Desrosier, N.W.** (1985) *Elementos de Tecnología de Alimentos*. Compañía Editorial Continental, S.A., 3ra ed. México, pp. 147-195.
- **Dunaif, G. y Schneeman, B.O.** (1981) The effect of dietary fiber on human pancreatic enzyme activity in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 1034-1035.
- **Dutta, S.D. y Hlasko, J.** (1985) Dietary fiber in pancreatic disease: effect of high fiber diet on fat malabsorption in pancreatic insufficiency and “in vitro” study of the interaction of dietary fiber with pancreatic enzymes. *Am. J. Clin. Nutr.* 41:517-525.
- **Edwards, C.A. y Rowland, I.R.** (1992) Dietary fibre a component of food. Eds. T.I. Shniejer ed. Springer Verlag. London. pp. 119-134.
- **Ekhard, E. y Filer, L.J.** (1997) Carbohidratos. En: *Conocimientos Actuales de Nutrición*. Internacional life Sciences Institute. Séptima edición. O.P.S, O.M.S. Washington, D.C. Publicación Científica. No. 565. pp. 37-46.
- **Ekwall, H.R.; Langkilde, A.M.; Asp, N.G.; Björck, I.M.E.; Anderson, H.** (1995) Digestibility of starch amount and composition of resistant starch recovered “in vivo” from ileostomists and “in vitro”. *Scand. J. Nutr.* 39: 145-150.
- **Eliasson, A.C.** (1988) Physical and chemical characteristics of legume starches. *Atlas Sci. Animal Plant Sci.* 1: 189-194.
- **Englyst, N.N. y Cummings, J.H.** (1987) Digestion of polysaccharides of potato in the intestine of man. *Am. J. Clin. Nutr.* 45: 423-431.
- **Englyst, H.N. y Cummings, J.H.** (1990) Non-starch polysaccharides (dietary fiber) and resistant starch. En: *New Developments in Dietary Fiber*. I Furda and J. Brine, eds. Plenum. Press. New York. pp. 205-225.
- **Englyst, H.N. y Hudson G.J.** (1996) The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chem.* 57: 15-21.

- **Englyst, H.N. y Macfaerlane, G.T.** (1986) Break down of resistant starch and readily digestive starch by human gut bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 37: 699-706.
- **Englyst, H.N.; Wiggins, H.S. ; Cummings, J.H** (1982) Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst.* 107: 307-318.
- **Englyst, H.N.; Kingman, S.M.; Cummings, J.H.** (1992) Classification and measurement of nutritionally important resistant starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: (suppl2) S33-S50.
- **Englyst, H.N.; Quigley, M.E.; Hudson, G.J.** (1995) Definition and measurement of dietary fibre. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49:(1Suppl) S48-S62.
- **Englyst, H.N.; Beenstra J.; Hudson G.J.** (1996a) Measurement of rapidly available glucos (RAG) in plant foods: a potential “in vitro” predictor of the glicemic response. *Br. J. Nutr.* 75: 327-337.
- **Englyst, B.H.; Kingman S.M.; Hudson G.J.; Cummings J.H.** (1996b) Measurement of resistant starch “in vitro” and “in vivo” *Br. J. Nutr.* 75: 749-755.
- **Erdman, J.W.** (1979) Oil seeds phytates: nutritional implications. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 56: 736-740.
- **Escarpa, A.; Gonzalez, M.C.** (1997a) Technology of resistant starch. *Food Sci. And Tech. Intern.* 3: 149- 161.
- **Escarpa, A.; Gonzalez, M.C.; Mañas E.; García-Diz, L.; Saura-Calixto, F.** (1996) Resistant Starch formation: standarization of a high pressure autoclave process. *J Agric. Food Chem.* 44: 924-928.
- **Escarpa, A.; Gonzalez, M.C.; Morales, M.O.; Saura-Calixto, F.** (1997b) An approach to the influence of nutrients and other food constituents on resistant starch formation. *Food Chem.* 60 (4) 527-532.
- **Euresta** (1993) European flair-concerted action on resistant starch. Newsletter IV, September. Human Nutrition Department, Wageningen, Agriculture University. Wageningen. The Netherlands. pp. 2.
- **Faisant, N.; Planchot, V.; Kozlowski, F.; Pacouret, M-P.; Colonna, P. y Champ. M.** (1995) Resistant starch determination adapted to products containing high level of resistant starch. *Sci. Alim.* 15: 83-89.

- **F.A.O.**(Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1982) Las leguminosas en la nutrición humana. Estudio de la F.A.O. Fascículo Alimentación y Nutrición, Roma, No.20. pp. 44-69.
- **F.A.O.** (1998) Hojas de balance de alimentos promedio 1994-1996. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 16-579.
- **Faulks, R.M. y Bailey, A.L.** (1990) Digestion of cooked starches from different food sources by porcine alpha-amylase. *Food Chem.* 46: 191-203.
- **Feinglos, M.N. y Bethel, M.A.** (1998) Treatment of type 2 diabetes mellitus. *Med. Clin. North Amer.* 82: 757-791.
- **Fenneman, O.** (1985) Chemical changes in food during processing-an overview. Chapter 1. In *Chemical Changes in Food During Processing*. Edit. Richardson Finley. AVI.IFT. New York.p. 1-13.
- **Fish, B.C. y Thompson, L.U.** (1991) Lectin-tannin interactions and their influence on pancreatic amylase activity and starch digestibility. *J. Agric. Food Chem.* 39: 727-731.
- **Friedman, M.** (1996) Nutritional value of proteins from different food sources. *J. Agric Food Chem.* 44:6-29.
- **Frontado, C.** (1982) Productividad y aspecto nutricional de granos y tubérculos, su importancia en la dieta del venezolano. Seminario de grado. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. U.C.V. pp. 17-19.
- **Fundación Cavendes** (1995) Venezuela entre el exceso y el déficit. V Simposio de nutrición. C.A. Ediciones Cavendes. Caracas. Venezuela. pp. 25-45.
- **Fundación Polar.** (1993) La agricultura componente básico del sistema alimentario venezolano. *Sistema Alimentario Venezolano*. 1era. Edición Caracas. pp. 87-100.
- **Gallant, D. J.; Bouchet, B.; Buleón, A.; Pérez, S.** (1992) Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46(suppl2): S3-S16
- **Gahlawat, P. y Sehgal, S.** (1998) Protein and starch digestibilities and mineral availability of products developed from potato, soy and corn flour. *Plant. Food Human Nutr.* 52: 151-160.

