

300627



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA UNAM

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBTENCION Y VALORACION DE MEZCLAS PROTEICAS
A PARTIR DE CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA
DE SEMILLA DE ALGODON (*Gossipyum hirsutum*)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO - FARMACEUTICO - BIOLOGO

P R E S E N T A :

IRIS SAGRARIO ESPINOSA CORRO

DIRECTOR DE TESIS :

Q. IRENE MONTALVO VELARDE

MEXICO, D. F.

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

OBTENCION Y VALORACION DE MEZCLAS
PROTEICAS A PARTIR DE CONCENTRADO
PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE
ALGODON (*Gossypium hirsutum*)

Que Dios me conceda hablar con sensatez y expresar ideas dignas de los dones que recibí.
El me dió el verdadero conocimiento de lo que existe, quien me hizo conocer la estructura del mundo y las propiedades de los elementos; el principio, el fin y la mitad de los tiempos, la sucesión de los días y de las estaciones; el avance del año y las posiciones de los astros; la naturaleza de los animales y los instintos de las fieras, el poder de los espíritus y los pensamientos de los hombres, las variedades de las plantas y las propiedades de las raíces...

Sab. 7,15-20.

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la M. en C. Ma. de Jesús Franco Gómez a quien agradezco infinitamente su guía y apoyo incondicional.

INDICE

<u>CAPITULO</u>	<u>No. DE PAGINA</u>
I.- RESUMEN	1
II.- INTRODUCCION	3
1.- Las oleaginosas como fuente de proteina.	4
III.- OBJETIVOS	7
IV.- GENERALIDADES	8
1.- Botánica e historia del algodón.	8
2.- Cultivo y producción del algodón.	8
3.- La semilla del algodón.	11
4.- El gosispol, constituyente tóxico del algodón.	13
5.- El algodón en la alimentación humana.	16
6.- Elaboración de concentrados proteicos.	17
7.- Semilla de ajonjolí.	18
8.- Trigo.	19
9.- Maíz.	20
10.- Antecedentes de las mezclas cereal-semilla de algodón y oleaginosas-semilla de algodón.	20
V.- MATERIALES Y METODOS	22
A. Materiales	
1.- Materias primas.	22
B. Métodos	
1.- Preparación de la pasta de semilla de algodón.	22
2.- Proceso de extracción de gosispol de la pasta de semilla de algodón.	22
3.- Proceso para la obtención de concentrado proteico de pasta de semilla de algodón tratada.	24
4.- Proceso para la obtención de harina de semilla de ajonjolí.	26
5.- Proceso para la obtención de concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí.	28

CAPITULO**No. DE PAGINA**

6.- Proteína cruda.	29
7.- Extracto etéreo.	29
8.- Fibra cruda.	30
9.- Cenizas.	30
10.- Humedad.	31
11.- Extracto libre de nitrógeno.	31
12.- Gosipol libre.	31
13.- Gosipol Total.	32
14.- Determinación de ácido oxálico.	33
15.- Determinación de selenio.	34
16.- Digestibilidad enzimática " in vitro ".	35
17.- Triptofano.	36
18.- Lisina disponible.	37
19.- Determinación cuantitativa de aminoácidos.	39
20.- Evaluación biológica.	39
21.- Calificación química.	42
VI.- RESULTADOS Y DISCUSION	43
VII.- CONCLUSIONES	73
VIII.- BIBLIOGRAFIA	74

RESUMEN

Con el fin de encontrar una fuente de proteína de buena calidad que pudiera utilizarse para la suplementación y enriquecimiento de alimentos convencionales, en el presente trabajo se planteó la posibilidad de utilizar la pasta de semilla de algodón para lograr el aumento de la calidad nutricional de alimentos elaborados en base a trigo, maíz y ajonjolí.

La pasta de semilla de algodón íntegra que se utilizó en este estudio mostró un nivel de proteína de 39.99% y un contenido de fibra de 15.20%, el porcentaje de lisina disponible con respecto a la lisina total fue de 55% y la digestibilidad enzimática "in vitro" de 72.86%.

En la eliminación del gossipol, compuesto tóxico y conatural a la semilla de algodón, se logró reducir aproximadamente en un 60% el contenido de gossipol libre presente en la pasta de semilla de algodón, sin alterar la calidad de la proteína. El nivel de gossipol libre obtenido fue de 0.0255% y el de gossipol total de 0.9839%.

Se elaboró un concentrado proteico a partir de la pasta de semilla de algodón destoxificada (CPSAL), obteniéndose un producto de color oscuro, libre del olor desagradable característico de la pasta, con una digestibilidad de 80.90% y un contenido de proteína de 48.84%.

A partir de la semilla de ajonjolí se obtuvo un concentrado proteico (CPSAJ), logrando reducir al mismo tiempo el nivel de ácido oxálico en un 25% y el de selenio en un 72%, sin alterar la calidad de la proteína. El porcentaje de proteína alcanzado en el concentrado fue de 55.12%.

Las harinas de trigo (HT) y maíz (HM) que se emplearon en este trabajo mostraron un contenido de proteína de 11.34 y 7.69% y una digestibilidad enzimática "in vitro" de 98.84 y 81.20% respectivamente.

La elaboración de mezclas se realizó en base a la calificación química de los aminoácidos limitantes primarios: lisina en ajonjolí, trigo y maíz, y azufrados en el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón .

El contenido de proteína cruda reportado fue de 50.36, 23.78 y 17.04% para las mezclas CPSAL:CPSAJ, CPSAL:HT Y CPSAL:HM, según el orden indicado.

Tanto las materias primas como las mezclas elaboradas fueron evaluadas mediante métodos biológicos. Para CPSAL, CPSAJ, HT y HM se obtuvieron valores de REP de 1.25, 0.94, 0.91 y 1.39; y un UNP de 28.64, 28.23, 29.57 y 40.56, respectivamente.

Las mezclas CPSAL:CPSAJ, CPSAL:HT y CPSAL:HM, presentaron una REP de 1.19, 1.30 y 1.14; y el valor de UNP alcanzado por cada una de ellas fue de 31.01, 32.19 y 38.34.

INTRODUCCION

Se estima que más de la mitad de la humanidad sufre de desnutrición crónica a consecuencia de una alimentación que no satisface las necesidades del organismo (89).

En países subdesarrollados donde la malnutrición se encuentra muy extendida; la población es muy joven y está en crecimiento, mientras que las diferencias sociales son notables. Esto da lugar a que las comunidades sufran graves trastornos biológicos y sociales (46,89).

El consumo de alimentos proteicos de origen animal es escaso, debido a que su valor económico es alto, quedando estos alimentos inaccesibles para gran parte de la población de los países en desarrollo. La población de estos países tiene dietas ricas en carbohidratos y aproximadamente el 70% de la proteína que consume proviene de plantas. Este dato sugiere que elevando la proteína contenida en los cereales como arroz, trigo, maíz y sus productos, se podría combatir la malnutrición (16,46).

En México el nivel nutricional y el subdesarrollo se encuentran muy entrelazados. En muchas zonas del país el 60% de las calorías las proporciona el maíz, es decir, éste es el alimento más importante y por tanto sus cualidades y defectos se reflejan en el valor de la dieta en general. El trigo en sus presentaciones de pan, galletería y pastas, y el frijol vienen a complementar al cuadro alimenticio básico de la población en general (89).

Con la crisis económica de la última década, la situación nutricional ha venido a agravarse sustancialmente. Por lo que se ha convertido en una necesidad urgente el elevar la calidad de la dieta de la población. Para ello se han propuesto las siguientes medidas: (89)

- 1) Acción educativa a nivel nutricional.
- 2) Promoción de la disponibilidad de alimentos.
- 3) Programas de alimentación popular. Estos últimos presentan una alta gama de posibilidades, incluyendo la promoción de alimentos a bajo costo; la distribución de ellos entre las clases populares; los programas de suplementación y enriquecimiento de alimentos; la venta a precios bajos de alimentos ricos en proteínas, etc.

Para la suplementación y enriquecimiento de alimentos convencionales se requieren fuentes de proteínas de buena calidad nutricional, disponibles económica y técnicamente, y que no afecten las cualidades del alimento a enriquecer.

Las oleaginosas como fuente de proteína.-

Durante los últimos años, tanto en nuestro país, como a nivel mundial, el aumento en la producción de oleaginosas ha sido mayor que la de los otros cultivos vegetales, lo anterior se expresa claramente en la tabla I.

TABLA I

PRODUCCION NACIONAL DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE PROTEINAS
VEGETALES Periodo 1985-1988

Cultivo	PRODUCCION ANUAL ^a		Incremento(%)
	1985-1986	1988	
Trigo	5,009	4,766 ^b	- -- -
Maíz	12,909	16,530 ^b	28
Arroz	664	797 ^b	20
Sorgo	5,761	6,864 ^b	19
Frijol	1,002	1,467 ^b	15
Soya	820	334 ^c	- -- -
Cártamo	156	311	99
Algodón	266	408	53
Girasol	18	23	25
Ajonjolí	10	20	50

^a Toneladas x 10³

^b Producción estimada

^c Fuertes pérdidas debidas a sequía

Fuente : Rodríguez-Vallejo (74), Asociación Nacional de Industriales de Aceite y Mantecas Comestibles A.C. (9).

Como se muestra en la tabla II, las oleaginosas que más se han cultivado a nivel nacional son el cártamo, ajonjolí, algodón, y soya (9). Si bien, el destino principal de estas oleaginosas es la obtención de aceite comestible, su cultivo puede llegar a representar una fuente de proteína importante para ser utilizada en la alimentación del hombre.

TABLA II

PRODUCCION NACIONAL DE OLEAGINOSAS

Semilla	Producción en 1988 (miles de toneladas)	Cantidad aproximada de proteína (g/100 g)	Cantidad máxima de proteína extraíble (miles de toneladas)	Población que se puede alimentar con 20 g. de proteína/día (millones)
Algodón	408	21	86.0	11.8
Ajonjolí	20	25	4.6	0.6
Cártamo	311	15	46.7	6.4
Coco(copra)	145	8	11.6	1.6
Soya	334	42	140.3	19.2

Fuente : Asociación Nacional de Industriales de Aceite y Mantecas Comestibles A.C. (09)

Las oleaginosas fueron cultivadas durante mucho tiempo debido al alto nivel de aceite que contienen sus semillas, y por muchos años los residuos obtenidos por la extracción del aceite no fueron considerados importantes. Sin embargo, con la necesidad cada vez mayor de encontrar fuentes de proteína de buena calidad, las oleaginosas han sido ampliamente estudiadas para determinar su composición y su valor nutricional. Con buenos resultados se han incluido en la formulación de piensos y forrajes, por lo que se contempló la factibilidad de incorporarlas en la nutrición humana. (42)

No obstante, la adecuada calidad proteica y la presencia de otros nutrientes en las oleaginosas, éstas contienen factores

antinutricionales que ocasionan flatulencia y toxicidad. Estos elementos deben ser eliminados de las oleaginosas antes de destinarlas a la producción de alimentos para consumo humano. En las últimas décadas, muchos investigadores han dirigido sus estudios a la eliminación de dichos factores antinutricionales, desarrollando procesos económicamente rentables para que puedan aplicarse a nivel industrial (32, 76, 81, 88).

Usando las pastas de oleaginosas residuales de la extracción del aceite, se lograría el aprovechamiento integral de estas semillas (72).

Hasta el momento, y debido a la riqueza de aminoácidos esenciales que presenta en su proteína y a las características reológicas de la misma, la soya y sus productos han sido el sustituto de proteína de origen animal más explotado. Sin embargo, en México la demanda de soya no ha sido cubierta, en buena medida debido a la exigencia de agua en su cultivo; por lo que se han requerido volúmenes crecientes de importaciones, creando una dependencia cada vez mayor del exterior (72).

El algodón es otro de los cultivos importantes, el cual ocupa el segundo lugar en la producción (9). Su semilla contiene una proteína de buena calidad nutricional, aunque cuenta con la presencia de gossipol que es un compuesto tóxico natural de ella.

La importancia económica del cultivo del algodón es la obtención de su fibra para la industria textil, quedando la semilla como un subproducto de la cual se obtiene aceite y harina residual que viene a ser una buena fuente proteica en la dieta humana y animal.

OBJETIVOS

Para el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos :

Objetivo general :

Aprovechar la potencialidad proteica de las fuentes no convencionales como una alternativa que contribuya a solucionar el problema nutricional e implementar su uso en la alimentación humana.

Objetivos particulares :

- Destoxificar la pasta de semilla de algodón, mediante la eliminación de gossipol, hasta llegar a un nivel aceptado para el consumo humano.

- Obtener un concentrado proteico a partir de la pasta de semilla de algodón tratada.

- Obtener un concentrado proteico a partir de la semilla de ajonjolí, con el menor contenido de compuestos antinutricionales.

- Suplementar la proteína de harina de trigo, harina de maíz y concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí con el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, elaborando mezclas óptimas en base a su calificación química.

- Realizar la evaluación biológica de las proteínas de las mezclas elaboradas y sus respectivas materias primas.

GENERALIDADES

Botánica e Historia del Algodón.-

El algodón es una planta dicotiledónea perteneciente al género *Gossypium*, de la familia de las malváceas y tribu de las hibisceas, anual o bienal, según las especies. Este género se caracteriza por sus tallos verdes al principio y rojos al tiempo de florecer; hojas esparcidas y de cinco lóbulos, flores amarillas con manchas, o rojas, y cuyo fruto es una cápsula que contiene de 15 a 20 semillas, envueltas en una borra larga y blanca que constituye la fibra más importante de las empleadas en la industria textil. Las distintas especies se clasifican industrialmente por la longitud de la fibra que producen y comercialmente por el país de origen. De las 20 especies reconocidas del género *Gossypium*, las de mayor importancia comercial son: *G. hirsutum* (americana), *G. herbaceum*, *G. barbadense* y *G. arboreum* (asiáticas) (36,54).

Los historiadores y arqueólogos fijan el principio del uso del algodón en telas de Oriente, cuando menos hace 5,000 a 7,000 años (35). Alejandro Magno introdujo el algodonerero en Europa en el siglo IV A.C., pero su uso no se generalizó sino hasta principios del siglo XVIII. A la llegada de los españoles a América encontraron el algodón cultivado en México (40).

Cultivo y Producción del Algodón.-

La planta del algodón requiere un periodo largo para desarrollarse, alrededor de un año. Necesita un clima cálido con lluvias durante la época de crecimiento, seguido de un periodo seco después que el fruto comienza a madurar (40).

Su cultivo se efectúa en los países comprendidos dentro de una amplia faja alrededor de la Tierra. En el continente americano los límites de esta zona son 37. latitud norte y unos 32. latitud sur; mientras que en el resto del mundo son de 47. latitud norte y 3. latitud sur. Las regiones con un cultivo más intenso comprenden la zona algodонера de los Estados Unidos, los valles septentrionales de México, la India, el oriente de Pakistán, China oriental, Asia central, el delta del río Nilo, el Africa oriental, el noreste y sureste de Brasil, el norte de Argentina y Perú (41).

Los países con mayor producción de algodón son Estados Unidos, la Unión Soviética, China, India, Pakistán, Brasil y México; juntos producen alrededor del 75% del algodón cultivado en el mundo (36,40).

El algodón, a nivel mundial, se cultiva en alrededor de 32 millones de hectáreas que dan como resultado una cosecha de aproximadamente 66 millones de pacas, una paca contiene 230Kg. de fibra (3,70). El algodón "Upland", una variedad anual de *G. hirsutum*, proporciona un 75% del abastecimiento mundial de algodón para factorías de hilatura (41).

Las condiciones climáticas de México son favorables para el cultivo del algodnero, y como se aprecia en la tabla III nuestro país se ha distinguido en la producción de algodón tanto para consumo interno como para exportación.

TABLA III

POSICION ESTIMADA DEL ALGODON MEXICANO
1980-1988

Ciclo	Producción	(Miles de pacas)		
		Importaciones	Consumo Interno	Exportaciones
1980-1981	1,594	-- -- --	734	810
1981-1982	1,424	-- -- --	705	765
1982-1983	830	-- -- --	600	372
1983-1984	996	5	540	456
1984-1985	1,241	-- -- --	597	588
1985-1986	958	72	650	380
1986-1987	636	112	603	209
1987-1988	1,014	-- -- --	650	350

Fuente : Confederación de Asociaciones Algodoneras de la República Mexicana, A.C. (30).

El valor principal en el cultivo de algodón lo determina su fibra, usada para textiles. Las fluctuaciones del precio del algodón en el mercado internacional, determina la conveniencia de su producción. Debido a las fluctuaciones a la baja de los precios del mercado, ocasionadas por la enorme competencia de las fibras sintéticas (ver tabla IV), cada vez se siembran menos hectáreas; y aunque la producción por hectáreas ha aumentado, en términos absolutos, la producción nacional de algodón tiende a la baja (72) (ver tabla V).

TABLA IV
CONSUMO NACIONAL DE FIBRAS BLANDAS
1980-1986

	Algodón	(Toneladas) Lana	Fibras sintéticas
1980	176,400	6,900	271,092
1981	147,675	7,600	267,682
1982	82,125	5,406	244,957
1983	136,703	4,261	236,311
1984	120,705	4,615	235,740
1985	133,400	5,624	284,634
1986	129,800	6,466	243,037

Fuente : Confederación de Asociaciones Algodoneras de la República Mexicana (30); Secretariado Internacional de la Lana, A.C.; y la sección de fibras de ANIQ.

