



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“DESARROLLO DE UNA HOJUELA PARA  
DESAYUNO A BASE DE AVENA Y CACAHUATE”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

**DOLORES GÓMEZ CRUZ**



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Bernardo Lucas Florentino
Vocal	Prof. María Del Rocío Santillana Hinojosa
Secretario	Prof. Lucía Cornejo Barrera
1er. Suplente	Prof. Karla Mercedes Díaz Gutierrez
2o. Suplente	Prof. Iliana Elvira González Hernández

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio 4-A. Dpto. Alimentos y Biotecnología. Facultad de Química. UNAM.

Asesor del tema:

---

M. en C. Lucía Cornejo Barrera

Sustentante:

---

Dolores Gómez Cruz

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesora, la M .en C. Lucía Cornejo Barrera por su incondicional apoyo e infinita paciencia, que me ayudaron a concretar este importante compromiso con mi querida Facultad de Química. Gracias Lucy.

Al respetable jurado, a la profesora Rocío Santillana por sus observaciones hacia este trabajo y al profesor Bernardo Lucas al que siempre he admirado por su entrega y excelencia profesional. Gracias por su tiempo y valiosos comentarios.

Al I.Q. Juan Hilario García Gil y a la Q.F.B. Leonor García Araoz por la oportunidad de colaborar con ellos en la Planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, permitiéndome así iniciar mi carrera laboral y continuar con mis estudios.

A la Sra. Lety, por escucharme y alentarme. Créeme, tu ayuda ha sido invaluable. Conociéndote no es difícil saber por qué todos te queremos

---

---

A ti mami, por siempre estar a mi lado, por escucharme, por tu buen consejo y sobre todo por darme fuerzas para no dejarme caer. Gracias por ser un claro ejemplo de la mujer grandiosa que espero algún día poder ser.

A ti papá, por darnos el buen ejemplo de lo que es ser un profesional responsable y exitoso. Te quiero

Hermana. Gracias por ser tan linda y paciente conmigo. Sabes que te quiero y admiro.

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>1. AVENA.....</b>	<b>4</b>
1.1 Historia.....	4
1.2 Clasificación taxonómica.....	5
1.3 Estructura Morfológica.....	6
1.4 Producción.....	7
1.4.1 Producción mundial.....	7
1.4.2 Producción nacional.....	10
1.5 Composición Química.....	11
1.5.1 Proteínas.....	12
1.5.2 Lípidos.....	15
1.5.3 Hidratos de carbono.....	18
1.5.4 Vitaminas y minerales.....	20
1.6 Industrialización.....	22
1.6.1 Limpieza.....	24
1.6.1.1 Prelimpieza.....	24
1.6.1.2 Limpieza y clasificación por tamaño.....	24
1.6.2 Secado y enfriado.....	24
1.6.3 Descascarillado.....	25
1.6.4 Corte y laminado.....	26
1.6.5 Productos.....	27
1.6.5.1 Subproductos.....	27
<b>2. CACAHUATE.....</b>	<b>29</b>
2.1 Historia.....	30
2.2 Clasificación taxonómica.....	30
2.3 Estructura morfológica.....	30
2.4 Producción.....	32
2.4.1 Producción mundial.....	32
2.4.2 Producción nacional.....	33
2.5 Composición Química.....	33
2.5.1 Proteínas.....	34
2.5.2 Lípidos.....	35
2.5.3 Vitaminas.....	36
2.5.4 Minerales.....	36
2.6 Industrialización.....	37
<b>3. CEREALES PARA DESAYUNO.....</b>	<b>39</b>
3.1 Historia.....	39
3.2 Tipos de cereales para desayuno.....	39