- **Gallaher, D y Schneeman, B.** (1997) Fibra Alimentaria. Conocimientos Actuales Sobre Nutrición. International life Science Institute. ILSI Press. Séptima Edición Publicación Científica No. 565. O.P.S. Cap.9. pp. 95-103.
- **Gallard, T. y Bowler, P.** (1987) Morphology and composition of starch. En starch: properties and potential, T. Galliard, ed. John Wiley and Sons, New York. pp. 55-78.
- **García, A.A.; Goñi, I.; Saura-Calixto, F.** (1998a) Resistant starch and potencial glycaemic index of raw and cooked legumes (lentils, chickpeas and beans). Z. Lebensm. Unt. Forsch. 206: 284-287.
- **García, A.A.; Saura-Calixto, F.; Delcour, J.A.** (1998b) Influence of botanical source and processing on formation of resistant starch type III. Cereal Chem. 75: 802-804.
- **García, O.** (1990) Fibra dietética y su relación con el cancer de colon. Seminario de Grado. Postgrado de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. UCV. Caracas. pp. 8-13.
- **García, O.** (1993) Estudio bioquímico y nutricional de los materiales indigeribles presentes en cuatro variedades de leguminosas de alto consumo en Venezuela. Trabajo de Grado. Postgrado de Ciencia y Tecnología de Alimentos. UCV. Caracas. pp. 5-8.
- **Gernat, C.; Radosta, S.; Damaschun, G.; Schierbaum, F.** (1990) Supramolecular structure of legume starches revealed by X-ray scattering. Starch/Särke. 42: 175-178.
- **Gibson, G.R. y Roberfroid, M.** (1995) Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. J. Nutr. 125: 1401-1412.
- **Gibson, G.R.; Beatty, E.R.; Wang, X.; Cummings, J.H.** (1995) Selective stimulation of bifidobacteria in the colon by oligofructose and inulin. Gastroenterol. 108: 975-982.
- **Goddard, M.S.; Young, G.; Marcus, R** (1984) The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. Am. J.Clin. Nutr. 39: 388-392.
- **Goñi, L.; García, A.; García-Diz, L.** (1995) Almidón resistente componente indigerible de la dieta alimentaria. Tecnol. Higiene Alim. Abril. pp. 31-34.
- **Goñi, L.; García-Diz, L.; Mañas, E. Y.; Saura-Calixto, F.** (1996) Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. Food Chem. 56: 445-449.
- **Granfeldt, Y.** (1994) Glucose and insulin response to arepas made from ordinary or high amylose corn flour. Tesis doctoral. Universidad of Lund, Suecia.

- **Granfeldt, Y. y Björck, I.** (1991) Glycemic response to starch in pasta: study of mechanisms of limited enzyme availability. *J. Cereal. Sci.* 14: 47-61.
- **Granfeldt, Y. y Björck, I.; Drews, A.; Tovar, J.** (1992) An “in vitro” procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: 649-660.
- **Gray, G.M.** (1992) Starch digestion and absorption in non-ruminants. *J. Nutr.*; 122: 172-177.
- **Guerra, M.** (1995) Digestibilidad de las proteínas de los cereales naturales y procesados. *Arch. Latinoam. Nutr.* 45: 320-324.
- **Haber, G.B.; Heaton, K.W.; Murphy, D.; Burroughs, L.F.** (1977) Depletion and disruption of dietary fiber: effect on satiety, plasma glucose, and serum insulin. *Lancet* ii: 679-682.
- **Hamberg, O., Rumessen, J.J.; Gudman-Hoyer, E.** (1989) Inhibition of starch absorption by dietary fibre. A comparative study of wheat bran, sugar-beet fibre, and pea-fibre. *Scand. J. Gastroenterol.* 24: 103-109.
- **Hansen, W.E. y Schulz, G.** (1982) The effect of dietary fiber on pancreatic amylase “in vitro”. *Hepagastroenterol.* 29: 157-160
- **Haralampu, S.G. y Gross, A.** (1998) Granular resistant starch and method of making. United States Patent.
- **Harper, N.A.; Rodwell, V.W.; Mayes, P.A.** (1978) *Manual de Química Fisiológica.* Editorial El Manual Moderno, S.A., Sexta Edición, México. pp. 277.
- **Hassan, I.A.C. y El tinay, A.H.** (1995) Effect of fermentation on tannin content and “in vitro” protein and starch digestibilities of two sorghum cultivars. *Food Chem.* 53: 149-151.
- **Heaton, K.W.; Marcus, S.N.; Emmett, M.P.; Botton, C.H.** (1988) Particle size of wheat, maize and oat test meals: effect on plasma glucose and insulin responses and on the rate of starch digestion “in vitro”. *Am. J. Clin. Nutr.* 47: 675-682.
- **Hermansen, K.; Rasmussen, O.; Arnfred, J.; Winther, E.; Schmitz, O.** (1986) Differential glycaemic effects of potato, rice and spaghetti in type I (insulin dependent) diabetic patients at constant insulinemia. *Diabetologia.* 29: 358-361.