TABLA V
SUPERFICIE Y PRODUCCION DE ALGODON POR REGIONES
(Cifras en miles)

	1981-1982		1983-1984		1985-1986		1987-1988	
	HAS.	PACAS	HAS.	PACAS	HAS.	PACAS	HAS.	PACAS
Sinaloa	36.0	137.9	13.2	51.1	12.5	41.3	13.5	52.0
Sonora	84.4	368.9	64.3	262.1	39.7	144.9	46.0	209.1
Mexicali y S.L.R.C.	87.6	354.5	43.0	210.8	52.0	243.1	46.0	235.6
La Paz	16.8	84.2	12.0	55.3	1.7	8.3	2.6	14.8
JGarez	23.7	94.6	21.0	96.3	21.0	88.0	28.0	111.2
Delicias	12.5	27.4	4.0	14.4	4.9	24.1	5.0	24.8
La Laguna	57.3	292.7	45.2	251.4	65.4	375.8	63.0	317.1
Tamaulipas	3.0	7.3	12.0	21.5	10.9	21.7	18.0	43.6
Apatzingan	4.2	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chiapas	23.0	40.4	11.5	30.8	1.9	6.8	1.3	2.1
Morelos y otros.	1.5	3.2	0.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Oaxaca	2.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Campeche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	3.5
TOTALES	352.7	1423.7	227.0	996.2	210.0	954.0	225.5	1014.1

Fuente : Confederación de Asociaciones Algodoneras de la República Mexicana, A.C. (30).

Como se puede observar en la tabla V, las zonas de mayor producción de algodón en la República Mexicana se localizan en el norte del estado de Baja California Norte, en el norte y centro del estado de Sonora, en el área de la Laguna entre los estados de Durango y sobre todo Coahuila y en la región de Tapachula, en el estado Chiapas.

La Semilla del Algodón.-

En la producción de una paca de fibra de algodón de 230 Kg., se obtiene de 370 a 400 Kg. de semilla (30,40,61). No se requiere más del 5% de las semillas para obtener las cosechas del ciclo siguiente. El 95% restante es la base del procesamiento de las semillas del algodón (35,61). Se estima que en 1984 se produjeron, a nivel mundial, 27 millones de toneladas métricas de semilla de algodón, conteniendo de 20 a 22% de proteína con una buena calidad nutricional comparada con la mayoría de las oleaginosas (61). Los valores relativos en el mercado son tales, que las semillas representan sólo del 10 al 15% del valor económico total de la cosecha de algodón (35).

La semilla de algodón ya madura, es un cuerpo ovoide de 8 a 12 mm de largo y está formada principalmente por la cascarrilla y el embrión. Su almendra o embrión la tiene protegida dentro de la cáscara, a la cual están fijadas las fibras de algodón. El aceite y las proteínas de la semilla se encuentran en la almendra (17,35).

En el algodón los cuerpos proteicos tienen alrededor de 5 micras de diámetro, encierran pequeños cuerpos conocidos como globoides. Alrededor de los cuerpos proteicos existen capas lipídicas con diámetro desde un tercio a tres micras. La estructura está punteada por las glándulas que contienen gospol. La proteína contenida incluye alrededor de 15 proteínas hidrosolubles y unas cuantas proteínas no hidrosolubles. A la fracción de proteínas hidrosolubles se le conoce como "non storage protein" (NSP) y forma una tercera parte del total de proteína, mientras que la fracción de proteínas no hidrosolubles se le conoce como "storage protein" (SP) y forma las dos terceras partes restantes (55,72).

Además de sus características de solubilidad ambas fracciones difieren en peso molecular, propiedades funcionales y valor nutricional. La fracción NSP está compuesta por proteínas de bajo peso molecular, solubles en agua que precipitan a pH 4; su contenido de lisina es más alto que el de la fracción SP. Las proteínas de la fracción SP tienen un alto peso molecular, son solubles en álcalis y precipitan a pH 7 (55).

Las manchas oscuras que se observan en la almendra se conocen como glándulas pigmentarias, y es en éstas donde se concentran la mayor parte de los pigmentos de la planta de algodón. Las glándulas pigmentarias son esféricas u ovoides, miden de 100 a 400 micras y comprenden del 2.4 al 4.8% del peso de la almendra. Las paredes de estas glándulas son suficientemente fuertes y pueden soportar una cantidad considerable de maltrato mecánico sin romperse. Al ponerse en contacto con el agua estas glándulas descargan su contenido de inmediato, sin embargo, los disolventes no las rompen. Los principales pigmentos de las glándulas son el gosipol y los compuestos relacionados con éste (17,35).

Los cuatro productos principales que se recuperan de la semilla de algodón son : aceite (17%), pasta (45%), cascarilla (23%) y borra (8%) (9). El aceite corresponde a más de la mitad del valor económico total de los cuatro productos.

Para obtener el aceite de la semilla de algodón se siguen varios métodos, entre los que destacan: el prensado hidráulico, el prensado por medio de tornillos, el pre-prensado seguido de extracción con disolventes y la extracción directa con solventes. En todos los métodos se realiza un previo acondicionamiento de la semilla que involucra limpieza, descascarillado, formación de hojuelas, control de humedad y cocción. El daño a la proteína, así como el contenido de gosipol y aceite residual en la pasta depende del método de extracción usado y del acondicionamiento. En el método de prensado hidráulico se logra una presión máxima de 2,000 psi; la pasta residual contiene de 4.5 a 7.5% de aceite y 0.04 a 1.00% de gosipol libre. En el prensado con tornillos se alcanza una presión de 20,000 psi, el aceite residual se presenta en un rango que va del 2.5 al 5.0% en la pasta y el gosipol libre se presenta de 0.02 a 0.05%. La extracción directa con solventes origina una pasta con aproximadamente 1.0% de aceite residual y 0.10 a 0.50% de gosipol libre. El método de pre-prensado seguido de extracción con disolventes (mezcla de los anteriores procesos) da un contenido de 0.4 a 1.0% de aceite residual y de 0.02 a 0.07% de gosipol libre en la pasta (17).

El aceite de algodón después de un proceso de refinamiento, es ampliamente usado en la preparación de aderezos para ensalada, mayonesas y margarinas, así como en la producción de glicerina, jabones, detergentes, ciertas fibras textiles, etc. A partir de él es posible obtener ácidos grasos para la producción de jabón y ácidos grasos esenciales (oleico, palmítico, esteárico, etc.) que son materias primas en la elaboración de productos tensoactivos y surfactantes (9,17,61). Durante los últimos años el algodón junto con la soya han contribuido con el mayor porcentaje en la oferta de aceites a nivel nacional (9).

En la extracción del aceite de la semilla de algodón se obtiene un residuo sólido al que se llama pasta. La transformación de la semilla de algodón a pasta, concentra en forma sensible los contenidos proteicos (72):

	Proteína	Aceite	Fibra Cruda	Cenizas
Semilla de algodón	21%	19%	10%	4%
Pasta de semilla de algodón	42%	2%	11%	7%

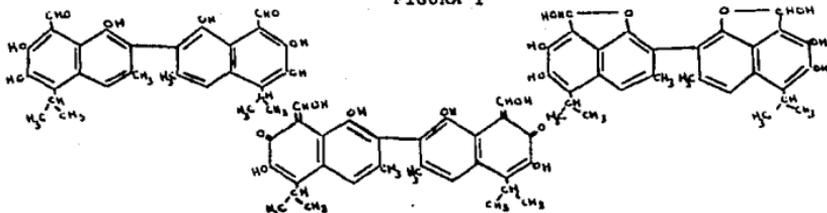
Existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de fibra cruda y el contenido proteico; por otro lado la cantidad de fibra cruda en pastas y harinas depende en alto grado de como se haya descascarillado la semilla.

La mayor parte de la pasta obtenida se lleva a la preparación de alimentos balanceados para animales. La producción a nivel nacional de estos alimentos se estima en 6.4 millones de toneladas anuales (72). Como el uso de la pasta de semilla de algodón en la alimentación de los rumiantes presenta una gran competencia sobre todo con la pasta de soya, urea y otros compuestos no proteicos que pueden ser transformados a proteínas por los microorganismos presentes en su sistema digestivo; entonces resulta más rentable enfocar la pasta de semilla de algodón a la alimentación de los no rumiantes, principalmente cerdos y aves de corral (17); sin embargo la aplicación de ésta al consumo humano y de animales monogástricos ha presentado dificultades debido a la presencia del gosipol en su semilla.

El Gosipol, Constituyente Tóxico del Algodón.-

El gosipol es un pigmento polifenólico de color amarillo verdoso que se presenta en forma natural en el género *Gossypium*. Es el principal componente de las glándulas pigmentarias presentes en la semilla del algodón (aproximadamente el 95%). En 1899 Marchlewski (17,48) dió el nombre de gosipol (gossyp- del género *Gossypium* y -ol por su carácter fenólico) a este compuesto, cuya estructura química fue derivada en 1938 por Adams y col (1), siendo 1,1', 6,6', 7,7'-hexahidroxi 5,5'-diisopropil-3,3'-dimetil [2,2'-binaftaleno]-8,8'-dicarboxaldehído (2). Para explicar las reacciones del gosipol se postularon tres estructuras tautoméricas (ver Figura I)

FIGURA I



La estructura del gossipol propuesta por Adams y col fue confirmada en 1958 por Edwards (38) cuando sintetizó por primera vez el gossipol.

El gossipol, cuyo peso molecular es de 518.5, es soluble en muchos solventes orgánicos, pero insoluble en agua y en el éter de petróleo de bajo punto de ebullición. Cristalizado, presenta diferentes puntos de fusión dependiendo del solvente usado en su cristalización (17,48).

El gossipol es muy reactivo y presenta propiedades fuertemente ácidas, reaccionando en solución alcalina para formar sales. Se oxida fácilmente en solución alcohólica. Forma compuestos coloridos al reaccionar con iones metálicos. Es capaz de actuar como un compuesto fenólico para formar ésteres y éteres, mientras que su grupo aldehído reacciona con aminas para formar bases de Schiff y con ácidos orgánicos para formar compuestos termolábiles (2). La reacción entre el gossipol y las aminas aromáticas como la anilina, para formar el dianilinosossipol, es la base de las determinaciones gravimétricas y colorimétricas del gossipol (6,7).

La presencia del gossipol en las semillas de algodón ha sido la causa de problemas económicos para la industria extractiva de aceite, pues se requieren de procesos de refinamiento para eliminar en el aceite, el desagradable color oscuro causado por el gossipol (48).

La toxicidad del gossipol en el hombre y animales monogástricos, ha sido ampliamente estudiada. En 1915, Withers y Carruth (47) encontraron que los efectos tóxicos causados por la ingestión de las semillas de algodón podían ser atribuidos al gossipol presente en éstas. Al mismo tiempo nació el concepto de gossipol libre, que es el gossipol en estado natural que se encuentra en la planta del algodón y que puede ser extraído con solución de acetona; pero éste al combinarse con grupos amino o carboxil libres de las proteínas forma complejos inertes y fisiológicamente inactivos, dando lugar al gossipol asociado que puede ser extraído sólo después de tratamiento ácido (17).

Se ha estudiado la toxicidad del gosispol en varias especies animales: conejos, ratas, cerdos, perros, pollos, ratones, gatos, etc., los ruminantes parecen no ser afectados por el gosispol. Los síntomas generales de la toxicidad son inapetencia y pérdida de peso. Los síntomas patológicos son muchos y muy variados, dependiendo de las especies animales. Aunque su LD₅₀ por ingestión oral es baja (de 2600 a 3340 mg/kg de peso corporal en ratas) (37), sus efectos biológicos son acumulativos. La toxicidad del gosispol en varias especies disminuye con la adición de hierro o citrato férrico de amonio, calcio, sodio y potasio; por la formación del complejo gosispolato-Fe (8).

No hay reportes sobre la toxicidad en humanos causada por la ingestión de productos conteniendo gosispol, pero si hay reportes de ausencia de efectos tóxicos cuando se ingieren productos con bajo contenido de gosispol en forma moderada (17).

El gosispol también reduce la calidad nutricional de las pastas de semilla de algodón debido a la reacción entre el grupo épsilon de la lisina y el gosispol, que da lugar al "gosispol asociado", dicha reacción disminuye la calidad de la proteína especialmente por reducción de la disponibilidad de la lisina. Así mismo se piensa que afecta la disponibilidad de la arginina, cistina y metionina y en general la de la mayoría de los aminoácidos hidrofóbicos (17,51,61).

Estas reacciones gosispol-proteína se ven favorecidas por la presencia de calor y humedad. Por lo que el contenido de gosispol en la pasta, ya sea "libre" o "asociado", está determinado por el contenido inicial de pigmentos en el grano, las condiciones seleccionadas para la preparación del grano a la extracción, y a las condiciones de extracción del aceite (17,61,88).

Para eliminar la presencia del gosispol en harinas y pastas de algodón, las investigaciones han seguido dos caminos:

- 1) Desarrollo de un genotipo del género *Gossypium* en el que se redujo la cantidad del pigmento en el embrión o grano. A este genotipo se le conoce como "Glandless Cottonseed". Sin embargo ha presentado una fibra o "borra" de baja calidad y una resistencia reducida a las plagas de insectos (58,61).
- 2) Búsqueda de procesos tendientes a eliminar el contenido en pastas y harinas, sin afectar la calidad nutricional de las mismas.

De estos procesos se destacan : (17,27,32,79)

- a) Calentamiento controlado en presencia de humedad para favorecer la interacción del gosispol con otros compuestos. Esto trae como resultado una reducción en la digestibilidad así como desnaturalización de la proteína; y la pérdida del valor biológico por la reacción del gosispol con los grupos épsilon de la lisina.

b) Formación de complejos de gopipol con iones metálicos o combinaciones químicas con anilina, amoniaco, ácido bórico, etc. El problema estriba en la eliminación del complejo formado.

c) Extracción con solventes como: acetona, butanona, dioxano etanol, isopropanol; mezclas de agua con acetona, etanol o isopropanol; mezclas de etanol con hidrocarburos y mezclas de solventes como acetona/hexano/agua, acetona/ciclohexano/agua y metanol/hexano/agua.

d) Técnicas de separación centrifuga de las glándulas pigmentarias mediante aireación o en medio líquido. De ellos sobresale el proceso de Ciclón Líquido con el que se obtienen excelentes resultados pero a costos elevados.

El Algodón en la Alimentación Humana.-

El uso de la semilla de algodón en la alimentación humana fue sugerido por primera vez en 1876. Aparentemente se usó una harina obtenida de una pasta prensada de semilla de algodón (79).

A partir de los años 30's una compañía en Estados Unidos elaboró 2 harinas de semilla de algodón desengrasadas: "Porflo" y "Cinacos", que eran usadas como aditivos para impartir características funcionales a productos horneados. Eran añadidas en cantidades menores al 5% y no se consideraban sus cualidades nutritivas (27,79).

No fue sino hasta los años 60's cuando se reconoció a la semilla de algodón como una fuente potencial de nutrientes, a raíz de las investigaciones efectuadas por Scrimshaw y col (27) en el Instituto de Nutrición de América Central y Panamá. Ahí se elaboró la "Incaparina" o INCAP (mezcla de 9 vegetales), una mezcla de harinas de algodón (38%), maíz (58%), sorgo y levadura tórmula, más carbonato de calcio y vitamina A; para combatir la malnutrición en Latinoamérica (17,27,79).

Mediante análisis químicos y por comparación con el patrón ideal de aminoácidos proporcionados por la FAO, la proteína de semilla de algodón es deficiente en lisina, metionina e isoleucina. Sin embargo la fortificación con estos aminoácidos en dietas para ratas no han tenido un aumento significativo en el PER y en el valor biológico (60).

Durante los últimos 25 años se han desarrollado procesos para preparar hojuelas, harinas, concentrados y aislados de proteína de algodón. Varios autores (18,82) han reportado la factibilidad de elaborar texturizados y extrudados a partir de pastas y harinas de algodón y su incorporación a productos cárnicos.

Las hojuelas de semilla de algodón han sido incorporadas, como tales, a la producción de botanas y productos horneados con el fin de elevar su calidad nutricional; también a partir de ellas se han preparado productos similares a la mantequilla y al tofu. Las harinas y concentrados de algodón han encontrado aplicación en la fortificación de productos de panadería, galletería y embutidos sin alterar sus características reológicas; también se han requerido en la elaboración de alimentos infantiles. Los aislados de proteína de semilla de algodón se han usado en la preparación de bebidas de alto valor nutricional, en la formulación de sustitutos de crema para el café y en la elaboración de postres congelados (29,60,68,72,77).

Para mantener un mercado de productos alimenticios a base de semilla de algodón es necesaria la producción continua de proteína de algodón que reúna la calidad necesaria. Con este fin se han hecho estudios de factibilidad técnica y económica de producción y disponibilidad de pastas y harinas de semilla de algodón.

Se ha encontrado que para la aplicación de fortificación y mejoramiento nutricional de alimentos, se han obtenido los mejores resultados usando concentrados y aislados proteicos.

Elaboración de Concentrados Proteicos.-

En la elaboración de un concentrado proteico ó un aislado proteico se tiene como objetivo eliminar los componentes no proteicos a fin de elevar el contenido de proteína en el material original. Esto trae como resultado un producto que puede usarse en la fortificación de alimentos convencionales, con mejores resultados ya que se eliminan los olores y sabores penetrantes que son desagradables al consumidor; y además no se incorporan carbohidratos, grasa o fibra que afecten las características reológicas del alimento a fortificar.

Los concentrados proteicos son, esencialmente, harinas desengrasadas de las que se han eliminado los azúcares y otros compuestos solubles. De esta manera es posible obtener productos de sabor atenuado y que pueden alcanzar hasta un 70% de proteína en base seca (61).

Los aislados proteicos casi contienen exclusivamente la proteína de la materia prima, pero su producción es más costosa que la de los concentrados y en muchos casos pueden aplicarse en la industria alimentaria de manera indistinta (61).

Generalmente las operaciones de elaboración de un concentrado proteico comienzan con la eliminación mecánica de componentes indeseables; teniéndose como ejemplo el lavado, descascarillado, despepitado, desengrasado, etc.

Inmediatamente después tiene lugar la separación de la proteína por diferentes procedimientos, los cuales pueden agruparse de la siguiente manera (57):

- 1) Procedimientos de separación basados en el tamaño molecular:
 - a) Diálisis y ultrafiltración.- Implican el uso de membranas que retienen las moléculas de proteína.
 - b) Centrifugación en gradiente de densidad.
 - c) Filtración sobre gel.
- 2) Procedimientos de separación basados en diferencias de solubilidad:
 - a) Precipitación isoeléctrica.- Basada en el pH al que una proteína muestra un mínimo de solubilidad, por no poseer carga eléctrica.
 - b) Solubilización y precipitación por salado.- Cambios de solubilidad causados por la fuerza iónica de sales como cloruro de magnesio, sulfato de amonio, cloruro de sodio, cloruro de amonio y cloruro de potasio.
 - c) Fraccionamiento con disolventes.- Algunos disolventes que poseen una constante dieléctrica mayor que la del agua afectan el pH y la fuerza iónica del medio y ocasionan la precipitación de la proteína.