3.2.1 Cereales que necesitan ser cocinados.....	39
3.2.2 Cereales listos para ser consumidos.....	40
3.2.2.1 Hojuelas de maíz.....	40
3.2.2.2 Hojuelas de trigo.....	43
3.2.2.3 Cereales esponjados.....	44
3.2.2.4 Coberturas.....	45
3.3 Mercado mundial.....	46
<b>4. SUPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>47</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>49</b>
1. Elección de las materias primas.....	50
2. Análisis químico proximal de la avena y cacahuete.....	50
3. Desarrollo de la fórmula.....	51
4. Proceso de elaboración.....	53
5. Producto terminado.....	54
5.1 Análisis químico proximal.....	55
5.2 Determinación de hierro.....	55
5.3 Determinación de triptofano.....	57
5.4 Densidad calórica.....	59
5.5 Pruebas biológicas.....	64
5.5.1 Relación de eficiencia proteínica (PER).....	64
5.5.2 Relación neta de proteína (NPR).....	68
5.5.3 Determinación de digestibilidad de una proteína <i>in vivo</i> .....	71
5.6 Análisis sensorial.....	75
5.6.1 Prueba de nivel de agrado y aceptación.....	75
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
1. Análisis químico proximal de la avena y cacahuete.....	78
2. Desarrollo de la fórmula base.....	79
3. Análisis químico proximal del producto.....	80
4. Determinación de hierro.....	81
5. Determinación de triptofano.....	81
6. Densidad calórica.....	82
7. Pruebas biológicas.....	83
8. Análisis sensorial.....	85
8.1 Prueba de nivel de agrado.....	85
8.2 Prueba de aceptación.....	86
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>91</b>

## INTRODUCCIÓN

La comida más importante del día es el desayuno, pues a primera hora de la mañana el organismo lleva ya entre ocho y diez horas sin recibir ningún alimento. La ingesta de un desayuno equilibrado contribuye a conseguir los aportes nutrimentales diarios más adecuados y evita o disminuye el consumo de productos industrializados o tentempiés, por otro lado, numerosos son los trabajos que relacionan el consumo de un desayuno adecuado con un mejor desempeño de las capacidades intelectuales e incluso un mejor rendimiento físico.

En recientes investigaciones se ha puesto de manifiesto una clara mejora en el aporte de hidratos de carbono, fibra, vitaminas y minerales en personas que consumen habitualmente cereales para desayuno, además de que inducen de manera complementaria un consumo mayor de lácteos, ya que normalmente se toman estos alimentos combinados. También se ha constatado menores índices de sobrepeso y obesidad entre aquellos niños y adolescentes que consumen regularmente este tipo de productos. (Serra, 2004)

Los principales componentes que se usan para la elaboración de éstos alimentos funcionales son trigo, maíz, arroz y centeno; siendo el maíz el cereal que más se consume en México y Sudamérica; la avena por su parte está más limitada como consumo en la alimentación humana, a pesar de sus múltiples beneficios que esta ofrece a la salud.

Actualmente en Latinoamérica, el consumo de cereales para desayuno ha ido en aumento, sin embargo se ha observado que su consumo es proporcional a la clase social, es decir, el consumo se ve reducido al disminuir la clase social.



Aprovechando los beneficios que por naturaleza nos ofrece la avena y la creciente preocupación de la población por consumir productos funcionales se decidió utilizar avena y cacahuete como fuentes de proteína para el desarrollo de un cereal para desayuno de alta calidad nutrimental y bajo costo.

## **OBJETIVOS:**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una hojuela para desayuno a base de avena y cacahuate de alto valor nutrimental y bajo costo.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Realizar un análisis químico proximal al producto terminado.
- Evaluar mediante pruebas biológicas, si hay suplementación en la mezcla avena – cacahuate.
- Determinar por medio del análisis sensorial si el producto final es aceptado por el consumidor.

## **ANTECEDENTES**

### **1.AVENA**

La avena es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas; tiene muchas especies y clasificaciones, de las cuales, las más importantes son la avena roja (***Avena byzantina***) y la blanca o amarilla (***Avena sativa***). Esta última es la de mayor importancia comercial y alimenticia para el hombre. En general, la avena roja tiene un menor contenido de proteínas y una mayor proporción de grasa que la blanca (Bonillas, 2002).

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

#### **1.1 Historia**

La historia de la avena está muy opacada porque hay diferentes especies y subespecies, que hacen difícil identificar los restos antiguos (Robles, 1983).