- **Herrera, E.** (1997) Digestibilidad “in vitro” de almidones nativos y modificados de apio (*Arracacia xantorrhiza*), lenteja (*Lens culinaris*), Maiz (*zea mayz*) y sorgo (*Sorghum bicolor*). Trabajo especial de grado. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. UCV. Caracas.
- **Herrera, I.M.; González, E.P.; Romero, J.** (1998) Fibra dietética soluble, insoluble y total en leguminosas crudas y cocidas. Arch. Latinoamer. Nutr. 48: 179-182.
- **Hibi, Y.; Kitamura, S.; Kuge, T.** (1990) Effects of lipids on the retrogradation of cooked rice. Cereal. Chem. 67: 7-10.
- **Hidaka, H.; Eida, T.; Takizawa, T.; Tokunaga, T.; Tashiro, Y.** (1986) Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. Bifidobacteria microflora. 5: 37-50.
- **Holm, J. y Björck, I.** (1988) Effects of thermal processing on wheat starch: enzymic availability. J. Cereal Sci. 8: 261-268.
- **Holm, J. Björck, I.; Ostrowska S.; Eliasson, A.G.; Asp, N.G.; Larsson, K.; Lundquist, I.** (1983) Digestibility of amylose-lipid complexes “in vitro” and “in vivo”. Starck/Stärke. 35: 294-297.
- **Holm, J. Björck, I.; Asp, N.G.; Sjöberg, L.; Lundquist, I.** (1985) Starch availability “in vitro” and “in vivo” after flaking, steam cooking and popping of wheat. J. Cereal Sci. 3:193-194.
- **Holm, J. Björck, I.; Drews, A.; Asp, N.G.** (1986) A rapid method for the analysis of starch. Starch/Stärke. 38:224-226.
- **Holm, J.; Hagander, B.; Björck, I.; Eliasson, A.C.; Lundquist, I.** (1989) The effect of various thermal processes on the glicemic response to whole grain wheat products in humans and rats. J. Nutr. 119: 1631-1638.
- **Hoover, R. y Sosulski, F.W.** (1985) Studies on the functional characteristics and starch digestibility of starches from *Phaseolus vulgaris* Phenotypes. Starch/Stärke. 37: 397-403.
- **Hoover, R. y Sosulski, F.W.** (1991) Composition, structure, functionality and chemical modification of legume starches. A review. Can. J. Physiol. Pharmacol. 69: 79-92.
- **Hoseney, R.C.** (1986) Principals of cereal science and technology. American Association de Cereal Chemists. Minesota. U.S.A. pp. 33-303.

- **Hoseney, R.C.** (1991) Principios de la ciencia y tecnología de cereales. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. pp. 30-305.
- **Hostettler, F.; Borel, E.; Devel, H.** (1951) Uberdie reduction der 3,5-dinitrosalylsäuse durch zucker. *Helv. Chim. Acta* 34: 2131-2135.
- **Hylla, S.; Gostner, A.; Dusel, G.; Anger, H.; Bartram H.P.; Christl, S.U.; Kasper, H.; Sheppach, W.** (1998) Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: posible implications for cancer prevention. *Am. J. Clin. Nutr.* 67: 136-142.
- **Ikeda, K. y Kusano, T** (1983) “in vitro” inhibition of digestive enzymes by indigestible polysaccharides. *Cereal Chem.* 60: 260-263.
- **Imam, S.H.** (1989) A tightly bound M. 55000 polypeptide cornstarch associated with the amylose portion of the granule. *J. Cereal. Sci.* 9:231-236.
- **Imberty, A.; Buleon, A.; Tran, V.; Perez, S.** (1991) Recent advances in Knowledge of starch structure. *Starch/Stärke.* 43: 375-384.
- **I.N.N.; U.L.A.** (Instituto Nacional de Nutrición y Universidad de los Andes) (1998) Hojas de balance de alimentos 1996/1997. U.L.A. pp. 108-171.
- **Jaffé, W.G.** (1980) Hemaglutinins (Lectins). En: *Toxic Constituents Plant Eoodstuffs*. I.E. Liener, ed. Academic Press, New York. pp. 73-102
- **Jaffé, W.G.** (1986) Leguminosas para el consumo humano: ventajas y desventajas. *Rev. Fac. Agron.* 35: 87-95.
- **Jaffé, W.G.** (1987) Nuestros alimentos, ayer, hoy y mañana. Fondo Editorial. Caracas. Venezuela. pp. 65-68, 83-87.
- **Jaffé, W.G.** (1995a) Los cereales en la alimentación. *Arch. Latinoam. Nutr.* 45(suppl): 318.
- **Jaffé, W.G.** (1995b) Políticas de enriquecimiento de cereales en Venezuela. *Arch. Latinoam. Nutr.* 45(suppl): 319.
- **Jaffé, W.G.; Moreno, R; Walls, V.** (1973) Amylase inhibitors in legume seeds. *Nutr. Rep. Int.* 7: 169-174.
- **Jenkins, D.J.A.; Wolever, T.M.S.; Jenkins, A.L.** (1988) Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care.* 11: 149-159.