Como la separación de la proteína generalmente se efectúa en medio acuoso o líquido, es necesario recuperar el material proteico por medio de centrifugación, para después secarlo y poderlo presentar en forma de polvo.

Semilla de Ajonjolí.-

El ajonjolí (*Sesamun indicum L.*) es una oleaginosa que se ha cultivado desde tiempos remotos, para usarla como condimento y como fuente de aceite comestible.

Las primeras evidencias de cultivo de ajonjolí se han encontrado en Asia y se sitúan en una antigüedad de 5,000 años. Actualmente el ajonjolí se cultiva en las áreas tropicales y subtropicales de Asia, el Mediterráneo y América. La producción mundial es de 2'000,000 de toneladas métricas anuales, siendo el principal productor la India. México se encuentra entre los 10 principales países productores de ajonjolí (contribuye con 5-6% de la producción mundial) (49).

La semilla de ajonjolí contiene de 45 a 63% de aceite y de 19 a 31% de proteína. La cascarrilla representa del 15 al 20% de la semilla, está compuesta de ácido oxálico, calcio y otros minerales, así como de fibra. El ácido oxálico reacciona con el

calcio en el intestino forma oxalato fisiológicamente inerte y provoca una deficiencia de calcio que puede causar osteomalasia y condiciona la aparición de litiasis renal en el organismo humano. Afortunadamente el descascarillado reduce considerablemente el porcentaje de ácido oxálico presente en la semilla. (12,49).

Con la extracción del aceite de la semilla de ajonjolí se obtiene una pasta con un nivel alto de proteína. Esta pasta contiene elevadas cantidades de ácido fítico. Los fitatos reducen la disponibilidad biológica del zinc, calcio, magnesio y quizá del hierro; además forman complejos con la proteína que reducen la solubilidad y digestibilidad de ésta. En la pasta también se han encontrado altos niveles de selenio, debido a que el ajonjolí es una planta fijadora del selenio del suelo. El selenio se asocia con la proteína y forma selenaminoácidos (23).

La proteína de la semilla de ajonjolí, comparada con el patrón proporcionado por la FAO es muy rica en aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y triptofano, pero presenta deficiencias en isoleucina y lisina. Siendo de particular interés la riqueza en el contenido de aminoácidos azufrados que pueden complementar a otras proteínas de leguminosas y oleaginosas (12,23,49).

Trigo.-

El trigo es un cereal (del género *Triticum*) que ha estado presente en la dieta del hombre desde tiempos tan lejanos que se pierden en la historia. Se cultiva en una gran variedad de regiones y latitudes, y su cultivo ocupa una superficie mayor que la de cualquier otro.

Por sus características reológicas, de él se han derivado infinidad de productos, dando como resultado que el trigo contribuye a la dieta mundial con más calorías y proteínas que ningún otro cultivo alimenticio.

La cantidad de proteína en el trigo oscila de 8 a 15% y el aminoácido limitante es la lisina. Durante la molienda se remueve una tercera parte de la lisina que contiene el trigo entero en sus capas superficiales. Los trigos con alto contenido proteico tienen por lo general cantidades más altas de las proteínas que forman el gluten, el cual es bajo en lisina; por lo que existe una relación inversa entre la cantidad de proteína del grano y la cantidad de lisina por gramo de proteína (35,45).

Maíz.-

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal que en algunos países de América latina, sobre todo en México y Centro América, así como en algunos países de Africa, viene a ser un alimento básico, por lo que en estos países el maíz provee cantidades significativas de calorías y proteína a la dieta humana. En zonas rurales el maíz provee hasta un 59 y 45% de la ingestión diaria de calorías y proteína respectivamente.

El maíz es un alimento de bajo contenido de proteína total; pero alto en carbohidratos, por lo que es una excelente fuente de energía. La proteína del maíz presenta una baja concentración de dos aminoácidos esenciales, lisina y triptofano, en comparación con los valores óptimos proporcionados por el patrón de la FAO.

Algunos de los cambios químicos en el contenido de nutrientes del maíz al someterlos al proceso alcalino de cocción, conocido como nixtamalización, son pérdidas de tiamina, riboflavina y niacina, así como el aumento en el contenido de calcio. El contenido de fibra cruda también decrece por la pérdida de la cáscara que recubre al grano. Respecto a los cambios en calidad proteica entre el maíz y la tortilla, se encuentra una pequeña tendencia hacia una mejor calidad para la tortilla (21).

Antecedentes de las Mezclas Cereal-Semilla de Algodón y Oleaginosas-Semilla de Algodón.-

Se han preparado combinaciones de diferentes variedades de arroz, trigo, y maíz con semilla de algodón, encontrándose atractivas. En tales combinaciones se ha tenido la ventaja de la suplementación de las proteínas de cereales (usualmente bajas en lisina) con las proteínas de oleaginosas (generalmente altas en lisina) para obtener alimentos con un mejor perfil de aminoácidos (60).

Investigaciones sobre la incorporación de harinas de semilla de algodón en la elaboración de tortillas han demostrado el incremento en el valor nutricional del producto, esto a raíz de un aumento del porcentaje de proteína, de obtener un perfil de aminoácidos más cercano al propuesto por la FAO y de alcanzar valores más altos en las pruebas de PER y digestibilidad. Además pruebas sensoriales demostraron que es posible suplementar a las tortillas con harinas de semilla de algodón hasta un nivel de 15% sin que haya un rechazo por parte del consumidor, aunque sí se observó un oscurecimiento del producto a medida que se fortificaba (44,66).

Muchas investigaciones se han abocado a la fortificación de la harina de trigo usada en panadería, mediante la adición de harinas de oleaginosas. Los problemas con los que se han enfrentado es el deterioro, en el pan, de las características reológicas y del color (60).

Concentrados proteicos de semilla de algodón se han usado para fortificar pan elevando el contenido de proteína a 17.5, 28.3 y hasta 30%, sin observar cambios significativos en la textura, tamaño de migaja, volumen alcanzado, etc. (56,60).

Comercialmente se produce un pan de alto contenido de proteína y alto contenido de fibra, en el que se ha reemplazado el 10% de harina de trigo por harina de semilla de algodón (68).

También se han elaborado mezclas de harina desengrasada de semilla de algodón con frijol de soya, resultando atractivas por la suplementación que se da entre ambas proteínas y por la posibilidad de elaborar extrudados a bajo costo y libres de factores antinutricionales y toxicológicos (34,80).

MATERIALES Y METODOS

M A T E R I A L E S

MATERIAS PRIMAS.

a) Pasta residual de semilla de algodón proveniente de la fábrica de jabón "La Esperanza", ubicada en la ciudad de Gómez Palacio, Durango; y obtenida, como residuo, en el proceso de extracción de aceite de semilla de algodón, mediante un sistema de prensado-disolvente, partiendo de semillas enteras y previamente trituradas.

b) Semilla de ajonjolí entera.

c) Harina de maíz nixtamalizado (comercial).

d) Harina de trigo (comercial).

M E T O D O S

1.- PREPARACION DE LA PASTA DE SEMILLA DE ALGODON

La materia prima recibida se homogenizó perfectamente de manera manual, se tomó una muestra de aproximadamente 11 kilogramos, los cuales se pasaron a través de un molino de martillos marca Weber Bros and White Metal Works, Inc., modelo SS2794, a fin de obtener un tamaño de partícula más pequeño, para lo cual se utilizó una malla # 40.

La pasta molida se homogenizó en una revolvedora mecánica marca Eili-Dicon (200 lbs.) durante 45 minutos.

2.- PROCESO DE EXTRACCION DE GOSIPOP DE LA PASTA DE SEMILLA DE ALGODON.

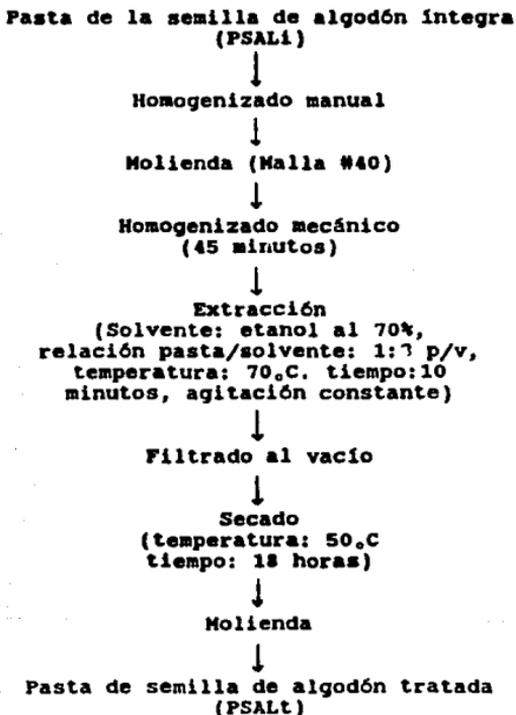
* El proceso de extracción utilizado fue el método propuesto por Sánchez I. CINVESTAV-IPN (1986) (76).

Se manejaron lotes de 5 kilogramos de pasta de semilla de algodón, en una marmita de acero inoxidable con chaqueta, a los cuales se les adicionó etanol al 70% en una relación de 1:3 (p/v), la temperatura se elevó a 70°C mediante el paso de vapor a través de la chaqueta. En cuanto se alcanzó la temperatura deseada, se sometió a agitación durante 10 minutos, por medio de una propela con motor de aire marca Arrow Engineering, modelo 6413. Para recuperar la fracción sólida, la suspensión se filtró al vacío usando embudo Buchner. El material sólido se secó en una estufa de tiro forzado marca J.M. Ortiz, serie 21576HC801, a una temperatura de 50°C durante aproximadamente 18 horas. Enseguida la pasta de semilla de algodón se pasó a un molino de bolas marca Norton, hasta obtener una textura fina y homogénea.

El peso del material recuperado fue de 4.3 kilogramos.
Este proceso se ilustra en el diagrama I.

D I A G R A M A I

Proceso de Extracción de gossipol de la pasta de la semilla de algodón



3.- PROCESO PARA LA OBTENCION DE CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON TRATADA.

a) Lavado ácido: Este se llevó a cabo con el fin de eliminar pigmentos, azúcares y otros compuestos solubles, a la pasta de semilla de algodón tratada.

En una marmita de acero inoxidable con chaqueta se colocaron 3.9 kilogramos de la pasta de semilla de algodón tratada, adicionando agua destilada en relación 1:10 (p/v). Se ajustó el pH a 4.0 ± 0.1 con ácido clorhídrico concentrado; se llevó a una temperatura de 30-35°C por medio de vapor a través de la marmita, y se sometió a agitación constante usando un propela con motor de aire marca Arrow Engineering, modelo 6413. Las condiciones de pH, temperatura y agitación se mantuvieron constantes durante 2 horas. Posteriormente se centrifugó en una centrifuga extractora de canasta modelo 205-SPQ, a 2800 rpm durante aproximadamente 10 minutos, desechando las aguas residuales. El sólido recuperado se lavó con agua destilada hasta que el pH residual fue el mismo que el del agua destilada.

b) Secado: el material sólido obtenido se secó en una estufa de tiro forzado marca J.M. Ortiz, serie 21576HC801, a una temperatura de 50°C durante aproximadamente 18 horas.

c) Molienda: el concentrado proteico obtenido se pasó a un molino de bolas marca Norton, hasta obtener un tamaño de partícula fina y homogénea.

El peso del material recuperado fue de 3.2 kilogramos.

Este proceso se ilustra en el diagrama II.

DIAGRAMA II

PROCESO PARA LA OBTENCION DE CONCENTRADO PROTEICO
DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON TRATADA

Pasta de semilla de algodón tratada
(PSALT)



Lavado ácido
(solvente: agua destilada
relación pasta/solvente: 1:10 p/v,
temperatura: 30-35°C, pH: 4.0 ± 0.1,
tiempo 2 horas, agitación constante)



Centrifugado
(velocidad: 2800 rpm
tiempo: 10 minutos)



Lavado con agua destilada
hasta neutralidad



Secado
(temperatura: 50°C
tiempo 18 horas)



Molienda



Concentrado proteico de pasta
de semilla de algodón tratada
(CPSAL)

4.- PROCESO PARA LA OBTENCION DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI

a) Descascarillado químico: se colocaron 12.15 kilogramos de semilla de ajonjolí en una marmita de acero inoxidable con chaqueta, se les adicionó una solución de NaOH al 6% en una relación de 1:3 (p/v), la temperatura se elevó a 45°C mediante el paso de vapor a través de la chaqueta y se sometió a agitación por medio de una propela eléctrica con una velocidad aproximada de 1700 rpm, durante 60 minutos. Al finalizar se desechó el líquido y las semillas se lavaron con agua corriente.

b) Separación semilla-cascarilla: las semillas de ajonjolí se depositaron en una solución de NaCl al 15%, en relación 1:2 (p/v) y se friccionaron manualmente para favorecer el descascarillado. La separación se llevó a cabo por diferencia de densidad y la recuperación de semillas fue manual; una vez obtenidas las semillas descascarilladas se lavaron con agua corriente para eliminar el exceso de sales y se llevaron a secar en una estufa de tiro forzado marca J.M. Ortiz serie 21576HC801, a una temperatura de 50°C.

c) Desengrasado: Las semillas secas se sometieron a una presión de 8 toneladas métricas en una prensa hidráulica marca Carver, modelo C, durante 60 minutos; enseguida se procedió a una extracción con éter de petróleo en un sistema Soxhlet durante 18 horas.

d) Secado: Las semillas desengrasadas se secaron en una estufa de tiro forzado a 50°C.

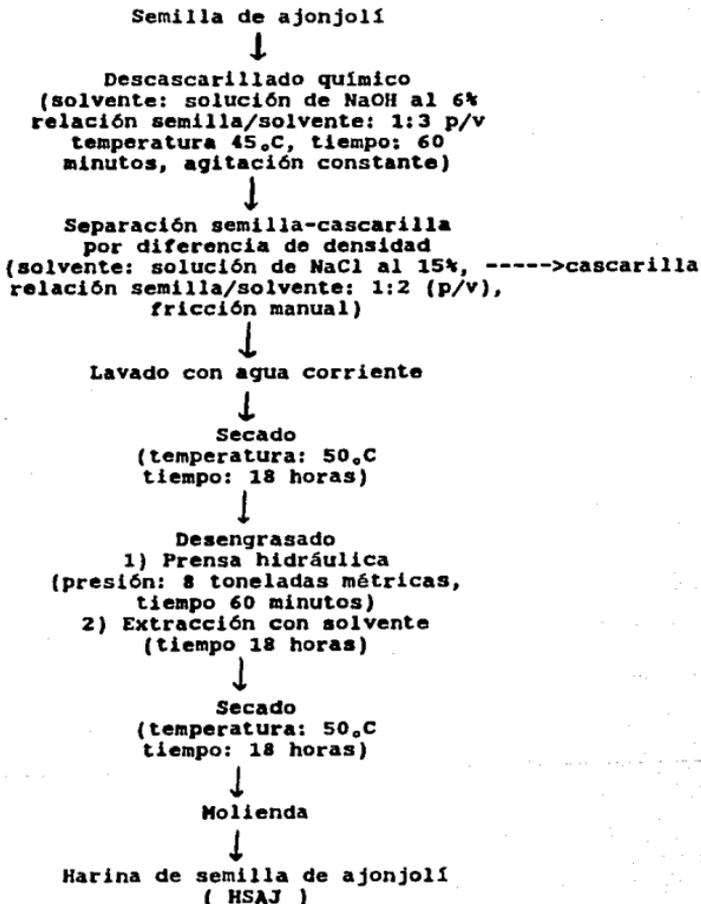
e) Molienda: Las semillas secas se pasaron a un molino de martillos marca Weber Bros & White Metal Works Inc. modelo 5S2794, a fin de obtener una harina de textura fina y homogénea.

El peso de harina de semilla de ajonjolí obtenido fue de 3.0 kilogramos.

Este proceso se ilustra en el diagrama III.

DIAGRAMA III

PROCESO PARA LA OBTENCION DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLÍ DESENGRASADA

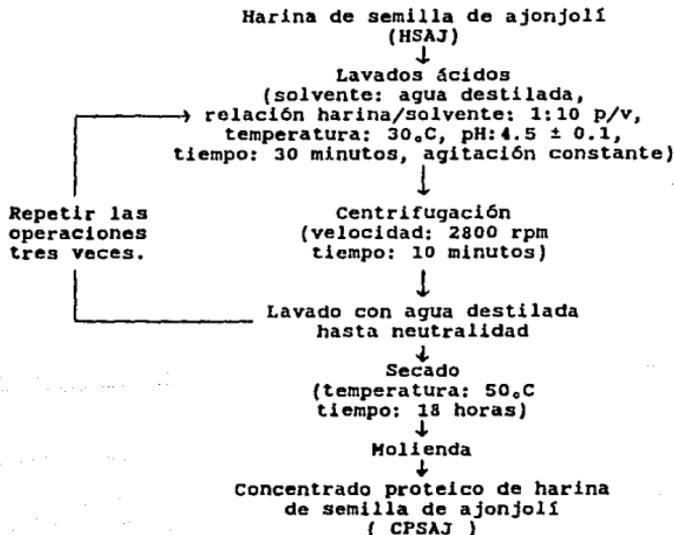


5.- PROCESO PARA LA OBTENCION DE CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI.