La avena, al igual que el centeno, se introdujo en Europa procedente de Asia Menor y que en tiempos prehistóricos constituía una mala hierba de las cosechas de cebada y trigo. Los cambios climáticos que ocurrieron 1,000 años a.C. supusieron unas condiciones muy desfavorables en el Norte y Oeste de Europa. Esta situación favoreció a la avena que pudo tolerar estos cambios

mejor que la cebada y el trigo. La avena llegó a establecerse mejor en las islas Británicas que en el norte de Europa en donde el centeno fue el principal cereal gracias a su mejor tolerancia al frío que la avena.

La avena se ha cultivado desde los primeros tiempos, desde el periodo romano hasta nuestros días y se ha utilizado tanto para la alimentación animal como para la alimentación humana. Sin embargo, los cambios industriales, agrarios y sociales iniciados en el siglo dieciocho y continuados en el diecinueve, condujeron a cambios graduales en la dieta humana, de modo que el trigo sustituyó en parte a la avena y otros cereales.

El lugar generalmente aceptado donde tuvieron origen las primeras especies de avena que dieron lugar a las especies hoy en día cultivadas, ***Avena sterilis*** y ***A. fatua*** es la región de Asia menor; siendo ***A. sterilis*** la probable progenitora de las demás especies (Welch, 1995).

## 1.2 Clasificación taxonómica

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

(Matz, 1991)

### 1.3 Estructura morfológica

El grano de avena es tan complejo como los granos de otros cereales; como miembros de la familia de las gramíneas están organizados de acuerdo a un patrón estructural similar y contienen tejidos con funciones fisiológicas equivalentes, sin embargo, en varios aspectos la avena es química y estructuralmente única.

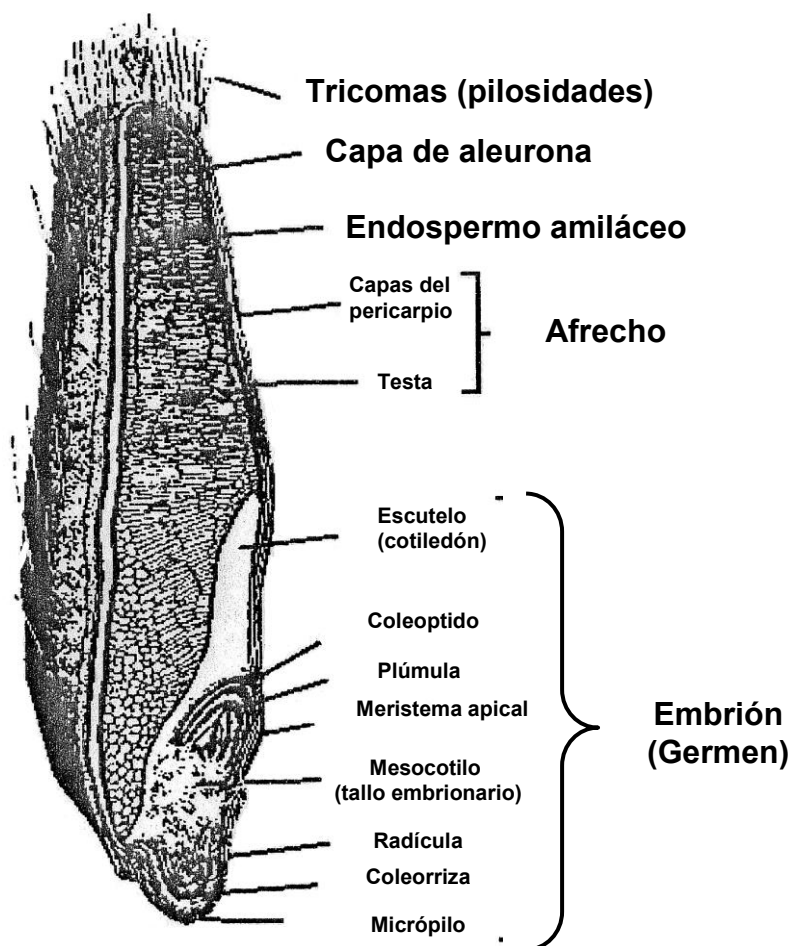


Figura 1. Estructura morfològica de la avena (Bonillas, 2002)