- **Jenkins, D.J.A.; Goff, D.V.; Leeds, A.R.; Alberti, K.G.M.N.; Wolever, T.M.S.; Gassull, M.A.; Hockaday, T.D.** (1976) Unabsorbable carbohydrates and diabetes: decreased post-prandial hyperglycaemia. *The lancet* ii:172-175.
- **Jenkins, D.J.A.; Wolever, T.M.S.; Taylor, R.H., Barker, H. ; Fieden, H.** (1980) Exceptionally low blood glucose response to dried beans: Comparison with other carbohydrate foods. *Br. Med. J.* 281: 578-580.
- **Jenkins, D.J.A.; Jenkins, A.L.; Wolever, T.M.S.; Taylor, R.H., Fielden, H., Baldwin, J.M., Bowling, A.C., Newman, H.C.; Jenkins, A.L.; Goff, D.V.** (1981) Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 362-366.
- **Jenkins, D.J.A.; Thorne, M.J.; Camelon, K.; Jenkins, A.L.; Rao, A.V.; Taylor, R.H, Thompson, L.U.; Kalmuski, J; Reichert, R.; Francis, T.** (1982) Effects of processing on digestibility and the blood glucose response a study of lentils. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 1093-1101.
- **Jenkins, D.J.A.; Jenkins, A.L.; Wolever, T.M.S.; Jenkins, A.L.; Thorne, R.L.; Kalmuskii, J.; Reichert, R.; Wong, G.S.** (1983) The glycaemic index of foods tested in diabetic patients: a new basis for carbohydrate exchange favouring the use of legumes. *Diabetologia.* 34: 257-264.
- **Jenkins, D.J.A.; Jenkins, A.L.; Wolever, T.M.S.; Thomposon, L.U.; Rao, V.A.** (1986) Simple and complex carbohydrates. *Nutr. Rev.* 44: 44-49.
- **Jenkins, D.J.A.; Jenkins, A.L.; Wolever, T.M.S.; Wolever, T.M.S.; Collier, G.R.; Rao, V.A. ; Thompson L.U.** (1987) Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved metabolism. *Scand. J. Gastroenterol.* 22:132-141.
- **Jenkins, D.J.A.; Jenkins, A.L.; Wolever, T.M.S.; Vuksan, V.; Rao, A.V.; Thompson, L.U.; Josse, R.G.** (1994) Low glycemic index: Lente carbohydrates and physiological effects of altered food frequency. *Am. J. Clin. Nutr. Suppl.* 59: 706S-709S.
- **Johansson, C.G.; Siljeström, M.; Asp, N-G.** (1984) Dietary fibre in bread and corresponding flours-formation of resistant starch. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 179: 24-28.
- **Juliano, B.O.** (1998) Varietal impact on rice quality. *Cereal Foods World.* 43: 207-222.

- **Kataria, A.; Chauhan, B.M.; Punia, D.** (1992) Digestibility of proteins and starch (in vitro) α amphidiploids (black gram x mug bean) as effected by domestic processing and cooking. *Plant- Foods Hum. Nutr*; 42: 117-125.
- **Kavita, V.; Verghese, S.; Chitra, G.R.; Prakash, J.** (1998) Effects of processing, storage time and temp. on the resistant starch of foods. *J. Food Sci. Tech. India* 35: 299-304.
- **Kayisu, K. y Hood, L.F.** (1979) Effects of dehydration and storage conditions on the pancreatic α -amylase susceptibility of various starches. *J. Food Sci.* 44: 1728-1731.
- **KelKar, M.; Shastri, P.; By, R.** (1996) Effect of processing on in vitro carbohydrate digestibility of cereals and legumes. *J. Food Sci. Tech. Indian* 33: 493-497.
- **Kent, N.L.** (1971) *Tecnología de los cereales*. Editorial Acribia. Zaragoza. España. pp. 30-32, 189, 242.
- **Key, F.B. y Mathers, J.C.** (1993) Complex carbohydrate digestion and large bowel fermentation in rats given wholemeal bread and cooked haricot beans (*Phaseolus vulgaris*) fed in mixed diets. *Br. J. Nutr.* 69: 497-509.
- **Kreft, I.; Skrabanja, V.; Ikeda, S.; Ikeda, K; Francisci, R.; Bonafaccia, G.** (1998) New nutritional aspects of buckwheat base products. *Getreide, Mehl-und-brot*; 52: 27-30.
- **Kurashi, M. y Inomata, K.** (1989) Role of parotid amylase in starch digestion in the gastrointestinal tract of rats. *J. Dent. Res.* 68:1366-1369.
- **Lambert, N.** (1989) New looks at neglected lagumes. *Nutr. Food Sci.* 119: 16-18.
- **Lambert, N. y Fenwick, R.** (1991) Norleg (the Norwich legume Group). *Nutr. Food Sci.* 128: 14-15.
- **Lanza, E. y Butrom, R.** (1986) A critical review of food fiber analysis and data. *J. Am. Diet. Assoc.* 86(6): 732-135.
- **Lares, M.** (1997) Almidones como edulcorantes. Seminario de Grado. Postgrado de Ciencia y Tecnología de Alimentos. UCV.
- **Leeds, A.R.; Bolster, N.; Andrews, R.; Truswell, A.S.** (1979) Meal viscosity gastric emptying and glucose absorption in the rat. *Proc. Nutr. Soc.* 38: 44A.
- **Levy-Benshimol, A.; Melito, C. ; Carmona, A.** (1993) Effects of red kidney bean lectin (RKBL) on “in vitro”intestinal carbohydrate transactions. En: *Recent Advances*

of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds. Vander Poel, A.F.B; Huisman y Saini, H.S. (eds) Wageningen Pers. No. 70. pp. 241-244.

- **Liener, I.E.** (1994) Implications of antinutritional components in soybean foods. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34: 31-67.
- **Lingström, P.; Holm, J.; Birkhed, D.; Björck, I.** (1989) Effects of variously processed starch on pH of human dental plaque. *Scand. J. Dent. Res.* 97: 392-400.
- **Lopez, C.; Ros, G.; Rincon, F.; Periago, M.J.; Martinez, C. Ortuño, J.** (1996) Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fibre of artichoke. *J. Agric. Food Chem.* 44: 2773-2778.
- **Lopez, C.; Ros, G.; Rincon, F.; Periago, M.J.; Martinez, C. Ortuño, J.** (1997) Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismo de acción en el tracto intestinal. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 47: 203-207.
- **Mangala, S.L.; Udayasankar, K.; Tharanathan, R.W.** (1999) Resistant starch from processed cereals: the influence of amylopectin and non-carbohydrate constituents in its formation. *Food Chem.* 64: 391-396.
- **Manners, D.J.** (1989) Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydr. Polymers.* 11: 87-112.
- **Marconi, E.; Ruggeri, S.; Canovale, E.** (1997) Chemical evaluation of wild under exploited *Vigna* spp. Seeds. *Food Chem.* 59: 203-212.
- **Marks, V.** (1989) Glycemic responses to sugars on starches. En: *ILSI human nutrition reviews: dietary starches and sugars in man. A comparison.* N.J. Dobbing de Springer-Verlag, London. pp. 151-167.
- **Martin, L.M.; Dumon, H.J.W.; Champ, M.M.J.** (1998) Production of short chain fatty acids from resistant starch in a pig model. *J. Sci. Food Agric.* 77: 71-80.
- **Martinez, C; Ros, G.; Periago, M.J.; Lopez, G.** (1999) Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 49: 106-113.
- **Maruta, I.; Kurahashi, Y.; Takano, R.; Hayashi, K.; Kudo, K.; Hara, S.** (1998) Enzymic digestibility of reduced pressurized, heat moisture treated starch. *Food Chem.* 61: 163-165.