En una marmita de acero inoxidable con chaqueta se colocó harina de semilla de ajonjolí desengrasada, se agregó agua destilada en relación 1:10 (p/v), y se ajustó el pH a 4.5 ± 0.1 con ácido clorhídrico 1.0 N, se sometió a agitación constante con ayuda de una propela eléctrica con velocidad aproximada de 1700 rpm, a temperatura ambiente durante 30 minutos. Después se centrifugó en una centrifuga extractora de canasta, modelo 305-SPQ, a 2800 rpm, durante aproximadamente 10 minutos, desechando las aguas residuales. El material sólido se lavó con agua destilada para eliminar la acidez residual. Estas operaciones se repitieron 3 veces. El material recuperado se llevó a una estufa de tiro forzado marca J.M. Ortiz, serie 21576HC801, para secarlo a una temperatura de 50°C durante aproximadamente 18 horas. El concentrado proteico obtenido se pasó a un molino de bolas marca Norton, hasta obtener un tamaño de partícula fina y homogénea. Este proceso se ilustra en el diagrama IV.

DIAGRAMA IV

PROCESO DE OBTENCION DE CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI



6.- PROTEINA CRUDA.- El método usado fue el de micro-Kjeldahl A.O.A.C. 42 014/70 (10).

* Cuantifica la materia nitrogenada total, es decir, nitrógeno proteínico y el nitrógeno de sustancias no proteínicas.

Se pesaron de 20 a 50 mg de muestra, se colocaron en un matraz micro-Kjeldahl, se le adicionaron 2.04 g de mezcla catalítica (40 mg de óxido de mercurio más 2.0 g de sulfato de potasio) y 2.5 ml de ácido sulfúrico concentrado resbalándolo por las paredes del matraz. El matraz se colocó en un sistema de digestión Lab ConCo modelo 60300C a temperatura moderada; en cuanto no se formó espuma se pudo aumentar gradualmente la temperatura hasta que se logró una ebullición constante. A partir de que el líquido hubo clarificado se continuó el calentamiento por dos horas más. Posteriormente la muestra se transfirió a un destilador marca Tecator modelo 1002, adicionando 10 ml de solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio (esta solución se preparó diluyendo 60 g de hidróxido de sodio y 5 g de tiosulfato de sodio y aforando a 100 ml). El destilado se colectó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml, el cual contenía 5 ml de solución saturada de ácido bórico al 5% más 3 gotas de indicador Kjeldahl (solución alcohólica de rojo de metilo al 0.2% y solución alcohólica de azul de metileno al 0.2% en relación 2:1). Se recolectaron 75 ml de destilado y se titularon con ácido clorhídrico 0.01N hasta el vire de verde a violeta del indicador.

Cálculos :

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(\text{ml de HCl gastado} - \text{ml blanco}) \{N \text{ de HCl}\} (14.007)}{\text{total} \quad \text{Peso de la muestra en mg}} \times 100$$

El valor del nitrógeno total se multiplicó por 6.25 para la obtención del porcentaje de proteína cruda.

7.- EXTRACTO ETereo.- A.O.A.C. 7-048/70 (10).

Se pesaron de 2 a 3 gramos de muestra seca y se colocaron dentro de un cartucho de papel filtro. El cartucho con la muestra se colocó en un equipo Soxhlet marca Pyrex; en la parte inferior se colocó un matraz de fondo plano, puesto previamente a peso constante, conteniendo éter de petróleo en un volumen que permitiera la descarga del solvente. Se procedió a efectuar la extracción durante un tiempo aproximado de 16 horas. Una vez transcurrido ese tiempo el cartucho fue retenido y el solvente se recuperó en el mismo equipo. El matraz de fondo plano conteniendo el extracto etéreo se colocó en una estufa de vacío Precision Scientific modelo 19, hasta que estuvo a peso constante. El equipo utilizado fue un calentador múltiple de extracción Lab-Line modelo 5000.

Cálculos :

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{(Peso del crisol con cenizas - Peso del crisol)}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

10.- HUMEDAD.- A.O.A.C. 7-003/70 (10).

Se colocaron 2 gramos de muestra en una charola de aluminio puesta previamente a peso constante. Se llevó la charola a una estufa de vacío Precision Scientific, modelo 19, a una temperatura de 90°C hasta obtener un peso constante. Posteriormente se enfrió en un desecador y se pesó.

Cálculos :

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de la charola con muestra fresca} - \text{Peso de la charola con muestra seca}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

11.- EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO.

El cálculo del extracto libre de nitrógeno se realizó por diferencia de la manera siguiente:

$$\% \text{Extracto libre de nitrógeno} = 100 - \left(\% \text{proteína cruda, \% extracto etéreo} \right) \\ - \left(\% \text{fibra cruda, \% cenizas y \% humedad} \right)$$

12.- GOSIPOP LIBRE.- Técnica de la A.O.C.S. Ba-7-58/64 (6), según modificación hecha por Tejada de Hernández, I. INIP-SARH (84).

Preparación de la muestra: se pesó 1.0 g de muestra, colocándola en un matraz para iodo que tuviera el fondo cubierto con perlas de vidrio, se agregaron 50 ml de acetona al 70%, agitando vigorosamente durante 1 hora, enseguida se filtró usando papel filtro de porosidad media descartando las primeras porciones del filtrado, y almacenando en condiciones herméticas.

Cuantificación: se tomaron dos series de alícuotas por triplicado del filtrado (serie A y serie B), de 10 ml cada una en matraces volumétricos de 25 ml.

Las alícuotas designadas como A se diluyeron al aforo con una solución acuosa de alcohol isopropílico al 80%.

A las alícuotas designadas como B, se les añadió 2 ml de anilina redestilada, y se calentaron sin tapar en agua hirviendo durante 30 minutos (se preparó un blanco con 10 ml de acetona al 70% y 2 ml de anilina, dándosele el mismo tratamiento de calentamiento). Se dejaron enfriar y se les añadió alcohol isopropílico al 80% hasta el aforo.

Se determinó la densidad óptica a 440 nm contra el blanco preparado en la serie B (si la densidad óptica de este blanco es mayor que 0.02, ajustando previamente a 100% de transmitancia con el blanco de la serie A, repetir la prueba redestilando nuevamente la anilina).

Se corrigió la densidad óptica de cada alícuota del grupo B de la manera siguiente :

$$D.O. \text{ corregida} = D.O. (B) - D.O. (A)$$

Se calculó la cantidad de gospol libre de la muestra multiplicando por la pendiente de la recta más probable obtenida mediante una curva estándar previamente preparada.

La curva estándar se preparó usando una muestra consistente en una solución de gospol de concentración conocida, preparada recientemente; los rangos de concentración de la curva fueron de 0.01 a 2.0 mg/25 ml.

Esta determinación se realizó usando un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 1A UV/VIS.

13.- GOSIPOL TOTAL.- Técnica de la A.O.C.S. Ba-8-78 (reemplaza a Ba-8-55) (7), según modificación de Tejada de Hernández, I. INIP-SARH (84).

- * Cuantifica gospol total y compuestos químicamente afines.

Preparación de la muestra: se pesó exactamente 1 g de muestra y se transfirió a un matraz volumétrico de 100 ml con tapón de vidrio, adicionándole, con pipeta volumétrica y lavando bien las paredes del matraz, 25 ml de una solución de ácido oxálico 0.1 M en mezcla azeotrópica de metil etil cetona (destilada recientemente).

El blanco se preparó colocando con pipeta volumétrica 25 ml de solución de ácido oxálico en otro matraz volumétrico de 100 ml. Se colocaron ambos matraces tapados en un baño de agua a 75°C por 6 a 7 horas (es mejor calentar las muestras toda la noche, aproximadamente 16 horas). Se enfriaron a temperatura ambiente y se les agregó alrededor de 25 ml de acetona al 70%. Se les adicionó 5 ml de solución de acetato de bario 0.5 M con una pipeta volumétrica, tanto a la muestra como al blanco.

Se mezclaron perfectamente y se aforaron a 100 ml con acetona al 70%; se dejaron reposar durante 10 minutos para que precipitara todo el oxalato de bario que se formó, y se filtró recogiendo el filtrado en un matraz con tapón de vidrio, eliminando la primera porción del filtrado.

Cuantificación: se tomaron 2 series de alícuotas por triplicado, comprendidas entre 0.25 y 1.0 ml, de cada filtrado en matraces volumétricos de 25 ml (se tomó la misma alícuota para el blanco y la muestra). Enseguida se aforó una serie de alícuotas de la muestra y del blanco a 25 ml con alcohol isopropílico al 80%, designándolas alícuotas A.

A la otra serie de alícuotas, designadas B, se les agregó 2 ml de anilina redestilada, calentándolas después en un baño de agua hirviendo por 30 minutos. Los matraces se enfriaron y se aforaron a 25 ml con alcohol isopropílico al 80%.

La densidad óptica de las alícuotas A se midió a 440 nm contra el disolvente y la densidad óptica de las alícuotas B se midió a 440 nm contra el blanco.

La densidad óptica corregida de la muestra se calculó restando la densidad óptica de A de la densidad óptica de B y utilizando una curva estándar se determinó por interpolación la cantidad de gosisol total presente.

La curva estándar con rangos de concentración de 0.01 a 2.0 mg/25ml se elaboró utilizando como muestra una solución de gosisol de concentración conocida, la cual se preparó recientemente; se utilizó el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Esta determinación se realizó usando un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 1A UV/VIS.

14.- DETERMINACION DE ACIDO OXALICO.- A.O.A.C. 32-032/75 (11).

Reactivo precipitante.-

Solución A: se disolvieron 96.5 g de acetato de sodio anhidro por calentamiento en agua destilada y se aforó a 250 ml.

Solución B: se disolvieron 12.5 g de cloruro de calcio anhidro en 250 ml de una solución acuosa de ácido acético al 50%.

La solución A se mezcló con la solución B, dejando reposar en un refrigerador por 48 horas. Se filtró y se guardó en refrigeración.

Procedimiento: la muestras se secaron a 100°C en una estufa de vacío Precision Scientific, modelo 19, y se molieron en un mortero. Se pesaron de 1.0 a 2.0 g de muestra y se transfirieron a matraces aforados de 100 ml. Se adicionaron 50 ml de ácido sulfúrico al 5% y se calentaron los matraces en baño maría a 70°C durante 90 minutos, agitando constantemente. Después de enfriar los matraces, se añadió la cantidad necesaria de agua para aforar a 100 ml y se homogenizó perfectamente. Se tomó una alícuota de 10 ml y se colocó en un tubo de centrifuga. Se cetrifugó en una centrifuga Damon/IEC, modelo CU 5000, de 1500 a 2000 rpm durante 15 minutos y a continuación se decantó la solución en un tubo de ensayo y se adicionaron 6 ml del reactivo precipitante y se agitó. El oxalato de calcio se precipitó durante toda la noche.

El precipitado de oxalato de calcio se filtró en embudo Buchner usando papel filtro Whatman #42 filtrando al vacío y se lavó con agua destilada (si la muestra tiene grasa, adicionar 10 ml de éter de petróleo y continuar lavando con agua destilada).

Una vez filtrado, se colocó el papel filtro en un embudo de cola larga. A continuación se rompió el fondo del papel filtro y se bajó el precipitado con 50 ml de agua destilada caliente en un matraz erlenmeyer de 250 ml, después con 25 ml de ácido sulfúrico 2 N caliente y por último con 25 ml de agua destilada caliente. Se calentó la solución de 70 a 80°C y se tituló con permanganato de potasio (KMnO₄) 0.01 N, agitando hasta la aparición de un color rosa que duró alrededor de 30 segundos. Al mismo tiempo se corrió un blanco de reactivos.

Cálculos :

$$\% \text{ Oxalato de calcio} = \frac{\text{Volumen gastado de KMnO}_4 \times \text{Normalidad del KMnO}_4 \times 0.06405 \times 100}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

15.- DETERMINACION DE SELENIO.- Se usó la técnica de Price W.J. (71).

Preparación de la muestra: En un matraz Kjeldahl de 100 ml se pusieron 200 mg de muestra finamente molida y se le adicionaron 0.5 ml de ácido sulfúrico concentrado, 1.0 ml de ácido perclórico al 60% y 5 ml de ácido nítrico concentrado. Al inicio se dejó que la digestión se llevara a cabo lentamente y poco a poco se incrementó la temperatura hasta tener un reflujo constante. Cuando se completó la digestión de la materia orgánica, se enfrió y se transfirió a un matraz aforado de 50 ml y se llevó a ese volumen con agua desionizada.

La solución estándar se preparó con 1.0 g de selenio (R.A.) al que se le adicionaron 15 ml de ácido clorhídrico concentrado y 5 ml de ácido nítrico concentrado, se llevó a un volumen de 1 litro usando agua desionizada.

Determinación: A 50 ml de la solución problema se le adicionaron 5 ml de solución de pirrolidín ditiocarbamato de amonio (APDC) preparada de la siguiente manera: disolver 1 g de APDC en agua, aforar a 100 ml y filtrar antes de usar. Después se ajustó el pH a 5 usando ácido acético y una solución de sosa cáustica. La solución se transfirió a un embudo de separación y se extrajo el complejo APDC formado (que en ocasiones precipita) añadiendo 4 ml de metil isobutil cetona, agitando vigorosamente 30 segundos y dejando reposar 2 minutos. A la fase acuosa se le hizo otra extracción usando 1 ml de metil isobutil cetona y repitiendo el procedimiento descrito.

Se descartó la fase acuosa (ahora libre de color) y ambos extractos se mezclaron, y se filtraron. El extracto obtenido fue inyectado en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 560 a una longitud de onda de 196.1 nm con flama de hidrógeno.

Los estándares se prepararon siguiendo el mismo procedimiento.

Cálculos:

$$\text{ppm de Se} = \frac{\text{lectura de la muestra} \times \mu\text{g de Se/ml en la solución estándar}}{\text{lectura del estándar} \times \text{gramos de la muestra}}$$

16.- DIGESTIBILIDAD ENZIMATICA " IN VITRO ".- A.O.A.C. 7-040/70 (10).

Se pesaron 0.5 g de muestra desengrasada y seca, se le adicionó 150 ml de una suspensión de pepsina (actividad 1:10,000) con una concentración de 2.0 g/l en solución HCl 0.075 N. Las muestras y el testigo (que contiene sólo la suspensión de pepsina) se colocaron en una estufa de incubación marca J.M. Ortiz, serie 31576E7011, a 45°C con agitación constante durante 16 horas, el residuo no digerido se separó por centrifugación a 3000 rpm, en una centrifuga Damon/IEC, modelo CU 5000; del sobrenadante se tomaron alícuotas de 5 ml para la determinación del nitrógeno total solubilizado por aplicación de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{\text{Nitrógeno solubilizado de la muestra} - \text{Nitrógeno de la pepsina (blanco)}}{\text{Nitrógeno total de la muestra}} \times 100$$

17.- TRIPTOFANO.- Se utilizó la técnica de Lombard and Lange (59).

Procedimiento: se pesó por duplicado una cantidad de muestra que tuviera alrededor de 600 mg de proteína. Se transfirió a matraces Erlenmeyer de 250 ml con tapón rosca; se les agregaron los siguientes reactivos: 25 ml de solución acuosa de hidróxido de sodio 0.05N, 10 gotas de solución acuosa de cianuro de sodio al 5% y 10 ml de solución enzimática, la cual se preparó "in situ" (2 g de papaina en 80 ml de agua destilada, agitando fuertemente 3 minutos, filtrando y llevando a un volumen de 100 ml).

Los matraces tapados fueron guardados en reposo a 70.C por una noche, después se enfriaron, el contenido de los matraces fue transferido a matraces volumétricos de 100 ml, donde se aforaron con agua destilada; una alícuota de 5 ml de este hidrolizado fue transferida a tubos de centrifuga, y a cada uno se le adicionaron 5 ml de una solución acuosa de hidróxido de potasio 0.1 N y 3 ml de tetracloruro de carbono (CCl₄).

Los tubos tapados fueron agitados durante 10 minutos, después se centrifugaron en una centrifuga Damon/IEC modelo CU 5000, a 3000 rpm de 10 a 15 minutos.

Un mililitro del sobrenadante claro se pipeteó en 3 tubos, 2 marcados como T (prueba) y uno B (blanco). Se añadió 1 ml de p-dimetilaminobenzaldehído al 5% en ácido clorhídrico concentrado a los tubos T y 1 ml de agua destilada al tubo B, enseguida se adicionaron 5 ml de ácido clorhídrico concentrado a los tres tubos. El contenido de cada tubo fue mezclado. Se agregaron 2 gotas de solución acuosa de nitrito de sodio al 0.2% a cada tubo, después de 10 minutos los tubos fueron agitados y se dejaron reposar 5 minutos para que se desarrollara el color. La intensidad del color fue leída con su correspondiente blanco a 590 nm en un espectrofotómetro Perkin-Elmer lambda 1A UV/VIS (el color es estable por cerca de una hora).

Elaboración de la curva estándar: se preparó una solución estándar de triptofano disolviendo 10 mg de triptofano en un poco de agua destilada y ácido clorhídrico concentrado, el necesario para disolver, y aforando a 100 ml (1 ml de solución contenía 100 microgramos de triptofano), con ella se prepararon cantidades conocidas de triptofano que van de 10 a 100 microgramos, añadiendo solución acuosa de hidróxido de sodio 0.05 N para lograr en todos los tubos un volumen de 1ml; el blanco contenía únicamente 1 ml de solución de hidróxido de sodio 0.05 N. A cada tubo se añadió 1 ml de solución de p-dimetilaminobenzaldehído al 5% en ácido clorhídrico concentrado, 5 ml de ácido clorhídrico concentrado y 2 gotas de solución acuosa de nitrito de sodio al 0.2%. Se leyó la intensidad de color a 590 nm.

Cálculos : se restó a la densidad óptica de cada tubo, la densidad óptica de su correspondiente blanco, usando la curva estándar se determinó por interpolación la cantidad de triptofano en la muestra.

$$\frac{\text{g Trp}}{100 \text{ g de proteína}} = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{g de Trp en} \\ \text{la muestra} \end{array} \right) (100) (\text{F.D.})}{\text{peso de la muestra}} \times \left(\begin{array}{l} \text{g de proteína en} \\ \text{1 g de muestra} \end{array} \right)$$

$$\text{donde F.D. (factor de dilución)} = 100 \times \frac{13}{5} = 260$$

18.- LISINA DISPONIBLE.- Se utilizó la técnica de Carpenter (26).