Como se muestra en la figura 1 , el grano está rodeado por una cáscara que corresponde al 30-40% de la estructura del grano y contiene fibra, proteínas, vitamina, minerales y grasa, cuando ésta se remueve queda el endospermo, que es rico en almidón, equivalente del 50 al 65% del peso del grano y contiene otros hidratos de carbono, fibra soluble, proteínas y grasa, la otra parte del grano se llama germen, representa alrededor del 3 al 4% de su peso y esta compuesta por grasa y antioxidantes. Pero la concentración y distribución de cada constituyente puede variar en función de las condiciones ambientales del cultivo o de la variedad de la avena de que se trate.

El salvado, endospermo y el germen son las tres partes principales en las que se puede dividir el grano de avena. El salvado está constituido por diferentes tejidos y contiene cuerpos proteínicos, lípidos neutros, ácido ferúlico y una concentración significativa de niacina, ácido fitico y aminas aromáticas. El endospermo es químicamente similar al salvado en varios aspectos pero aparentemente no contiene niacina o aminas aromáticas (Burrows,1986).

## **1.4 Producción**

### **1.4.1 Producción mundial**

En la tabla 1 se observa que la avena es uno de los cereales más importantes, pues ocupa el sexto lugar en producción de granos a nivel mundial, después del maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo (FAO, 2000).

Tabla 1. Producción mundial de los principales cereales

<b>Cereal</b>	<b>Miles de toneladas métricas</b>
Maíz	591,987
Trigo	585,298
Arroz	401,941
Cebada	134,421
Sorgo	56,046
Avena	25,838

Fuente: FAO, 2000.

La mayor parte de la producción de avena a nivel mundial ocurre en el hemisferio norte entre las latitudes 35° y 50°, principalmente en Europa y Norte América, ya que el cultivo de avena se favorece en los climas fríos o semicálidos (FAO, 2000).

En la tabla 2 se muestran algunos valores de la producción mundial de avena y su consumo per capita en el año 2000. Y en la tabla 3 se muestra la producción mundial de avena en miles de toneladas durante los años 1970 a 2001.

Tabla 2. Producción mundial y consumo per capita

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

Fuente: FAO, 2000

Tabla 3. Producción mundial de avena (miles de toneladas métricas).

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

Fuente: FAO, 2000

Como se puede ver en la tabla 3, se observa un decremento en la producción mundial de avena, sobre todo en México que de 1990 a 2000 la producción fue de 121 a 19 mil toneladas métricas, lo anterior puede ser atribuido a diferentes factores como el desinterés de los productores en vista de las bajas ganancias percibidas por hectárea, comparadas con las de otros cereales; su cascarilla relativamente gruesa, disminuye la densidad de la carga, lo que incrementa el costo de transportación; también ha aumentado el número de cultivos de otros granos como cebada y maíz, y la avena ha sido relegada a un papel de utilidad en la granja, ya que se cultiva en los suelos marginales frecuentemente asociados con irrigaciones pobres y baja fertilidad, y se usa para pastura, forraje, paja y como cultivo de compañía para establecer legumbres. La disminución en la producción, también puede deberse a su activo sistema lipásico y contenido lipídico que la hacen susceptible de rancidez oxidativa; a la falta de investigación sobre las propiedades funcionales de este cereal para generar nuevos productos de interés industrial que abran un amplio mercado



de alimentos modernos, producidos en alto volumen. A todo esto, se agrega el hecho de que la avena en la alimentación humana se usa casi exclusivamente en productos hechos a partir de hojuelas de avena o de harina de avena entera, debido a que la suavidad y el alto contenido lipídico del grano impiden el uso eficiente del equipo convencional de molienda húmeda para generar harinas de avenas refinadas blancas y con bajo contenido de cenizas. Es necesario realizar cambios dramáticos en las características y usos de la avena para incrementar el valor y ganancias por hectárea, para evitar que el interés en la producción de este cereal siga disminuyendo y probablemente deje de ser uno de los cultivos de mayor producción mundial (Burrows, 1986).