- **Matheson, N. K** (1990) A comparison of the structures of the fractions of normal and high amylose pea-seed starches prepared by precipitation with concanavalin. *A. Carbohydr. Res.* 199:195-205.
- **Mauro, D.** (1996) An update on starch. *Cereal Foods World.* 41(10) 776-780.
- **McCarthy, M.F.** (1998) Dietary glycemic index may influence cancer risk by modulating IGF-1 activity: a hypothesis. *J. Med. Food.* 2: 123-140.
- **Mejias, L.A.; Bourges, H.; Rosado, J.L.** (1989) Fibra y Salud. Memorias del 2do. Simposio Internacional sobre Fibra Dietética. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubiran. Mexico. pp. 14-30.
- **Melito, C. y Tovar, J.** (1995) Cell walls limit “in vitro” protein digestibility in processed legumes. *Food Chem.* 53: 305-307.
- **Mercier, C.** (1980) *Food Process Engineering.* Applied Science Publishers Ltd. Londres. Vol 1. pp. 795.
- **Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.** (1996) Anuario de epidemiología y estadística vital año 1994. Caracas. Venezuela.
- **Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.** (1997) Anuario de epidemiología y estadística vital año 1995. Caracas. Venezuela.
- **Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.** (1998) Anuario de epidemiología y estadística vital año 1996. Caracas. Venezuela.
- **Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.** (1999) 25 principales causas de morbilidad por entidades federales. Venezuela 1994-1997. Dirección Sectorial de Epidemiología. Caracas. Venezuela.
- **Miro, A.** (1990) Conceptos y metodologías utilizadas para el estudio de las propiedades estructurales del almidón. Seminario Especial de Grado. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. UCV. Caracas. Venezuela.
- **Morales, M.D.; Escarps, A.; González, Mc.** (1997) Simultaneous determination of resistant and digestible starch in foods and food products. *Starch/Stärke.* 49: 448-453.
- **Moron, D.; Melito, C; Tovar, J.** (1989) Effect of indigestible residue from foodstuffs on trypsin and pancreatic α -amylase activity “in vitro”. *J. Sci. Food Agric.,* 47:171-179.
- **Morris, V.J.** (1990) Starch gelation and retrogradation. *Trends Food Sci. Technol.* 1: 2-6.

- **Muir, J. G. y O'Dea, K.** (1992) Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 123-127.
- **Muir, J. G.; Birkett, A.; Browns, I.; Jones. G.; Oldeakerin .** (1995) Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 61:82-89.
- **Muller, H.G. y Tobin, G.** (1986) *Nutrición y Ciencia de los Alimentos*. Editorial Acribia, S.A. España. pp. 120-280.
- **Nishimune, T.; Tchikaw, T.; Sumimoto, T; Taguchi, S.; Konishi, Y.; Nakahara, S.; Tchikaw, T.; Kunita, N.** (1991) Glicemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 414-419.
- **Noah, L.; Guillon, F.; Bouchet B.; Buleón, A.; Molis, C.; Gratas, M; Champ, M.** (1998) Digestion of carbohydrate from white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in healthy humans. *J. Nutr.* 128: 977-985.
- **O'Dea , K.O.; Nestel, P.J.; Antonoff, L.** (1980) Physical factors influencing postprandial glucose and insulin response to starch. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 760-765.
- **O'Donnell, L.D., Emmet, D.M.; Heaton, K.M.** (1989) Size of flour particles and its relation to glycaemia, insulinaemic, and colonic disease. *Br. Med. J.* 298:1616,1617.
- **O.M.S.** (Organización Mundial de la Salud) (1998) Anuario de estadística sanitaria mundial 1996. Genova. pp. A-3: A-10.
- **O'Sullivan, K.R.** (1998) Fibre and its role in health and disease. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 49 (suppl): S9-S12.
- **Pacheco Delahaye, E.** (1999) Effect of the fibre insoluble dietary fibre from oil palm fat-free flour on digestibility in rats. *Food Chem.* 54: 433-437.
- **Panlasigui, L.N.; Thompson, L.U.; Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Yiush; Greenberg, G.R.** (1991) Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glicemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 871-877.
- **Parchure, A.A. y Kulkarni, P.R.** (1997) Effect of food processing treatments on generation of resistant starch. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 48: 257-260.
- **Perez, M.A; Guerra, E.; Garcia, B.** (1997) Dietary fibre in three raw legumes and processing effect on chick peas by an enzymatic gravimetric method. *J. Food Comp. Anal.* 10: 66- 72.