Procedimiento : en un matraz erlenmeyer de 125 ml, se pesó una cantidad de muestra molida que contenía entre 15 y 30 mg de nitrógeno, se suspendió en 5 ml de una solución de bicarbonato de sodio al 8%. Se agitó manualmente para homogenizar y se dejó en reposo durante 10 minutos, se añadieron 6 ml de flúor 2,4 dinitrobenceno al 2.5% recién preparado (0.3 ml se solubilizaron en 11.8 ml de etanol). Se agitó durante 2 horas. Enseguida se evaporó el etanol usando parrilla a baja temperatura, y se enfrió la muestra.

Se agregaron 25 ml de ácido clorhídrico y el matraz se puso a reflujo durante 16 horas a una temperatura de 130-150.C.

Se enfrío y se filtró la muestra, lavando varias veces el matraz y el filtro con agua destilada, y se llevó a un volumen de 100 ml. Se tomó una alícuota de 10 ml y se lavó con porciones de 10-20 ml de éter etílico 3 veces, descartando la capa etérea. Se evaporó el exceso de éter y se tomaron 3 alícuotas de 2 ml cada una :

- Primera alícuota: se aforó a 10 ml usando agua destilada y se marcó como T (prueba).
- Segunda alícuota: se pusieron los 2 ml en un matraz erlenmeyer de 50 ml, se les agregó 10 ml de agua destilada y unas gotas de fenolftaleína y se titularon con hidróxido de sodio 2 N. Se anotó la cantidad usada y se descartó la muestra.
- Tercera alícuota: los 2 ml se pusieron en un vaso de precipitados de 50 ml, se les agregó la misma cantidad de hidróxido de sodio 2 N gastada en la alícuota anterior, se ajustó el pH en un rango de 8.0 a 8.5 usando buffer de carbonatos de pH 8.5. Bajo campana se le añadieron 0.05 ml de metilcloroformiato dejando reposar 10 minutos. Se le añadieron 0.75 ml de ácido clorhídrico concentrado, cuidando que la efervecencia no fuera excesiva. Se lavó con porciones de 10-20 ml de éter etílico 3 veces y después se eliminó el exceso de éter. Se aforó a 10 ml de agua destilada y se marcó como B (blanco).

La intensidad de color de la primera y tercera alícuotas fue leída a 435 nm en un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 1A UV/VIS, usando como blanco agua destilada.

Elaboración de curva estándar: se pesaron 17.7 mg de c-DNP-lisina-HCl, aforando a 100 ml con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml y se aforó a 100 ml. La solución contenía 0.005 micromoles de lisina/ml. Se tomaron alícuotas de 1 a 10 ml y se aforaron a 10 ml con agua destilada. La intensidad de color se leyó a 435 nm.

Cálculos: se restó a la densidad óptica de cada prueba, la densidad óptica de su correspondiente blanco, usando la curva estándar se determinó por interpolación los micromoles de lisina presentes en la muestra

$$\frac{\text{g Lys disponible}}{100 \text{ g de proteína}} = \frac{(\mu\text{moles de Lys en la muestra}) (F.D.) (100) (146.19 \times 10^{-6})}{\text{peso de la muestra}} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{g proteína} \\ \text{en 1 g de} \\ \text{muestra} \end{array} \right\}$$

$$\text{donde F.D. (factor de dilución)} = 100 \times \frac{10}{2} = 500$$

19.- DETERMINACION CUANTITATIVA DE AMINOACIDOS.

a) Hidrólisis de la muestra: se pesó aproximadamente 2mg de muestra desengrasada, seca y finamente molida, colocándose en una ampollita de vidrio. Se le adicionó 1.0 ml de HCl 6N, se selló y se mantuvo durante un tiempo de 22 horas a 100°C, para permitir la hidrólisis total de la muestra.

b) Preparación de la muestra hidrolizada y cuantificación de aminoácidos: una vez hidrolizada la muestra se vació en una caja petri, la cual se colocó en un desecador con vacío hasta llevarla a sequedad a temperatura ambiente. El producto se diluyó con 1 ml de solución buffer de citrato de sodio (pH 3.25) y se filtró a través de milipore. Del filtrado se tomaron 100 µl y se inyectó a un autoanalizador de aminoácidos.

Se obtuvieron gráficas impresas mediante un registrador, éstas gráficas fueron cuantificadas por el equipo integrador con que cuenta el analizador. Los resultados se reportaron en gramos de aminoácido/100 gramos de proteína y en gramos de aminoácido/100 gramos de muestra.

20.-EVALUACION BIOLOGICA.-

Se llevó a cabo por la determinación de Relación de Eficiencia Proteica (REF) y Utilización Neta de Proteína (UNP), utilizando el método modificado de Sotelo y Lucas (78).

Diets.- Las dietas fueron preparadas de acuerdo al método 39.166/70 de la A.O.A.C. (43), ver composición en la tabla VI.

TABLA VI

COMPOSICION DE LAS DIETAS UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS BIOLOGICAS

COMPONENTES	PORCENTAJES
Proteína	10.0
Mezcla de sales minerales*	5.0
Aceite vegetal	8.0
Fibra cruda (Celulosa)	1.0
Almidon de maíz	50.0
Azucar refinada	25.0
Mezcla de vitaminas**	1.0

* Ver tabla VII

** Ver tabla VIII

TABLA VII

COMPOSICION DE LA MEZCLA DE SALES MINERALES
UTILIZADA EN LAS DIETAS PARA PRUEBAS BIOLOGICAS*

SALES MINERALES	CANTIDAD (GRAMOS)
Cloruro de sodio	139.3
Fosfato monobásico de potasio	389.0
Sulfato de magnesio anhidro	57.3
Carbonato de calcio	381.4
Sulfato ferroso-7H ₂ O	27.0
Sulfato de manganeso-H ₂ O	4.01
Yoduro de potasio	0.79
Sulfato de zinc-7H ₂ O	0.548
Sulfato cuprico-H ₂ O	0.477
Cloruro de cobalto-6H ₂ O	0.023

* Cantidades reportadas para hacer 1000 gramos de mezcla de sales minerales.

TABLA VIII

COMPOSICION DE LA MEZCLA DE VITAMINAS
UTILIZADA EN LAS DIETAS PARA PRUEBAS BIOLOGICAS*

VITAMINAS	CANTIDAD
Vitamina A	200,000 (U. I.)
Vitamina B	20,000 (U. I.)
Vitamina E	1,000 (U. I.)
Menadiona	0.05 gramos
Colina	20.0 gramos
Acido p-aminobenzoico	1.0 gramos
Inositol	1.0 gramos
Niacina	0.4 gramos
Pantotenato de Calcio	0.4 gramos
Riboflavina	0.08 gramos
Tiamina-HCl	0.05 gramos
Piridoxina-HCl	0.05 gramos
Acido fólico	0.02 gramos
Biotina	0.004 gramos
Vitamina B12	0.0003 gramos
Glucosa para hacer	100.0 gramos

* Cantidades de vitamina para hacer 100 gramos de mezcla.

A todas las dietas se les cuantificó el contenido de nitrógeno total por el método de micro-Kjeldahl 42.014/70 de la A.O.A.C.; para obtener el valor de proteína cruda se multiplicó el valor de nitrógeno total por 6.25.

Características de los animales.- Se seleccionaron ratas machos cepa Wistar, con una edad de 22 a 23 días, recién destetadas y con un peso aproximado de 40 a 60 gramos, proporcionadas por el Bioterio del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Se emplearon lotes de 6 animales cada uno, los cuales se mantuvieron 3 días en periodo de adaptación. Después cada rata se colocó en jaulas individuales proporcionándoles alimento y agua "ad libitum", en un periodo de ensayo de 21 días, llevándose un registro del alimento consumido y del peso corporal de las ratas.

Los animales se sacrificaron con cloroformo, se les hizo una incisión en la cavidad abdominal y se les extrajo el hígado, los cuales se pesaron y se secaron a 50°C durante 72 horas. Se determinó el contenido de humedad del tejido y se molió en mortero. A las muestras molidas se les cuantificó el contenido de nitrógeno total por el método de micro-Kjeldahl 42.014/70 de la A.O.A.C.

Los cálculos para la determinación de REP y UNP se describen a continuación:

$$\text{REP} = \frac{\text{Peso ganado (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

El REP se corrigió con caseína a 2.5

$$\text{UNP} = \frac{\text{Nitrógeno retenido}}{\text{Nitrógeno total ingerido en el grupo de prueba}}$$

de donde:

$$\text{Nitrógeno retenido} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Nitrógeno corporal} \\ \text{del grupo de prueba} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Nitrógeno corporal del} \\ \text{grupo aprotéico} \end{array} \right\}$$

$$\text{Nitrógeno corporal} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Nitrógeno total} \\ \text{en hígado} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Peso del} \\ \text{hígado} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Peso final del} \\ \text{grupo de prueba} \end{array} \right\}}{\text{-----}}$$

100

21.- CALIFICACION QUIMICA.-

La proporción de concentrado proteico de pasta de semilla de algodón para la elaboración de las diferentes mezclas se determinó en base al contenido de aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y para el concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz se realizó en base al contenido de lisina. Se graficó la calificación química obtenida por cada uno de los aminoácidos en las diferentes proporciones de las dietas con relación al patrón FAO/WHO (1973) y se obtuvo el punto de intersección que corresponde a la suplementación proteica más favorable (4).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la presente investigación se usó como materia prima la pasta de semilla de algodón, subproducto obtenido en la industria aceitera; la preparación de ésta implicó una molienda y homogenización. Se hicieron pruebas para la eliminación de la cascarilla presente en la pasta mediante un tamizado, pero debido a que la cascarilla se encontraba muy fraccionada, no se obtuvo un cambio significativo en la composición química de la pasta, por lo que se optó a no realizar el descascarillado.

Los valores correspondientes a la composición química aproximada de la pasta de semilla de algodón íntegra se presentan en la tabla IX. Su contenido de proteína fue de 39.99% en base seca, muy similar al reportado por Sánchez (76) de 38.28%. Esto es predecible si se considera que las pastas de algodón usadas en ambos trabajos tienen la misma procedencia.

TABLA IX

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON INTEGRA (PSAL₁), PASTA DE SEMILLA DE ALGODON TRATADA (PSAL₂), Y CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON (CPSAL)

MUESTRA ----- COMPONENTE(%):	PSAL ₁		PSAL ₂		CPSAL	
	BH	BS	BH	BS	BH	BS
HUMEDAD	6.55	----	6.66	----	4.81	----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	37.35	39.99	39.80	42.64	46.50	48.84
CENIZAS	5.86	6.27	5.70	6.10	1.91	2.00
FIBRA CRUDA	14.20	15.20	17.20	18.41	17.36	18.23
EXTRACTO ETereo	2.50	2.67	2.05	2.19	2.53	2.65
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	33.49	35.86	28.59	30.66	26.89	28.28

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

Otros autores (13,55) han reportado contenidos de proteína en harinas de semilla de algodón que varían de 38 a 57%. El porcentaje de proteína, así como el de sus otros componentes, pueden variar dependiendo de algunos factores que determinan su calidad como son: variedad, condiciones agronómicas de cultivo, procesos de extracción del aceite y proceso de almacenamiento de la harina (35). El descascarillado de la semilla tiene una influencia determinante en el contenido final de proteína en la pasta (78). Es común que se obtenga una pasta con un contenido de proteína del 41% (35). Los altos contenidos de fibra (15.20% base seca) encontrados en la materia prima son justificables debido a que la semilla no recibió un descascarillado previo a la extracción del aceite.

La composición química aproximada de la pasta de semilla de algodón tratada se muestra en la tabla IX. Como se puede observar, con el tratamiento de eliminación de gossipol hubo un ligero incremento en el contenido de proteína, sin embargo, se afectó el color de la pasta tornándose de una coloración más oscura.

Los valores correspondientes a la composición química aproximada del concentrado proteico de pasta de semilla de algodón elaborado se presentan también en la tabla IX.

Con la elaboración de concentrados proteicos se logra un aumento en el contenido y la pureza de la proteína en las pastas y harinas de semilla de algodón, incrementando con ello la potencialidad de uso de estas últimas (60).

Mediante los lavados efectuados durante la preparación del concentrado proteico se eliminó el desagradable aroma característico de la materia prima, así como los residuos del etanol usado; y como puede observarse en la tabla IX, también hubo una disminución en el contenido de cenizas, por pérdida de sales minerales. Al llevarse a cabo los lavados ácidos se cuidó que el pH se mantuviera constante en un valor de 4.0 ± 0.1 , evitando con esto pérdidas de proteína, ya que es el pH al cual la fracción proteica " non storage protein ", que es la de mayor calidad nutricional, presenta la menor solubilidad (55,56).

El contenido de proteína alcanzado en el concentrado proteico fue de 48.84%, base seca; ligeramente inferior al reportado por Sánchez (76) de 51.76%. Lawhon y col (55), así como Lusas y col (60) reportan contenidos de proteína en concentrados de harina de algodón que van de 64 a 74%, base seca, dependiendo del proceso de obtención usado. Al comparar el valor de proteína cruda obtenido con los valores reportados en la literatura, se aprecia que éste es bajo, pero debe considerarse que en los trabajos reportados se ha usado como materia prima semillas de algodón, o bien harinas de algodón desengrasadas y descascarilladas.

El contenido de gosispol libre y gosispol total en pasta de semilla de algodón íntegra, pasta de semilla de algodón tratada y concentrado proteico de pasta de semilla de algodón se muestran en la tabla X.

TABLA X

CONTENIDO DE GOSIPOL EN PASTA DE SEMILLA DE ALGODON,
PASTA DE SEMILLA DE ALGODON TRATADA Y CONCENTRADO
PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON.

MUESTRA	GOSIPOL LIBRE (%)	GOSIPOL TOTAL (%)
Pasta de semilla de algodón íntegra	0.0600	1.0730
Pasta de semilla de algodón tratada	0.0255	0.9839
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón	0.0242	0.9242

El contenido inicial de gosispol en la semilla, el acondicionamiento de la semilla para la extracción y las condiciones de extracción, determinan la cantidad de gosispol residual en las pastas. El contenido de gosispol libre encontrado por algunos autores en pastas va de 0.02 a 0.5%, mientras que el rango para gosispol total va de 0.5 a 1.2%. Este último se ve influenciado sobre todo por el acondicionamiento que recibe la semilla para la extracción de aceite (17).

Los valores de gosispol libre, 0.06%, y gosispol total, 1.073%, obtenidos para pasta de semilla de algodón íntegra, caen dentro de los rangos establecidos en la literatura (17). Aunque el valor de gosispol libre es bajo, el de gosispol total es alto y nos indica que gran parte del gosispol se encuentra unido a la proteína, afectando la calidad nutricional de la pasta.

Mediante el proceso de extracción de gosispol, se logró una remoción de aproximadamente el 60% de gosispol libre. Sánchez (76) usando el mismo método logró una remoción aproximada del 70%.

Los valores de gosisol libre de 0.0242% y gosisol total 0.9242%, obtenidos para el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, están por debajo del nivel máximo permitido por FAO/WHO que es de 0.06% para gosisol libre y 1.2% para gosisol total. También cumple con las especificaciones de la FDA que limita la presencia de gosisol libre en alimentos de consumo humano a 0.0450% (62).

En la tabla XI se encuentra expresada la composición química aproximada de harina de semilla de ajonjolí y concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí. Como se puede observar el contenido de proteína en harina de semilla de ajonjolí fue de 45.58% en base seca. Este se encuentra dentro de lo reportado por Brito y Nuñez (23) que obtuvieron valores de 43.2, 45.6 y 51.3%. Sin embargo, el valor de proteína obtenido fue ligeramente más alto a lo reportado por Báez y Bourgues (12) y Barrón (15) que encontraron valores de 44.25 y 44.28% respectivamente.

TABLA XI
COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA
DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI (HSAJ) Y
CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI (CPSAJ)

: MUESTRA ----- COMPONENTE(%):	HSAJ		CPSAJ	
	BH	BS	BH	BS
HUMEDAD	4.23	-----	5.45	-----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	43.65	45.58	52.12	55.12
CENIZAS	6.76	7.06	6.36	6.73
FIBRA CRUDA	5.69	5.94	7.42	7.85
EXTRACTO ETEREO	13.22	13.80	13.43	14.20
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	26.45	27.62	15.22	16.10

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

En el concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí desengrasada se encontró un valor de 55.12% para proteína lo que indica que se logró elevar el contenido de proteína un 24.7% con respecto a la harina de semilla de ajonjolí desengrasada. Barrón (15) obtuvo, mediante el mismo procedimiento un concentrado proteico de pasta de semilla de ajonjolí con un contenido de proteína menor al que se obtuvo en este trabajo (48.90%).

El contenido de extracto etéreo en concentrado, tanto para harina de semilla de ajonjolí desengrasada como para su correspondiente concentrado proteico, tuvo un valor aproximado de 14%. Varios autores (12,15,23,49,81) reportan contenidos para harinas de semilla de ajonjolí desengrasadas que van de 0.5 a 5.2%, dependiendo del proceso de extracción del aceite. Comparando el valor de extracto etéreo obtenido con los datos reportados en la literatura anteriormente citada, se observa que éste es alto, lo que puede ser debido a que el proceso de extracción no fue suficientemente enérgico para eliminar la mayor parte del aceite.

Al elaborar un concentrado proteico a partir de la semilla de ajonjolí, no sólo se incrementa el contenido de proteína por eliminación de cascarrilla y aceite, sino que durante los lavados ácidos se eliminan compuestos antinutricionales como ácido oxálico, ácido fítico y selenio (49).

Con respecto a estos factores antinutricionales puede observarse en la tabla XII el contenido promedio de ácido oxálico en harina de semilla de ajonjolí desengrasada y descascarillada, y concentrado proteico siendo de 0.356 y 0.266% respectivamente. Báez y Bourgues (12) reportan contenidos de ácido oxálico en harina de ajonjolí desengrasada y descascarillada de 1.21 y 3.24%; mientras que Brito y Nuñez (23) dan un valor de 0.176%. Por su parte Johnson y col (49) hacen una recopilación de datos y encuentran un rango que va de 0.36 a 0.13% en harina de semilla de ajonjolí desengrasada y descascarillada. Los resultados obtenidos demuestran que el porcentaje de ácido oxálico en harinas de ajonjolí se encuentra determinado por la calidad del descascarillado que se le practique a la semilla, ya que este ácido se encuentra primordialmente en la cascarrilla en forma de oxalato de calcio (49).