#### **1.4.2 Producción nacional**

La superficie utilizada para el cultivo de avena varía de 90,000 a 130,000 hectáreas, siendo el 90% de esta superficie de temporal, teniéndose rendimientos muy bajos.

La zona avenera de México es Chihuahua, ya que se siembran entre 80 y 100,000 hectáreas, siguiéndole Durango y el Estado de México. En Chihuahua, en la región de Baja Babicora, se cultiva el 80% de la producción de este cereal, en la República Mexicana (SAGAR, 2001).

Como muestra la tabla 4, el 98 % de la producción de avena en el 2001 se destinó para forraje y el resto para grano.

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

Tabla 4. Producción Nacional..Año agrícola 2001. Total (Riego + Temporal)

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

Fuente: SAGAR.2001

### **1.5 Composición química**

La avena como cualquier producto natural, varía en su composición. Las principales causas de estas variaciones son debidas al genotipo y a las condiciones ambientales así como a las interacciones entre estos dos factores. Las diferencias del genotipo incluyen las variaciones entre los cultivos de otoño y de primavera así como las diferencias entre las variedades. Algunas variaciones de composición pueden también derivar de las diferencias en las condiciones de cosechado, almacenamiento y tratamientos postcosecha (Welch, 1995).

Tabla 5. Composición química típica de la avena.

<b>Análisis Proximal</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aminoácidos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	g/100g	8.22	Triptofano	g/100g prot	0.234
Energía	Kcal/100g KJ/100g	389.0 1629	Treonina	g/100g prot	0.575
Proteína (N*5.83)	g/100g	16.89	Isoleucina	g/100g prot	0.694
Lípidos totales	g/100g	6.90	Leucina	g/100g prot	1.284
Carbohidratos Totales	g/100g	66.27	Lisina	g/100g prot	0.701
Cenizas	g/100g	1.72	Metionina	g/100g prot	0.312
			Cisteína	g/100g prot	0.408
<b>Lípidos</b>			Fenilalanina	g/100g prot	0.895
Ácidos Grasos			Tirosina	g/100g prot	0.573
Saturados	g/100g	1.217	Valina	g/100g prot	0.937
12:0	g/100g	0.024	Arginina	g/100g prot	1.192
14:0	g/100g	0.015	Histidina	g/100g prot	0.405
16:0	g/100g	1.034	Alanina	g/100g prot	0.881
18:0	g/100g	0.065	Ác. aspártico	g/100g prot	1.448
Monoinsaturados	g/100g	2.178	Ác. Glutámico	g/100g prot	3.712
16:1	g/100g	0.013	Glicina	g/100g prot	0.841
18:1	g/100g	2.165	Prolina	g/100g prot	0.934
Poliinsaturados	g/100g	2.535	Serina	g/100g prot	0.750
18:2	g/100g	2.424	<b>Minerales</b>		
18:3	g/100g	0.111	Calcio	mg/100g	54
<b>Vitaminas</b>			Fierro	mg/100g	4.72
Ácido ascórbico	mg/100g	0	Magnesio	mg/100g	177
Tiamina	mg/100g	0.763	Fósforo	mg/100g	523
Riboflavina	mg/100g	0.139	Potasio	mg/100g	429
Niacina	mg/100g	0.961	Sodio	mg/100g	2
Ácido pantoténico	mg/100g	1.349	Zinc	mg/100g	3.97
Vitamina B-6	mg/100g	0.119	Cobre	mg/100g	0.626
Folacina	mg/100g	56	Manganeso	mg/100g	4.916