- **Periago, M.J.; Englyst, H.H.; Hudson, G.I.** (1996) The influence of thermal processing on the non-starch polysaccharide (NSP) content and in vitro digestibility of starch in peas (Pisum sativum, L.) Z. Lebensm. Wiss. Technol. 29: 33-40.
- **Periago, M.J.; Ross, G., Casas, J.L.** (1997) No- starch polysaccharides and “in vitro” starch digestibility of rawarmed cooked chick peas. J. Food Sci. 62: 93-96.
- **Pizzoferrato, L.; Paci, M.; Rotilio, G.** (1998) Structural modification and bioavailability of starch components as related to the extent of maillard reaction: an enzymatic degradation and a solid-state-1-3C CPMAS NMR study. J. Agric. And Food Chem. 46: 438-441.
- **Plaami, S.P.** (1997) Content of dietary fiber in foods and its physiological effects. Food Rev. Int. 13: 29-76.
- **Platzman, A.** (1998) Fighting disease with fiber. Food Product Design. 7: 17-18.
- **Pomeranz, Y.** (1991) Functional Properties of Food Components. Academic Press, Inc. 2da. Edición. pp. 24-40
- **Potter, N.N.** (1973) La ciencia de los alimentos. Editorial Edutex, S.S. 1era. Edición, Mexico, pp. 509-511.
- **Potter, N.N.** (1978) La ciencia de los alimentos. Editorial Edutex, S.S. 2da. Edición, Mexico, pp. 509-512.
- **Primo, E.** (1998) Química de los alimentos. Ciencias Químicas: Tecnología bioquímica y de los alimentos. Editorial Sintesis. Primera reimpresión. Madrid. pp. 74-161.
- **Prosky, L.; Asp, N.G.; Furda, I.; DeVries, J.W.; Schweizer, T.F.; Harland, B.** (1985) Determination of total dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. J. Ass. Off. Anal. Chem. 68: 677-679.
- **Prosky, L.; Asp, N-G., Schweizer, T.F.; De Vries; Furda, I.** (1988) Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. J. Off. Anal. Chem. 71: 1017-1023.
- **Quattrucci, E.; Acquistucci, R.; Bruschi, L.; Salvatorelli, S.** (1997) Effect of technological processes on starch digestibility in pasta. Ital. Food Bev. Tech. 9: 14-17.
- **Redondo, A.; Villanueva, M.J.; Rodríguez, M.D.; Saco, M.D.** (1997) Autoclaving effects on the dietary fibre content of carrots (Daucus carota) and turnips (Brassica napus): an evaluation of different methods. Z. Lebensm. Und. Forsch. 205: 457-463.

- **Ring, S.G.; Colonna, P.; Panson, K.J.; Kalichevsky, M.T.; Miles, M.J.; Morris, V.S.; Orford, P.D.** (1987) The gelation and cristallization of amylopectin. *Carbohydr. Res.* 162: 277-293.
- **Ring, S.G.; Gee, J.M.; Whittam, M.; Orford, P.; Johnson, I.** (1988) Resistant starch. Its chemical form on food stuffs and effects on digestibility in vitro. *Food Chem.* 28: 97-109.
- **Robin, J.P.; Mercier, C.; Charbonniere, R.; Guilbot, A.** (1974) Linterized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.* 51: 389-406.
- **Rogols, S.** (1986) Starch modification: a view into the future. *Cereal World.* 31(6) 870-873.
- **Ross, S.W.; Brand, J.C.; Thorburn, A.W.; Truswell, A.S.** (1987) Glycemic index of processed wheat products. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 631.
- **Sarko, A. y Wu, H.C.H.** (1978) The crystal structures of A, B y C polymorphs of amylose and starch. *Starch/Stärke.* 30: 73-78.
- **Sathe, S.K.; Rangnekar, P.D.; Deshpande, S.S.; Salunkhe, D.K.** (1982) Isolation and partial characterization of black gram (*Phaseolus mungo* L.) starch. *J. Food Sci.* 47: 1524-1527.
- **Saura-Calixto, F. y Abia, R.** (1991) Resistant starch: an indigestible fraction of foods. *Grasas y Aceites.* 3: 239-242.
- **Saura-Calixto, F. y Larrauri, J.A.** (1996) New types of high quality dietary fibre. Properties and uses. *Alimentación y Tecnología.* 15: 71-74.
- **Saura-Calixto, F. ; Goñi, I.; Bravo, L. y Mañas, E.** (1993) Resistant starch in foods: modified method for dietary fiber residues. *J. Food Sci.* 58: 642-643.
- **Scade, J.** (1981) *Cereales.* Editorial Acribia. Zaragoza. España. pp. 9-20, 69,75.
- **Schneeman, B.O.** (1990) Macronutrient absorption. En: dietary fiber. D. Kritchevsky, C. Bonfield and J.W. Anderson, eds. Plenum Publishing Co. New York. pp. 157-166.
- **Schneeman, B.O.** (1999) Building scientific consensus: the importance of dietary fiber. *Am. J. Clin. Nutr.* 69:1.

- **Sharma, A. y Kapoor, A.C.** (1996) Effect of various types off fermentation on in vitro protein and starchs digestibility of differently processed pearl Millet. *Nahrung*. 40: 142-145.
- **Sharma, A. y Khetarpaul, N.** (1995) Fermentation of rice-bengol grandhal blends with why: changes in phytic acid content and “in vitro” digestibility of starch and protein. *Nahrung*. 39: 282-287.
- **Sharma, A. y Khetarpaul** (1997) Effect of fermentation on phytic acid content and in vitro digestibility of starch and protein on rice black gran dhal whey blends. *J. Food Sci. Tech.* 34: 20-23.
- **Sievert, D. Z. y Pomeranz, Y** (1989) Enzyme-resistant starch I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical and microscopic methods. *Cereal Chem.* 66: 342-347.
- **Sievert, D.Z.; Czuchajowska; Pomeranz, Y.** (1991) Enzyme-resistant starch.III. Xray difrattion of autoclaved amylo maize VII starch and enzyme-resistant starch residues. *Cereal Chem.* 68(1): 86-91.
- **Siljeström, M. y Björck, I.** (1990) digestible and undigestible carbohydrates in autoclaved legumes, potatoes and corn. *Food Chem.* 38: 145-152.
- **Siljeström, M.; Eliasson, A.C.; Björck, I.** (1989) Characterization of resistant starch from autoclaved wheat starch. *Starch/Staerke.* 41:147-151.
- **Silvi, S.; Rumney, C.J.; Cresci, A.; Rowland, I.R.** (1999) Resistant Starch modifies gut microflora and microbial metabolism in human flora associated rats inoculated with faeces from italian and uk donors. *J. Appl. Microb.* 86: 521-530.
- **Skrabanja, V. y Kreft, I.** (1998) Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum moench*) grats. An “in vitro” study. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2020-2023.
- **Slack, P.T.; Baxter, E.D.; Wainwright, T.** (1979) Inhibition by hordein of starch degradation. *J. Inst. Brew.* 85: 112-114.
- **Snow, P. y O’Dea, K.** (1981) Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 2721-2727.