El contenido de ácido oxálico en el concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí tuvo una reducción aproximada de 25% en relación a la harina. Esta reducción pudo ser debido a la solubilización y pérdida del ácido durante los lavados.

TABLA XII

CONTENIDO DE ACIDO OXALICO EN HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI
Y CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI

MUESTRA	ACIDO OXALICO (%)
Harina de semilla de ajonjolí	0.356
Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	0.266

Los datos obtenidos al efectuar el análisis de contenido de selenio en harina de semilla de ajonjolí y concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí se presentan en la tabla XIII. Mediante la elaboración del concentrado, se logró disminuir el contenido de selenio de 125 a 34.4 ppm. La dosis de requerimiento diario de selenio en la dieta es de 50 a 200 μg diarios. Ingestiones prolongadas por abajo de 600 μg diarios no han producido efectos tóxicos en humanos adultos (2).

TABLA XIII

CONTENIDO DE SELENIO EN HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI
Y CONCENTRADO PROTEICO DE SEMILLA DE HARINA DE AJONJOLI

MUESTRA	SELENIO (ppm)
Harina de semilla de ajonjolí	125.0
Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	34.4

Ya que la planta de ajonjolí absorbe el selenio del suelo y lo almacena en su semilla, la cantidad de selenio presente en las pastas y harinas de semilla de ajonjolí está determinada por la concentración de selenio en las tierras de cultivo. (23).

La tabla XIV muestra los valores promedio de la composición química aproximada de harina de trigo y harina de maíz utilizadas como materias primas en la elaboración de mezclas proteicas. Los resultados encontrados son muy similares a los que reporta la literatura (23,31,47). El contenido de proteína para harina de trigo fue de 11.34% y para harina de maíz de 7.69%, en base seca.

TABLA XIV

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE
HARINA DE TRIGO Y HARINA DE MAIZ

! MUESTRA ----- COMPONENTE(%):	HARINA DE TRIGO		HARINA DE MAIZ	
	BH	BS	BH	BS
HUMEDAD	10.07	----	8.43	----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	10.20	11.34	7.04	7.69
CENIZAS	0.62	0.69	1.57	1.71
FIBRA CRUDA	0.27	0.30	2.16	2.36
EXTRACTO ETEREO	2.44	2.71	4.98	5.44
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	76.40	84.95	75.82	82.80

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

Una valoración rápida de la calidad nutricional de una proteína está dada por los métodos de digestión enzimática "in vitro". La digestibilidad es esencialmente una medida de hidrólisis de la proteína por enzimas digestivas, la cual no sólo va ha estar influenciada por el contenido de aminoácidos, sino por la secuencia lineal de los mismos y la estructura terciaria de la proteína (24,55). De esta manera la calidad nutricional de la proteína es evaluada de acuerdo a la disponibilidad biológica de sus aminoácidos (86).

Los resultados obtenidos en el estudio de digestibilidad enzimática "in vitro" para pasta de semilla de algodón íntegra y tratada, concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, harina de semilla de ajonjolí, concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz, se expresan en la tabla XV.

TABLA XV

DIGESTIBILIDAD ENZIMATICA IN VITRO
DE MATERIAS PRIMAS Y CONCENTRADOS PROTEICOS

MUESTRA	DIGESTIBILIDAD (%)
Caseína	98.10
Pasta de semilla de algodón íntegra	72.86
Pasta de semilla de algodón tratada	77.07
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón tratada	80.90
Harina de semilla de ajonjolí	98.30
Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	90.27
Harina de trigo	98.84
Harina de maíz	81.20

La digestibilidad "in vitro" fue en aumento conforme se destoxificó la pasta de semilla de algodón y se elaboró el concentrado. Este incremento pudo deberse a la eliminación de elementos tóxicos como gopipol, pigmentos y etanol residual que disminuían la disponibilidad de la proteína. Los valores obtenidos comparados con los reportados por Sánchez (76) (77.56% para pasta de semilla de algodón íntegra, 75.8% para pasta de semilla de algodón tratada, 80.09% para concentrado proteico de pasta de semilla de algodón) son muy similares.

El concentrado proteico de pasta de semilla de ajonjolí presentó un valor de digestibilidad "in vitro" de 90.27% que es mayor con respecto al valor de digestibilidad "in vitro" reportado por Barrón (15) que es de 82.5%.

El valor de digestibilidad "in vitro" alcanzado por la harina de trigo fue mayor que el de la caseína usada como referencia, esto también se puede observar en la investigación realizada por Ruiz (75).

La harina de maíz tuvo un valor correspondiente a casi el 83% del valor encontrado para la caseína de referencia.

La caseína utilizada como referencia tuvo un contenido de proteína de 76% y presentó un valor de digestibilidad del 98.10%.

En las tablas XVI, XVII Y XVIII se reportan los datos obtenidos para el análisis del contenido de aminoácidos en pasta de semilla de algodón íntegra, pasta de semilla de algodón tratada, concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, harina de semilla de ajonjolí, concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz. Como se puede observar, no se presentan diferencias significativas en el contenido de aminoácidos entre las materias primas y sus respectivos concentrados.

El contenido de aminoácidos esenciales en las muestras anteriormente citadas se compararon con el patrón de la FAO/WHO (1973) (43) y se muestran en la tabla XIX. Durante la hidrólisis que se sigue en la preparación de la muestra, se destruyó parcialmente la metionina y totalmente la cistina y el triptofano. Por tal motivo se tomaron de la literatura los valores de cistina-metionina para las materias primas usadas en la preparación de las mezclas, los cuales fueron: concentrado proteico de pasta de semilla de algodón 2.20 g de aminoácido/100 g de proteína (79), concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí 4.6 g aminoácido/100 g de proteína (20), harina de trigo 3.02 g de aminoácido/100 g de proteína (22), y harina de maíz 3.15 g de aminoácido/100 g de proteína (22). El triptofano fue valorado mediante determinación colorimétrica.

El concentrado proteico de pasta de semilla de algodón comparado con el patrón FAO/WHO (43) presenta una ligera deficiencia en lisina, lo cual concuerda con la literatura (60). Aún cuando los valores de metionina-cistina que se reportan en este trabajo no fueron determinados, la literatura (60) reporta que la proteína de semilla de algodón es deficiente en metionina, isoleucina y lisina.

TABLA XVI

COMPOSICION EN AMINOACIDOS DE LA PASTA DE SEMILLA DE ALGODON INTEGRAL (PSAL_i), PASTA DE SEMILLA DE ALGODON TRATADA (PSAL_t) Y CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON (CPSAL)

Aminoácido	PSAL _i	PSAL _t	CPSAL
Lisina	4.71	4.82	4.58
Histidina	3.47	3.48	3.32
Arginina	12.86	11.40	11.41
Acido Aspártico	9.66	9.56	8.59
Treonina	3.70	3.72	3.83
Serina	5.30	3.32	5.31
Acido Glutámico	23.34	24.01	24.74
Prolina	4.06	3.67	3.70
Glicina	4.92	4.69	4.50
Alanina	4.21	4.34	4.21
Cistina	-	-	-
Valina	3.64	4.01	4.08
Metionina	0.24	0.43	0.76
Isoleucina	2.70	3.13	3.53
Leucina	6.37	6.80	6.65
Tirosina	3.23	3.53	3.20
Fenilalanina	5.30	6.05	5.04
* Triptofano	1.43	1.14	1.43

Los aminoácidos están reportados en gramos de aminoácido/100 gramos de proteína.

* Determinación por método colorimétrico.

(-) No hay resolución.

TABLA XVII

COMPOSICION EN AMINOACIDOS DE LA HARINA
DE SEMILLA DE AJONJOLI (HSAJ) Y CONCENTRADO
PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI (CPSAJ)

Aminoácido	HSAJ	CPSAJ
Lisina	2.39	2.80
Histidina	2.85	2.82
Arginina	12.96	12.69
Acido Aspártico	7.79	9.01
Treonina	3.72	3.91
Serina	5.14	5.48
Acido Glutámico	21.03	22.04
Prolina	2.77	3.35
Glicina	5.32	5.57
Alanina	5.12	5.72
Cistina	-	-
Valina	5.75	5.35
Metionina	0.61	0.62
Isoleucina	3.72	2.85
Leucina	7.74	7.20
Tirosina	4.96	3.68
Fenilalanina	5.37	4.47
* Triptofano	**	2.12

Los aminoácidos están reportados en gramos de aminoácido/100 gramos de proteína.

* Determinación por método colorimétrico.

** No se determinó.

(-) No hay resolución.

TABLA XVIII

COMPOSICION EN AMINOACIDOS
DE LA HARINA DE TRIGO Y HARINA DE MAIZ

Aminoácido	Harina de Trigo	Harina de Maíz
Lisina	2.25	2.80
Histidina	1.85	2.98
Arginina	4.74	6.28
Acido Aspártico	4.26	5.56
Treonina	2.57	3.09
Serina	5.06	5.66
Acido Glutámico	33.28	20.47
Prolina	8.20	5.45
Glicina	4.90	4.12
Alanina	6.51	9.57
Cistina	-	-
Valina	3.94	3.60
Metionina	0.32	1.13
Isoleucina	3.86	3.91
Leucina	6.91	11.73
Tirosina	2.09	3.92
Fenilalanina	4.74	4.84
* Triptofano	1.11	0.53

Los aminoácidos están reportados en gramos de aminoácidos/100 gramos de proteína.

* Determinación por método colorimétrico.

(-) No hay resolución.

TABLA XIX

COMPOSICION EN AMINOACIDOS EN EL CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON, CONCENTRADO PROTEICO DE SEMILLA DE AJONJOLI, HARINA DE TRIGO Y HARINA DE MAIZ COMPARADOS CON LOS AMINOACIDOS DE LA PROTEINA PATRON FAO/WHO

Aminoácido	CPSAL	CPSAJ	HT	HM	FAO/WHO(1973) ^a
Lisina	4.58	2.80	2.25	2.88	5.5
Treonina	3.83	3.91	2.57	3.09	4.0
Valina	4.08	5.35	3.94	3.60	5.0
Metionina +Cistina ^b	2.20	4.60	3.02	3.15	3.5
Isoleucina	3.53	2.95	3.86	3.91	4.0
Leucina	6.65	7.20	6.91	11.73	7.0
Fenilalanina +Tirosina	8.24	8.15	6.83	8.76	6.0
Triptofano	1.43	2.13	1.11	0.53	1.0

Aminoácido limitante	Metionina +Cistina	Lisina	Lisina	Lisina y Triptófano
----------------------	--------------------	--------	--------	---------------------

Los aminoácidos están reportados en gramos de aminoácido/100 gramos de proteína.

^a (43)

^b Datos Bibliográficos (20,22,79).

El contenido de lisina e isoleucina reportado en la literatura para harina de semilla de ajonjolí, comparado con el patrón FAO/WHO (43), es muy bajo; lo anterior concuerda con los datos obtenidos en este estudio. También se menciona que la semilla de ajonjolí presenta una gran riqueza de aminoácidos azufrados, lo cual no se pudo confirmar debido a la destrucción de éstos durante su determinación. El triptofano es otro de los aminoácidos que según la literatura (12,23,49) se encuentra en gran cantidad. Esto se pudo observar ya que el valor encontrado es alto comparado con el patrón FAO/WHO (43).

La harina de trigo tiene como aminoácido limitante a la lisina y en menor cantidad a la treonina. La lisina es el aminoácido limitante para la harina de trigo que se reporta en la literatura (35,45).

Al igual que en la literatura (21) se encontró que la harina de maíz presenta gran deficiencia de lisina y triptofano.

Los resultados obtenidos en la determinación de lisina disponible para pasta de semilla de algodón íntegra y tratada, concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, harina de semilla de ajonjolí, concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz son presentados en la tabla XX.

Las cantidades de lisina disponible en pasta de semilla de algodón íntegra y tratada, así como su correspondiente concentrado proteico, son muy similares; lo que demuestra que el proceso de eliminación de gopipol y elaboración de concentrado proteico no afectaron la disponibilidad de la lisina.

Cater y col (27), al igual que Lusas y col (60) reportaron contenidos de lisina disponible en harinas de semilla de algodón de 3.5, 3.6 y 3.8 g/100 g de proteína, esto es arriba del 80% con respecto a la lisina total; mientras que para concentrados proteicos de semilla de algodón reportan un valor de lisina disponible de 3.1 g/100 g de proteína, que representa al 77.5% del total de lisina presente.

Como se puede observar, los resultados obtenidos para la disponibilidad de lisina corresponden al 55% de la lisina total; y se encuentran por debajo de los datos reportados en la literatura. Se sabe que el calentamiento de los alimentos proteicos durante el procesamiento puede resultar en una reducción de su calidad proteica por destrucción o disminución en la disponibilidad de aminoácidos susceptibles, particularmente lisina (5); se le ha dado mucha atención al daño que puede sufrir la lisina al ocurrir la reacción con azúcares reductores a través de la reacción de Maillard (5,39,44) y/o con compuestos polifenólicos como el gopipol y el ácido caféico (5,73).

TABLA XX

NIVELES DE LISINA DISPONIBLE
EN MATERIAS PRIMAS Y CONCENTRADOS PROTEICOS

MUESTRA	LISINA DISPONIBLE (g/100 de proteína)	LISINA TOTAL (g/100 de proteína)
Pasta de semilla de algodón íntegra	2.61	4.71
Pasta de semilla de algodón tratada	2.60	4.82
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón tratada	2.54	4.58
Harina de semilla de ajonjolí	1.80	2.39
Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	1.60	2.80
Harina de trigo	2.37	2.25
Harina de maíz	3.01	2.88

La semilla de algodón durante su acondicionamiento y extracción de aceite soporta temperaturas mayores a 110°C en presencia de humedad (35), lo que propicia la reacción entre el gopipol y la lisina, disminuyendo la disponibilidad biológica de ésta. De tal manera que la determinación de la lisina disponible es un parámetro del grado de daño que sufrió el material proteico, y de su calidad nutricional.

Durante el proceso de obtención de harina de semilla de ajonjolí y elaboración de su correspondiente concentrado, la disponibilidad de la lisina no se vió afectada significativamente, obteniéndose valores de 1.80 y 1.60 respectivamente, que corresponden a los valores de lisina total reportado por Mejía (67).

Los valores de lisina disponible encontrados en harina de trigo y harina de maíz corresponden a los que reporta Mejía (67), y estos demuestran que toda la lisina contenida en la proteína de estos alimentos se encuentran biológicamente disponible.

Una manera de mejorar el valor nutricional de una fuente proteica, es mezclarla con otra para complementar los aminoácidos limitantes de cada una de ellas; logrando un aumento en la calidad nutricional con respecto a la de cada una de ellas en particular (4).

En el presente estudio se elaboraron mezclas en base a su calificación química. Conociendo el contenido de aminoácidos limitantes primarios en ajonjolí, trigo, maíz y concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, se calculó con que porcentaje de cada uno de ellos se formaría una mezcla óptima. Las figuras II, III y IV muestran los niveles de suplementación encontrados al graficar las calificaciones obtenidas; en la tabla XXI se presenta el porcentaje en base a proteína y muestra de las mezclas que alcanzaron la máxima complementación proteica.

FIGURA II

Calificación Química de la Mezcla de Concentrado Proteico de Pasta de semilla de Algodón Tratada y Concentrado Proteico de Semilla de Ajonjolí

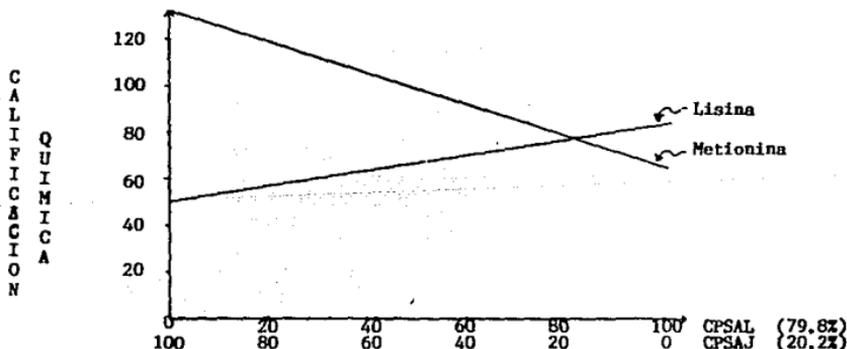


FIGURA III

Calificación Química de la Mezcla de Concentrado Proteico de Pasta de Semilla de Algodón Tratada y Harina de Trigo

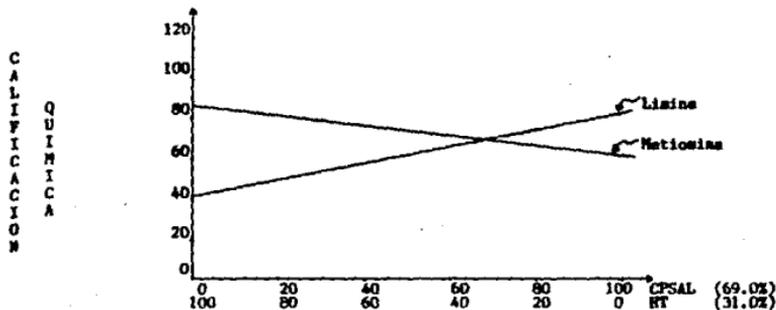


FIGURA IV

Calificación Química de la Mezcla de Concentrado Proteico de Pasta de Semilla de Algodón Tratada y Harina de Maíz

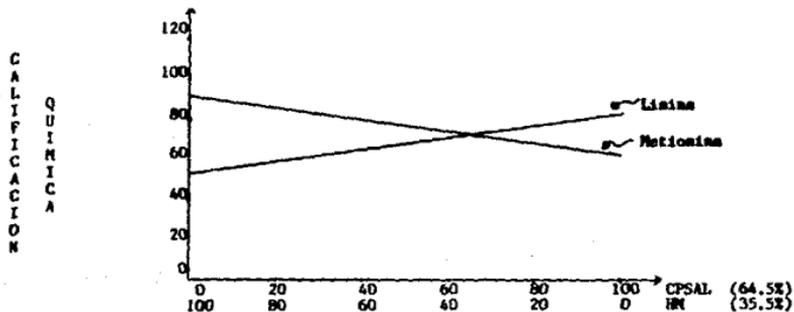


TABLA XXI

PORCENTAJE DE LOS COMPONENTES
EN LA ELABORACION DE MEZCLAS PROTEICAS

COMPONENTE "A"	PORCENTAJE DE "A"		COMPONENTE "B"	PORCENTAJE DE "B"	
	en base a proteína	en base a muestra		en base a proteína	en base a muestra
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón	79.8	81.6	Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	20.2	18.4
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón	69.0	32.8	Harina de trigo	31.0	67.2
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón	64.5	21.6	Harina de maíz	35.5	78.4

Con respecto al perfil de aminoácidos esenciales de la FAO/WHO (1973) (43), la máxima calificación química obtenida para los aminoácidos lisina y azufrados en las mezclas fue de aproximadamente 70. Comparando estos resultados con las calificaciones químicas obtenidas por el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, concentrado proteico de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz que fueron de 62.8, 50.9, 40.9 y 52.3 respectivamente, se puede observar que las mezclas presentaron un valor de calificación química mayor al de sus correspondientes materias primas, lo que presupone un cambio favorable en cuanto al contenido de los aminoácidos limitantes y por consiguiente un aumento en la calidad de la proteína.

En la tabla XXII se muestra la composición de los aminoácidos obtenidos en las diferentes mezclas comparadas con el patrón FAO/WHO (1973) (43). Estos valores fueron calculados tomando como base los resultados obtenidos al efectuar el análisis del contenido de aminoácidos en las materias primas utilizadas para la elaboración de las mezclas, teniendo como premisa que dicho contenido no sufrió ningún cambio ya que la preparación de las mezclas no involucró procesos que causaran el deterioro de los aminoácidos presentes. Como el contenido de aminoácidos azufrados no se pudo reportar debido a la destrucción de éstos durante la hidrólisis seguida en la preparación de las muestras, para el cálculo se utilizaron los datos reportados en la literatura (20,22,79).

TABLA XXII

COMPOSICION EN AMINOACIDOS EN LAS DIFERENTES MEZCLAS
PROTEICAS COMPARADOS CON LOS AMINOACIDOS DE LA PROTEINA
PATRON FAO/WHO^a

Aminoácido	CPSAL:CPSAJ	CPSAL:HT	CPSAL:HM	FAO/WHO(1973) ^a
Lisina	4.22	3.86	3.98	5.5
Treonina	3.85	3.44	3.57	4.0
Valina	4.34	4.04	3.91	5.0
Metionina +Cistina ^c	2.68	2.45	2.54	3.5
Isoleucina	3.41	3.63	3.66	4.0
Leucina	6.76	6.73	8.45	7.0
Fenilalanina +Tirosina	8.22	7.80	8.42	6.0
Triptófano	1.57	1.33	1.11	1.0
Aminoácido Limitante	Metionina +Cistina y Lisina	Metionina +Cistina y Lisina	Metionina +Cistina y Lisina	

Los aminoácidos están reportados en gramos de aminoácido/100 gramos de proteína.

^a Datos en base a los aminogramas de las materias primas.

^b (43).

^c Datos bibliográficos (20,22,79).

Los valores promedio correspondientes a la composición química aproximada de las diferentes mezclas proteicas se presentan en las tablas XXIII, XIV y XV. El contenido de proteína en la mezcla concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:concentrado proteico de harina de ajonjolí (CPSAL:CPSAJ) fue de 50.36%, en la mezcla concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:harina de trigo (CPSAL:HT) de 23.78% y en la mezcla concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:harina de maíz (CPSAL:HM) de 17.04%. Como se puede observar en la primera mezcla el contenido de proteína no sufre un cambio significativo con respecto a sus componentes originales; no así las otras mezclas con trigo y maíz, en las cuales el aumento es considerable debido a que el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón adicionado tiene un contenido de proteína más alto (48.84%) que el de éstos.

TABLA XXIII

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE LA MEZCLA
CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE
ALGODON:CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA
DE SEMILLA DE AJONJOLI (CPSAL:CPSAJ)

! MUESTRA ----- COMPONENTE(%):	BH	CPSAL:CPSAJ	BS
HUMEDAD	6.23		-----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	47.22		50.36
CENIZAS	2.53		2.70
FIBRA CRUDA	15.64		16.68
EXTRACTO ETEREO	3.52		3.75
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	24.86		26.51

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

TABLA XXIV

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE LA MEZCLA
CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE
ALGODON:HARINA DE TRIGO (CPSAL:HT)

MUESTRA ----- COMPONENTE(%):	BH	CPSAL:HT	BS
HUMEDAD	9.07		----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	21.62		23.78
CENIZAS	0.99		1.09
FIBRA CRUDA	6.24		6.86
EXTRACTO ETereo	2.78		3.06
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	59.30		65.21

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

TABLA XXV

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE LA MEZCLA
CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE
ALGODON:HARINA DE MAIZ (CPSAL:HM)

: MUESTRA			

COMPONENTE(%):	BH	CPSAL:HM	BS
HUMEDAD	8.52		----
PROTEINA CRUDA (N x 6.25)	15.59		17.04
CENIZAS	1.14		1.25
FIBRA CRUDA	5.24		5.73
EXTRACTO ETereo	3.43		3.75
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO*	66.08		72.23

BH Base húmeda

BS Base seca

* Obtenido por diferencia a 100%

La eficiencia con la cual una proteína es utilizada para promover el crecimiento y el mantenimiento corporal, define su calidad nutricional. La proporción o balance de aminoácidos de la proteína es el factor que determina en mayor grado su eficiencia, sin embargo la digestión y absorción de sus aminoácidos influyen en la calidad nutricional de la fuente proteica (4). Los métodos "in vitro" no consideran características de sabor y color, así como la presencia de componentes tóxicos o antinutricionales; por lo que es necesario realizar estudios biológicos que den un resultado concluyente (63).

Los métodos biológicos relacionan la proteína consumida en la dieta con el crecimiento corporal o el nitrógeno retenido en el cuerpo (78). La Relación de Eficiencia Proteica (REP) es la determinación más usada debido a su simplicidad, aún cuando no considera la proteína para el almacenamiento, sino únicamente la utilizada para el crecimiento. El método de Utilización Neta de Proteína (UNP) sí contempla los requerimientos de proteína para el mantenimiento corporal (4).

Se ha discutido que algunas técnicas basadas en el crecimiento del animal no presentan buena correlación con los métodos basados en la retención de nitrógeno, especialmente cuando la calidad de la proteína de la dieta es muy baja (28,83). Sin embargo Sotelo y Lucas (78) comprobaron que la calidad de la proteína no afecta la correlación entre REP y UNP, si las dietas presentan el mismo contenido energético.

En la tabla XXVI se presentan los datos obtenidos en los grupos de ratas alimentadas durante 21 días con las diferentes materias primas y mezclas proteicas estudiadas en la determinación de la REP y UNP, de acuerdo al método de Sotelo y Lucas (78).

El peso corporal promedio de los grupos de ratas al iniciarse el experimento fluctuó entre 52.28 y 56.77 gramos que se encuentran en el límite superior del rango reportado por Burnette and Rusoff (25).

El contenido de humedad de los hígados extraídos varió entre 71.22 y 76.27% y la concentración de nitrógeno en hígado (g/100 g de tejido) estuvo en el rango de 1.86 a 2.29, esto hace suponer que en los métodos de determinación de nitrógeno corporal tanto el contenido de nitrógeno como el de humedad son constantes. Sotelo y Lucas (78) han reportado que no hay diferencia significativa en las concentraciones de nitrógeno de los diferentes grupos alimentados con dietas de diferente calidad.

La ganancia en peso de los diferentes grupos de prueba estuvo determinado por la calidad de la dieta en estudio como se puede observar en las figuras V, VI Y VII. El peso ganado del grupo control alimentado con caseína fue mayor, presentando un valor de 84.97 gramos; seguido por el grupo alimentado con la mezcla CPSAL:HM y el grupo alimentado con el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, con valores de 35.73 y 33.90 gramos respectivamente.

TABLA XXVI

DATOS OBTENIDOS EN 21 DIAS DE EXPERIMENTACION
 PARA LA DETERMINACION DE LA RELACION DE EFICIENCIA
 PROTEICA Y UTILIZACION META DE PROTEINA

DIETA	Caseína	CPSAL	CPSAJ	HT	HM
Proteína en dieta(%)	10.73	10.32	9.37	8.83	6.65
Peso inicial de la rata(G)	55.03	52.28	55.02	56.75	54.52
Peso final de la rata(G)	140.00	86.18	75.04	73.13	75.18
Peso ganado(G)	84.97	33.90	20.60	17.38	20.66
Dieta consumida(G)	231.03	198.62	167.15	156.18	161.52
Proteína consumida(G)	24.79	20.05	16.26	13.79	10.74
Nitrógeno consumido(G)	3.97	3.28	2.60	2.21	1.72
Humedad en hígado(%)	72.24	72.73	72.16	71.94	71.85
Nitrógeno en hígado (g/100 g de tejido)	2.29	1.86	2.01	1.96	1.95

CONTINUACION TABLA XXVI

DATOS OBTENIDOS EN 21 DIAS DE EXPERIMENTACION
 PARA LA DETERMINACION DE LA RELACION DE EFICIENCIA
 PROTEICA Y UTILIZACION NETA DE PROTEINA

DIETA	CPSAL CPSAJ	CPSAL HT	CPSAL HM	APROTEICA
Proteína en dieta(%)	9.76	10.14	9.61	-- -- --
Peso inicial de la rata(G)	54.84	54.94	56.77	55.34
Peso final de la rata(G)	86.28	81.02	92.50	40.66
Peso ganado(G)	31.44	26.08	35.73	-14.68
Dieta consumida(G)	184.80	176.94	185.50	-- -- --
Proteína consumida(G)	18.08	17.94	17.38	-- -- --
Nitrógeno consumido(G)	2.89	2.87	2.85	-- -- --
Humedad en hígado(%)	71.27	71.92	72.14	76.27
Nitrógeno en hígado (g/100 g de tejido)	1.94	2.12	2.01	1.92

FIGURA V

Curva de Crecimiento de Ratas Wistar
en 21 Días de Prueba (Mezcla CPSAL:CPSAJ)

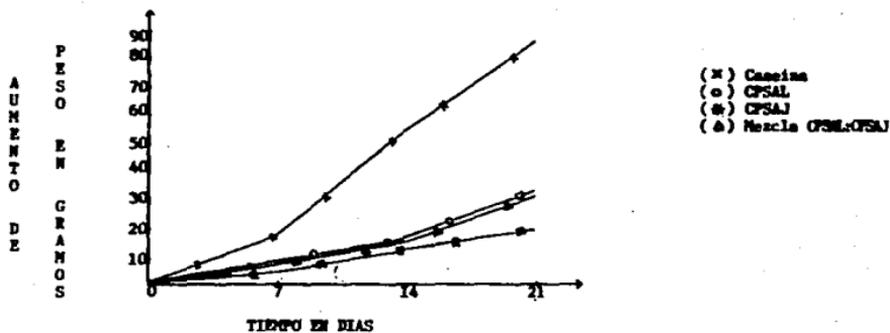


FIGURA VI

Curva de Crecimiento de Ratas Wistar
en 21 Días de Prueba (Mezcla CPSAL:HT)

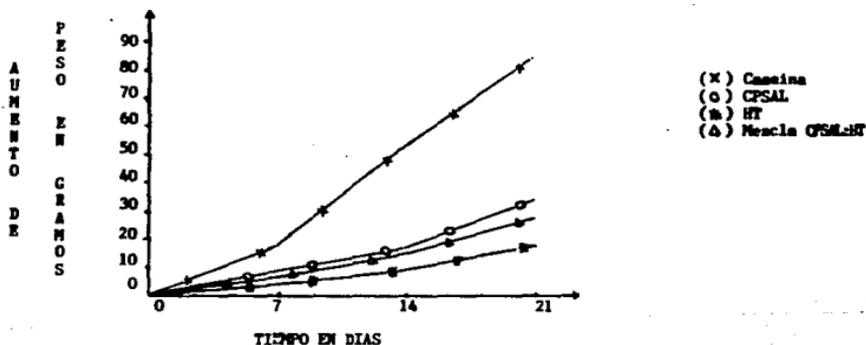
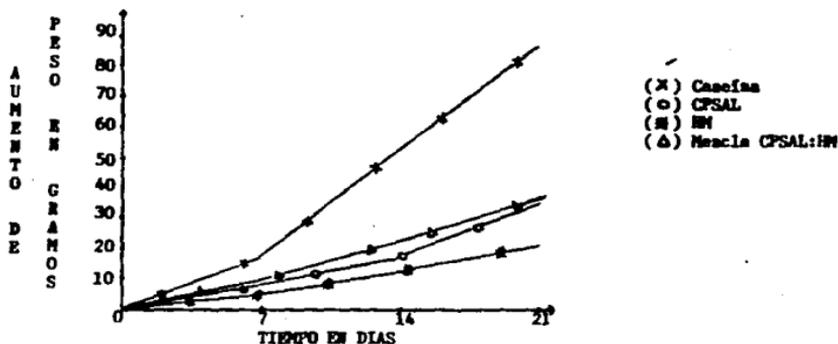


FIGURA VII

Curva de Crecimiento de Ratas Wistar
en 21 Días de Prueba (Mezcla CPSAL:HW)



En las figuras antes mencionadas también se puede observar que los animales alimentados con las diferentes dietas en estudio, durante el periodo de experimentación presentaron en cuanto a su desarrollo y crecimiento, un comportamiento similar al de las ratas alimentadas con caseína, aunque con valores más bajos; por lo que puede decirse que las cantidades residuales de compuestos tóxicos presentes en los materiales de estudio no influyeron en la respuesta fisiológica del animal.

Los valores de REP y UNP de las materias primas y las mezclas proteicas se expresan en la tabla XVII. La REP fue corregida con caseína 2.5.

La literatura reporta valores de REP para harinas de semilla de algodón que van de 1.7 a 2.5 (27,66,80)

TABLA XXVII

RELACION DE EFICIENCIA PROTEICA (REP) Y UTILIZACION NETA DE PROTEINA (UNP) EN CONCENTRADO PROTEICO DE PASTA DE SEMILLA DE ALGODON, CONCENTRADO PROTEICO DE HARINA DE SEMILLA DE AJONJOLI, HARINA DE TRIGO, HARINA DE MAIZ Y MEZCLAS PROTEICAS

FUENTE DE PROTEINA	REP ENCONTRADOS	REP CORREGIDOS	UNP
Caseína	3.44	2.50	61.16
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón	1.64	1.19	28.64
Concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	1.29	0.94	28.23
Harina de trigo	1.25	0.91	29.57
Harina de maíz	1.91	1.39	40.56
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí	1.74	1.26	31.01
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:harina de trigo	1.45	1.05	32.19
Concentrado proteico de pasta de semilla de algodón:harina de maíz	2.00	1.45	38.34

REP Corregidos con caseína a 2.5

El concentrado proteico de pasta de semilla de algodón que se elaboró en este trabajo presenta un valor de REP de 1.19, corregido con caseína a 2.5, localizándose por debajo del rango antes citado; este valor es equivalente al 47.6% de la REP registrada para caseína. La calidad de la proteína de la semilla de algodón ha sido objeto de mucha discusión, ya que ésta se ve afectada por los procesos previos de extracción de aceite y eliminación de gopisol (64,65). Martínez y Hopkins(64) encontraron que tanto la REP como la lisina disponible de la proteína de semilla de algodón disminuyen con el tratamiento térmico, al mismo tiempo que se reduce el gopisol libre presente. En pastas de semilla de algodón obtenidas comercialmente por extracción con disolventes, encontraron valores de REP de 1.82 y 3.9 g/100g proteína de lisina disponible; con el método pre-prensa disolvente las pastas residuales presentaron una REP de 1.74 y 4.0 g/100g proteína de lisina disponible; el método de prensado hidráulico mostró un valor de REP de 1.26 con un contenido de lisina disponible de 3.6 g/100 g proteína; y por el método de prensado con tornillos la REP tuvo un valor de 0.88 y la lisina disponible fue de 3.4 g/100g proteína.

El dato de lisina disponible del concentrado proteico de pasta de semilla de algodón obtenido para este estudio es de 2.37 g de aminoácido/100 g proteína, que corresponde aproximadamente al 55% de la lisina total. Esta baja disponibilidad de lisina se ve reflejada en los valores de REP y UNP encontrados. Lo anterior va de acuerdo con lo señalado por Björck y col (19), quienes han demostrado que con la pérdida de la disponibilidad de la lisina, el Valor Biológico y la Utilización Neta de Proteína disminuyen, sin embargo debido a que la lisina es un aminoácido que se requiere en mayor proporción para el crecimiento y en menor cantidad para el mantenimiento, el valor de REP se ve más afectado que el de UNP al disminuir la disponibilidad de lisina (4).

Los valores de REP y UNP del concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí están comprendidos en el rango reportado por la literatura (12,15,49,69,80).

Las dietas de trigo y maíz utilizadas en las pruebas biológicas para la determinación de REP y UNP no se lograron ajustar al nivel de proteína que se marca para el ensayo y por lo tanto los valores de REP para harina de maíz y harina de trigo que se reportan en la tabla XXVII no son confiables. La literatura reporta los valores de REP que van de 0.47 a 1.11 para harina de trigo (14,33,50,52) y de 0.46 ± 13 a 1.0 para harina de maíz (33,55) que son inferiores a los obtenidos.

En cuanto a las diferentes mezclas estudiadas podemos observar que adicionando el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón de acuerdo a su calificación química como se indica en la tabla XXVII se obtuvieron resultados de REP bajos comparados con los de la caseína. Sin embargo la REP del concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz se logró mejorar cuando cada uno de ellos se mezclaron con el concentrado proteico de pasta de semilla de algodón, mostrando valores de 1.26, 1.05 y 1.45, equivalentes al 50.4, 42.0 y 58.0% del valor obtenido para caseína.

CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos al evaluar el contenido de proteína y fibra cruda, así como el porcentaje de lisina disponible y digestibilidad enzimática "in vitro" de la pasta de semilla de algodón íntegra, se puede afirmar que durante el proceso de extracción de aceite, la semilla no fue descascarillada adecuadamente, sufriendo además un maltrato físico que deterioró la calidad de la proteína. Debido a ello la pasta residual obtenida mostró un valor biológico menor al esperado.

Se logró reducir a niveles no tóxicos para el consumo humano el contenido de gósipol presente en la pasta de semilla de algodón. Este objetivo se alcanzó siguiendo un procedimiento sencillo, disponible técnica y económicamente.

Mediante la elaboración de los concentrados proteicos a partir de la pasta de semilla de algodón y la harina de semilla de ajonjolí, se pone de manifiesto que la importancia en la obtención de dichos concentrados no radica exclusivamente en el aumento del nivel de proteína, sino de su calidad. También merece interés especial la eliminación de olores, sabores y compuestos antinutricionales que limitan su uso y aceptación.

Con la adición del concentrado proteico de pasta de semilla de algodón al concentrado proteico de harina de semilla de ajonjolí, harina de trigo y harina de maíz se obtuvieron mezclas de mayor calidad proteica que sus respectivas materias primas. En base a los resultados obtenidos en los métodos biológicos la mezcla con mejores características fue la de concentrado proteico de pasta de semilla de algodón con harina de maíz.

Queda claro que es posible aprovechar la potencialidad proteica de la pasta de semilla de algodón residual para su incorporación en alimentos convencionales con características nutricionales deficientes. No obstante se recomienda, que para aumentar el valor nutritivo y su diversidad de uso, se tenga cuidado durante el proceso de extracción de aceite evitando, en lo posible, el maltrato físico de la semilla pues este viene a ser un factor determinante en la calidad nutricional del subproducto obtenido.

Se sugiere realizar investigaciones posteriores a fin de conocer la aplicación en productos alimenticios de las mezclas estudiadas, tomando como base sus características reológicas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Adams R., R.C. Morris, T.A. Geissman, D.J. Butterbaugh, E.C. Kirkpatrick (1938 a) Structure of gossypol. XV. An interpretation of its reactions. J. Am. Chem. Soc. 60:2193-2204.
- (2) Adams R., T.A. Geissman, J.D. Edwards (1960) Gossypol, a pigment of cottonseed. Chem. Rev. 60:555-574.
- (3) Agricultural Statistics, U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1984.
- (4) Altschul A.M. (1974) New Protein Food.- Volume 1A Technology Ed. by Academic Press, New York.
- (5) Anderson P.A., S.M. Sneed, G.R. Skurray, K.J. Carpenter (1984) Measurement of lysine damage in protein heated with gossypol. J. Agric. Food Chem. 32 :1048-1053.
- (6) Anonymous (1964 a) AOCS official method Ba 7-58 Free Gossypol " Official and Tentative Method of the Am. Oil Chemists' Soc. " Chicago, Illinois.
- (7) Anonymous (1964 b) AOCS tentative method Ba 8-55. Total gossypol " Official and Tentative Methods of the Am. Oil Chemists' Soc. " Chicago, Illinois.
- (8) Anonymous (1966) Proc. Conf. Inactivation of gossypol with Mineral Salts, New Orleans, 1966, Publ. Natl. Cottonseed Products Assoc., Memphis, Tennessee.
- (9) Asociación Nacional de Industriales de Aceite y Mantecas Comestibles A.C. -- Comunicación personal.
- (10) Association of Official Analyst Chemist (1970) Official Methods of Analysis II Ed. Washington, D.C.
- (11) Association of Official Analyst Chemist (1975) Official Methods of Analysis Washington, D.C.
- (12) Baéz M., J.L. Camacho, H. Bourges (1981) Elaboración de una harina de ajonjolí [*Sesamun indicum*]; evaluación biológica y su posible uso como alimento humano. Rev. Tecnol. Aliment. XVI(5):4-16.
- (13) Baliga B.P., M.E. Bayliss, C.M. Lyman (1959) Determination of free lysine c-amino groups in cottonseed meals and preliminary studies on relation to protein quality. Arch. Biochem. and Bioph. 84:1-6.

- (14) Ballester D., I. Zacarías, E. García, E. Yañez (1984) Baking studies and nutritional value of bread supplemented with full-fat sweet lupine (*L. albus cv Multolupa*). *J. Food Sci.* 49:14-16.
- (15) Barrón G.A., (1987) Complementación de concentrado proteico foliar de alfalfa (*Medicago sativa*) con concentrado proteico de semilla de ajonjolí (*Sesamun indicum*). Tesis de Licenciatura UNAM-Iztacala México, D.F.
- (16) Becker K.W., E.A. Tiernan (1976) New Technology in oilseed proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 53:327-331.
- (17) Berardi L.C., L.A. Goldblatt (1972) "Gossypol" in toxic Constituents of plant Foodstuffs. Liener I.E., Academic Press, N.Y.
- (18) Berardi L.C., J.P. Cherry (1980) Textural properties of cottonseed proteins. *J. Food Sci.* 45:377-381.
- (19) Björck I., T. Matoba, B.M. Nair (1985) "In vitro" enzymatic determination of the protein nutritional value and the amount of available lysine in extruded cereal-based products. *Agric. Biol. Chem.* 49:945-951.
- (20) Block R.J., K. W. Weiss, D.B. Carroll. (1956) " The amino-acid composition of proteins " in : *Aminoacid Handbook Methods and Results of Protein Analysis*, by : Richard J. Block, Charles C. Thomas, Publisher Springfield Illinois, USA.
- (21) Bressani R. (1972) " La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países ", en *Mejoramiento Nutricional del Maíz INCAP L-3, Guatemala.*
- (22) Bressani R., L. G. Elias, R.A. Gómez-Brenes (1972), "Improvement of protein quality by aminoacid and protein supplementation", in : *International Encyclopaedia of Food and Nutrition Vol. II* (Ed. E.J.B. Bigwood) Pergamon Press-Oxford and New York, pp. 475-540.
- (23) Brito O.J., N. Nuñez (1982) Evaluation of sesame flour as a complementary protein source for combination with soy and corn flours. *J. Food Sci.* 47:457-460.
- (24) Brulé D., L. Savioe (1988) " In vitro " digestibility of protein and aminoacids in protein mixtures. *J. Sci. Food Agric.* 43:361-372.

- (25) Burnette M. A., I.I. Rusoff (December 1978) GMA Test protocol for protein quality assays. Food Technology pp. 66-68.
- (26) Carpenter K.J. (1960) The estimation of the available lysine in animal protein foods. Biochem J. 77:604-610.
- (27) Cater C.M., K.F. Mattil, W.W. Meinke, M.V. Taranto, J.T. Lawhon (1977) Cottonseed protein food products. J. Am. Oil Chem. Soc. 54:90A-93A.
- (28) Chávez J.F., P.L. Pellet (1976) Protein quality of some representative Latin American diets by rat bioassay. J. Nutr. 106:792-801.
- (29) Choi Y.R., E.W. Lusas, K.C. Rhee (1982) Formulation of nondairy coffee whiteners with cottonseed protein isolates. J. Am. Oil Chem. Soc.
- (30) Confederación de Asociaciones Algodoneras de la República Mexicana, A.C. - Comunicación Personal.
- (31) Curiel S.R., Morales L.J. (1986) Utilización de mezclas de girasol-trigo para la elaboración de sopas tipo pasta. Rev. Tecnol. Aliment. XXI:13-17.
- (32) Damaty S.M., B.J. Hudson (1975) Preparation of low-gossypol cottonseed flour. J. Sci. Food Agric. 26:109-115.
- (33) Del Angel, L.A. Sotelo (1982) Nutritive value of mixtures using chick-peas with wheat triticale normal and opaque - 2 corns. J. Nutr. 112:1474-1480.
- (34) Del Valle F.R., M. Escobedo, P. Ramos, S. De Santiago, R. Becker, H. Bourges, K.C. Rhee, Y.R. Choi, M. Vega, J. Ponce (1986) Preparation of low free gossypol and high available lysine cottonseed/soy bean blends. J. Food. Sci. 51:1242-1244.
- (35) Desrosier N.W. (1986) " Tecnología del frijol, las nueces y las semillas " en : Elementos de Tecnología de Alimentos Ed. CECSA, México D.F., pp 217-223.
- (36) Diccionario Enciclopédico Espasa - Calpe (1979) Tomo 2, Octava Edición, Espasa Calpe Editores, Madrid.
- (37) Eagle E., H.F. Bialek (1950) Effect of single and repeated doses of gossypol on the rat. Food Res. 15:232-236.

- (38) Edwards J.D. Jr. (1958). Total synthesis of gossypol. J. Am. Chem. Soc. 80:3798-3799.
- (39) Elias G. L., S.S. Loarca, R. Bressani (1969) Estudio comparativo de diferentes métodos para la evaluación del valor proteico de harinas de semilla de algodón. Arch. Lat. Nutr. 18:259-297.
- (40) Enciclopedia Barsa (1960) Tomo II, Editores : Encyclopedía Británica Inc.
- (41) Enciclopedia Salvat.- Ciencia y Tecnología (1968) Tomo 1 1era. Edición, Salvat Editores, Barcelona.
- (42) Evans R.J., S.L. Bandemer (1967) Nutritive values of some oilseed protein. Cereal Chem. 44:417-426.
- (43) FAO/WHO ad Hoc Expert Committee, Energy and Protein Requirements, World Health Organization Technical Report, series No. 552, Rome Italy 1973.
- (44) Green J.R., J.T. Lawhon, C. M. Cater, K.F. Mattil (1976) Protein fortification fo corn tortillas with oilseed fluors. J. Food Sci. 41:656-660.
- (45) Hanson H., N.E. Borlavy, R.G. Anderson (1985) Trigo en el tercer Mundo. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo, México D.F.
- (46) Hardin C.M. (1979) Condition and trends in the world protein economy. J. Am. Oil Chem. Soc. 56:173-177.
- (47) Hernández M., A. Chávez, H. Bourges (1987) Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos.- Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de la Nutrición, México, D.F.
- (48) Hron R.J., S.P. Koltum, J. Pominski, G. Abraham (1987) The potential commercial aspect of gossypol. J. Am. Oil Chem. Soc. 64:1315-1319.
- (49) Johnson L.A., T.M. Suleiman, E.W. Lusas (1979). Sesame protein : a review and prospectus J. Am. Oil Chem. Soc. 56:463-468.
- (50) Juneja P.K., B.L. Kawatra, S. Bajaji (1980) Nutritive value of triticale and the effects of its supplementation to wheat and bengal gram (*Cicer arietium*) fluor. J. Food Sci. 45:328-330,340.

- (51) Jung H.G., G.C. Fahey (1983) Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: a review. *J. of Animal Sci.* 57(1).
- (52) Kailasapathy K., P.A.J. Perera, J.H. Macneil (1985) Improved nutritional value in wheat bread by fortification with full-fat winged bean flour (*Psophocarpus tetragonolobus* L. DC). *J. Food Sci.* 50:1693-1696.
- (53) Kakade M.L. (1974) Biochemical basis for the differences in plant protein utilization. *J. Agric. Food Chem.* 22:550-555.
- (54) Kirk-Othmer (1978) *Encyclopedia of Chemical Technology*, Third Edition, Wiley - Interscience Publication, USA.
- (55) Lawhon J.T., L.J. Manak, Lusas E.W. (1980) An improved process for isolation of glandless cottonseed protein using industrial membrane systems. *J. Food Sci.* 45:197-203.
- (56) Lawhon J.T., L.W. Rooney, C.M. Cater, K.F. Mattil (1972) Evaluation of a protein concentrate produced from glandless cottonseed flour by a wet-extraction process. *J. Food Sci.* 37:778-782.
- (57) Lehninger A. L. (1985) " Proteínas : purificación y caracterización ", en : *Bioquímica*, Novena reimpresión, Ed. Omega S.A., Barcelona.
- (58) Lewis C. F. (1965) Progress in breeding gland-free cottonseed. Proc. Conf. Cottonseed Protein Concentrates, ARS 72-38, pp 198-203, U.S. Dept. Agr., New Orleans, Louisiana.
- (59) Lombard J.H., D.J. Lange (1965) The chemical determination of thryptophan in food and mixed diets. *Anal. Biochem.* 10:260-265.
- (60) Lusas E.W., G.M. Jividen (1987) Characteristics and uses of glandless cottonseed food protein ingredients. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64:973-986.
- (61) Lusas E.W., G.M. Jividen (1987) Glandless cottonseed : a review of the first 25 years of processing and utilization research. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64:839-854.
- (62) M. M. (1965) Cottonseed Protein Concentrates WHO/FAO UNICEF.- Protein Advisory Group New Bull 5 pp. 68-73.
- (63) Maliwal B.P. (1983) " *In vitro* " methods to assess the nutritive value of leaf protein concentrate. *J. Agric. Food Chem.* 31:315-319.

- (64) Martínez W.H., D.T. Hopkins (1975) "Cottonseed protein products variation in protein quality with product and process". in : 14th Nutritional Quality of Food and Feed, Part II Quality Factors: Plant Breeding, Composition, Processing and Anti-Nutrients Ed. by M. Friedman, Marcel Dekker, New York, pp 355-374.
- (65) Martínez W. H., L.C. Berardi, L.A. Goldblatt (1970) Cottonseed protein products: composition and functionality. J. Agric. Food Chem. 18:961.
- (66) Mc. Pherson C., S.L. Ou (1976) Evaluation of corn tortillas supplemented with cottonseed flour. J. Food Sci. 41:1301-1304.
- (67) Mejía de C.M., L.N. Correa (1980) Estandarización de métodos analíticos sencillos para la determinación de lisina disponible, triptofano y metionina. Rev. del Inst. Tecnol. (Bogotá) 128:27-44.
- (68) Morris Ch. (1986) New protein bread contains cottonseed flour. Food Engineering 58:49-50.
- (69) Nielsen B., P. Hevia, O. Brito (1983) Study on the complementation of two proteins of low-quality: black bean (*Phaseolus vulgaris*) and Sesame (*Sesamun indicum*, L.). J. Food Sci. 48:1804-1806.
- (70) Oilseeds and products, Foreign Agriculture Circular FOP-7-85, US Department of Agriculture, Washington D.C., July 1985.
- (71) Price W. J. (1979) Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption HEYDE and Son Ltd, Great Britain.
- (72) Proyecto para el establecimiento de una empresa dedicada a la transformación industrial y a la comercialización de los productos derivados de la semilla de algodón, en asociación con la firma israelí Milouot. Proyecto elaborado en forma conjunta por personal de Nacional Financiera S.A. y de la Asesoría de la Presidencia de la República (Coordinadores del SAM). México, Septiembre de 1980.
- (73) Roah A.G., P. Sanderson, D.R. Williams (1967) Comparison of methods for the determination of available lysine value in animal and vegetable protein sources. J. Sci. Food Agric. 18:274-278.

- (74) Rodríguez-Vallejo (1988) La producción y la demanda de granos básicos en México. Sus proyecciones al año 2000. Comercio Exterior 38:606-662.
- (75) Ruiz C.V. (1985) Estudio nutricional a pastas alimenticias suplementadas con concentrado proteico de hojas de yuca (*Manihot esculenta crantz*). Tesis de Licenciatura Universidad Veracruzana, Orizaba, Ver.
- (76) Sánchez I.P. (1986) Destoxificación y obtención de un aislado y concentrado proteico a partir de harina residual de semillas de algodón (*Gossypium hirsutum*). Tesis de Maestría CINESTAV-IPN. México D.F.
- (77) Simmons R.G., J.R. Green, C.A. Payne, P.J. Wan, E.W. Lusas (1980) Cottonseed and soy protein ingredients in soft-serve frozen desserts. J. Food Sci. 45:1505-1508.
- (78) Sotelo L. A., B. Lucas (1978) Determination of Net Protein Utilization using whole carcass, hind leg or liver of the rat and its relationship with protein efficiency ratio determination. J. Nutrition 180:61-66.
- (79) Spadaro J.J., H.K. Gardner (1979) Food uses for cottonseed protein. J. Am. Oil Chem. Soc. 56:422-424.
- (80) Steinke F. H., E.E. Prescher, D.T. Hopkins (1980) Nutritional evaluation (PER) of isolated soy bean protein and combination of food proteins. J. Food Sci. 45:323-327.
- (81) Taha F.S., M. Fahmy, M.A. Sadek (1987) Low-phytate protein concentrate and isolate from sesame seed. J. Agric. Food Chem. 35:289-292.
- (82) Taranto M.V., W.W. Meinke, C.M. Cater, C.F. Mattil (1975) Parameters affecting production and character of extrusion texturized defatted glandless cottonseed meal. J. Food Sci. 40:1264.
- (83) Taskar A.D., N.R. Pasthosarathy, C.S. Shonta (1959) The influence of food intake and duration of feeding on the evaluation of protein efficiency ratio. Ind. J. Med. Res. 47:696-701.
- (84) Tejada de Hernández, I. (1983) Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación Animal INIP-SARH. Paipeme Iera. Edición, México D.F.

- (85) Tonella M.L., M. Sánchez, M.G. Salazar (1983). Physical, chemical, nutritional and sensory properties of corn-based fortified food products. *J. Food Sci.* 48:1637-1643.
- (86) Watts J.H., L.K. Booker, J.W. Mc Afee, E.G. Williams, W.G. Wright, F. Jones (1959) Biological availability of essential aminoacids to human subject. *J. Nutr.* 67:483.
- (87) Withers W.A., F. E. Carruth (1915) Gossypol, the toxic substance in cottonseed meal. *J. Agric. Res.* 5:261-288.
- (88) Ziegler G.M., R.S. Kadan, D.W. Freeman, J.J. Spadaro (1981) A direct hexane extraction process for glanded cottonseed. *J. Food Sci.* 47:314-316.
- (89) Zubiran S., A. Chávez (1976) La desnutrición y la salud en México. Ed. Pérez H., A. Chávez. Inst. Nal. de la Nutrición, México D.F.