- **Socorro, M.; Levy-Benshimol, A.; Tovar, J.** (1989) In vitro digestibility of cereal and legume (*Phaseolus vulgaris*) starches by bovine, porcine and human pancreatic α -amylases. *Starch/Stärke*. 41: 69-71.
- **Southgate, D.A.T.** (1976) The measurement of starch, its degradation products and modified starches. En: *Determination of Food Carbohydrates*. Applied Science publishers LTD, London. pp. 44-60.
- **Southgate, D.A.T.** (1986) Conceptual issues concerning the assessment of nutrient bioavailability. En: *Nutrient Availability: Chemical and Biological*. D.A.T. Southgate. I.T. Jhonson, G.R. Fenwick, eds. Royal Soc. Chem., Cambridge. pp. 10-12.
- **Southgate, D.A.T.** (1989) The role of the gut microflora in the digestion of starches and sugars: with special reference to their role in the metabolism of the host. Including energy and vitamin metabolism. A comparison. En: *Dietary Starches and Sugars in Man: A Comparison*. Ilsi Human Nutrition Reviews, J. Dobbing, ed. Springer-Verlag. London. pp. 67-87.
- **Stark, J.R. y Yin, X.S.** (1986) The effect of physical damage on large and small barley starch granules. *Starch/Stärke* 38:369-374.
- **Stephen, A.M.; Dahl, W.J.; Johns, D.M.; Englyst, H.N.** (1997) Effect of oat hull fiber on human colonic function and serum lipids. *Cereal Chem.* 74: 379-383.
- **Sumathi A.; Vishwanatha, S.; Malleshi, N.C.; Venkat R.S.** (1997) Glycemic response to malted. Popped and roller dried wheat-legume based foods in normal subjects. *Intern. J. Food Sci. Nutr.* 48: 103-107.
- **Sungsoo, C.; Prosky, L.; Dreher, M.** (1999) *Complex Carbohydrates in foods*. ISBN. xiv. pp 676.
- **Suzuki, T.; Nakai, K.; Yoshie, Y.; Shirai, T; Hirano, T.** (1993) Change in dietary fibre in seaweed foods during commercial heat processing. *Boletín of the Japanese Society of Scientific Fisheries* . *Nihon Suisan Gakkai shil.* 59: 1371-1375.
- **Svanberg, S.J.M.; y Nyman, E.M.G.L.** (1997) Effects of boiling and storage on dietary fibre and digestibility carbohydrates in various cultivars of carrots. *J. Sci. Food Agric.* 73: 245-254.

- **Takahiro, N.; Tsumoru, Y.; Tatsuo, S.; Syuzo, T.; Yosimasa, K.; Sumio, N.; Tomio, I.; Nobuharu, K.** (1991) Glycemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 414-419.
- **Theander, O.; Aman, P.; Westerlund, E.; Andersson, R.; Pettersson, D.** (1995) Total dietary fiber determination as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason Lignin (the Uppasala Method): collaborative study. *J. AOAC Int.* 78: 1030-1044.
- **Thompson, L.U. y Yoon, J.H.** (1984) Starch digestibility as affected by polyphenols and phytic acid. *J. Food Sci.* 49: 1228-1229.
- **Thompson, L.U. y Gabon, J** (1987). Effect of lectins on salivary and pancreatic-amylase activities and the rate of starch digestion. *J. Food Sci.* 52: 1050-1053.
- **Thompson, L.U.** (1988) Antinutrients and blood glucose. *Food Technol.* 42: 123-132.
- **Thorburn, A.W.; Brand, J.C.; Truswell, A.S.** (1987) The glycemic index of foods. *Med. J. Austr.* 144: 580-582.
- **Tinker, L. y Schneeman, B.O.** (1989) The effects of guar gum and wheat bran on the disappearance of c-labeled starch from the rat gastrointestinal tract. *J. Nutr.* 119: 403-408.
- **Torsdottir, I.; Alpsten, M.; Andersson, D.; Brumer, R.J.M.; Andersson, H.** (1984) Effect of different starchy foods in composite meals on gastric emptying rate and glucose metabolism. I. Comparisons between potatoes, rice and white beans. *Human Nutr. Clin.Nutr.* 38C. 329-338.
- **Tovar, J** (1992) Bioavailability of starch in processed legumes. Importance of physical inaccessibility and retrogradation. Ph.D. Thesis, Department of Applied Nutrition and Food Chem. University of Lund. Sweden. pp. 1-132.
- **Tovar, J.** (1994) Bioavailability of carbohydrates in legumes. Digestible and indigestible fractions, *Arch. Latinoamer. Nutr.* 44: 365-405.
- **Tovar, J.** (1995a) In Vitro starch digestibility in processed brown beans (*Phaseolus vulgaris* L.). 2nd European Conference on Grain Legumes. Copenhagen. pp. 334-335.
- **Tovar, J.** (1995b) Influencia de factores intrínsecos de los alimentos sobre la digestión y absorción del almidón. *Arch. Latinoam. Nutr.* 45: 263-265.

- **Tovar, J.** (2000) Métodos para la determinación de almidón resistente en los alimentos. En: Fibra Alimentaria en Iberoamérica. F. Lajolo y E. Menezes. (eds). Ediciones Cyted. Ciudad de Mexico. (En prensa).
- **Tovar, J. y Melito, C.** (1996) Steam cooking and dry heating produce resistant starch in legumes. *J. Agric. Food Chem.* 44: 2642-2645.
- **Tovar, J. y Velasco, Z.** (1995) Available and resistant starch content in some Venezuelan foods. *Acta Cient. Venez.* 46: 208-209.
- **Tovar, J., Björck, I.; Asp N.G.** (1989) On the nutritional properties of starch and dietary fiber in cassava bread. *Nutr. Rep. Int.* 39: 1237-1246.
- **Tovar, J.; Björck, I.; Asp N.G.** (1990a) Analytical and nutritional implications of limited enzymic availability of starch in cooked red kidney beans. *J. Agric. Food Chem.* 38: 488-493.
- **Tovar, J.; Björck, I.; Asp N.G.** (1990b) Starch content and α -amylolysis rate in precooked legumes flours. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1818-1823.
- **Tovar, J.; Granfeldt, Y.; Björck, I.** (1992) Effects of processing on blood glucose and insulin responses to starch in legumes. *J. Agric. Food Chem.* 40: 1846-1851.
- **Tovar, J.; De Francisco, A.; Björck, I.; Asp N.G.** (1991). Relationship between microstructure and “in vitro” digestibility of starch in precooked leguminous seed flours. *Food Struct.* 10: 19-26.
- **Traianedes, K.; BasppSc.; O’Dea, K.** (1986) Commercial canning increases the digestibility of beans “in vitro” and postprandial metabolic responses to them “in vivo”. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 390-397.
- **Truswell, A.S.** (1992) Glycaemic index of foods *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S91-S101.
- **Tuan, Y.H. y Phillips, D.** (1991) Effects of the hard to cook defect and processing on protein digestibility of cowpeas. *Cereal Chem.* 68: 413-418.
- **Urooj, A. y Puttraj, S.** (1999) Digestibility index and factors affecting rate of starch digestion “in vitro” in conventional food preparation. *Nahrung.* 43: 42-47.
- **Vallenilla, L.; Medina, M.; Gutierrez, A.T.; Herrera, M.; Grajal, A.; Abreu, E.A.; Rojas, F.; Sequera, I.** (1990) Nutrición y desarrollo social en el ajuste económico. Fundación Cavendes. Caracas. Venezuela. pp. 35-65, 85, 97-107.

- **Vasanathan, T. y Hoover, R.** (1992) A comparative study of the composition of lipids associated with starch granules from various botanical sources. *Food Chem.* 43: 19-28.
- **Vasanathan, T. y Bhatta, R.S.** (1998) Enhancement of resistant starch (RS3) in amylo maize, barley, field pea and lentil starches. *Starch/Stärke.* 50: 286-291.
- **Veena, A.; Asna, U.; Shashikala, P.** (1995) Effect processing on the composition of dietary fibre and starch in some legumes. *Nahrung.* 39: 132-138.
- **Velasco Z.** (1995) Evaluación de la digestibilidad “in vitro” del almidón en algunos alimentos venezolanos. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. UCV. Caracas. pp. 1-51.
- **Velasco, Z.; Rascón, A. Tovar, J.** (1997) Enzymic availability of starch in cooked black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Cowpeas (*Vigna* Sp.). *J. Agric. Food Chem.* 45: 1548-1551.
- **Wisker, E.; Schweizer, T.F.; Daniel, M.; Feldheim, W.** (1994) Fibre mediated physiological effects of raw and processed carrots in humans. *Br. J. Nutr.* 72: 579-599.
- **Wolever, T.M.S.; Jenkins, D.J.A.; Kalmusky, J.; Jenkins, A.; Giordano, C.; Giudici, S.; Josse, R.G.; Wong, G.S.** (1986) Comparison of regular and parboiled rices: explanation of discrepancies between reported glycemic responses to rice. *Nutrition Research:* 6: 349-357.
- **Wolever, T.M.S.; Jenkins, D.J.A.; Thompson, L.U.; Wong, Josse, R.G.** (1987) Effect of canning on the blood glucose response to beans in patients with type 2 diabetes. *Human Nutrition: Clinical Nutrition.* 41C, 135-140.
- **Wong, S.; Traianedes, K.; O’Dea, K.** (1985) Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 390-397.
- **Wu, H.C.H y Sarko, A.** (1978a) The double-helical molecular structure of crystalline β -amylase. *Carbohydr. Res.* 61: 7-26.
- **Wu, H.C.H y Sarko, A.** (1978b) The double-helical molecular structure of crystalline-amylose: *Carbohydr. Res.* 61: 27-40.
- **Würsch, P.; Del vedovo; Koellreutter, B.** (1986) Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 25-29.
- **Würsch, P.** (1989) Starch in human nutrition. *World Rev. Nutr. Diet.* 60: 199-256.

- **Wurzburg, O.B.** (1972) Starch in the food industry. Vol I, Chap. 8 in: Handbook of food additives. 2da. Edic. E.E. Furia, ed. CRC press. Boca Raton.
- **Yadau S. y Khetarpaul, N.** (1995) Effect of fermentation period and temperature on antinutrients and “in vitro” digestibility of starch and protein of wadi an indigenous fermented legumes product. J. Food Sci. Tech. Indian. 32: 132-134.
- **Yokoyama, W.H.; Hudson, C.A.; Knuckles, B.E.; Mei-Chen-Mchiu; Sayre, R.N.; Turnlund, J.R.; Schneeman, B.O.** (1997) Effect of barley beta-glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. Cereal Chem. 74: 293-296.
- **Yongsoo, C.** (1997) Changes in cells wall structure and starch digestibility during cooking of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Dissertation Abstracts International. B. 57(9) 5406 order No. DA9706464. pp.145.
- **Zobel, H.F.** (1988a) Starch crystal transformations and their industrial importance. Starch/Stärke. 40: 1-7.
- **Zobel, H.F.** (1988b) Molecules to granules. A comprehensive starch review. Starch/Stärke.; 40: 44-50.
- **Zobel, H.F.** (1992) Starch granule structure. En: Developments in Carbohydrate Chemistry. Alexander y Zobel (eds). Am. Assoc. Cereal Chem. pp. 1-36.