Fuente: Matz, 1991

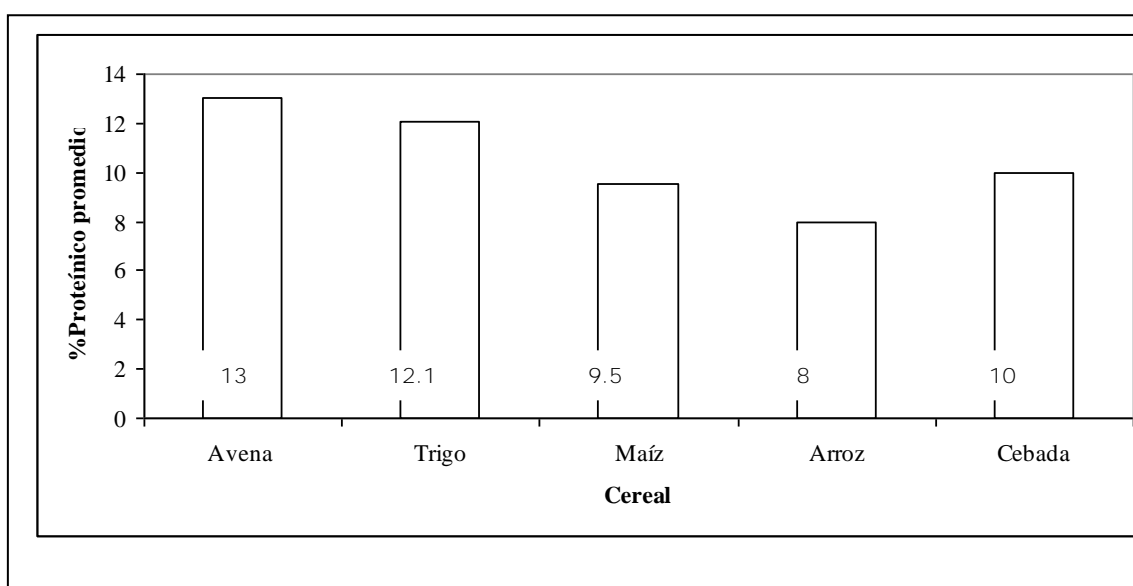
### 1.5.1 Proteínas

Cuando una determinada especie vegetal acumula proteína en cantidades apreciables, ésta se denomina “proteína de almacenamiento” (Matz, 1991); este es el caso de la avena, cuyo contenido proteínico comparado con otros cereales es muy superior debido a que posee un alto contenido de globulinas que aportan la mayor cantidad de lisina (Burrows, 1986), además el equilibrio

de sus aminoácidos se equipara favorablemente a la proteína estándar establecida por la Organización para la alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO).

En la figura 2 se muestra el contenido en porcentaje de proteína presente en diferentes cereales.

Figura 2. Representación en barras del porcentaje proteínico promedio de diferentes cereales.



Fuente: Burrows, 1986.

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

La calidad proteínica de la avena también es superior debido a que posee un alto contenido de globulinas (55%), que representa la fracción soluble en soluciones salinas y que aportan una mayor cantidad de lisina que las otras

fracciones proteínicas como las glutelinas (20-25%) solubles en soluciones alcalinas o ácidas, las prolaminas (en la avena conocidas como aveninas) solubles en soluciones alcohólicas (10-15%) y las albúminas (9-20%) que representan la fracción soluble en agua que se considera esta constituida principalmente por enzimas (Burrows, 1986).

En la tabla 6, el contenido de aminoácidos de la avena es comparado con el de otros cereales, huevo y el estándar de calidad proteínica establecido por la FAO.

Tabla 6: Perfiles de aminoácidos indispensables de algunos cereales y huevo, comparados con el estándar de la FAO.

<b>Aminoácido</b>	<b>Huevo</b>	<b>Avena</b>	<b>Harina de avena</b>	<b>Trigo</b>	<b>Maíz</b>	<b>Cebada</b>	<b>Valores de la FAO</b>
Lisina	6.4	3.7	3.79	2.9	2.7	3.5	5.5
Histidina	2.4	2.1	2.32	2.3	2.7	2.1	-
Arginina	6.6	6.3	6.77	4.6	4.2	4.7	-
Treonina	5.0	3.3	3.26	2.9	3.6	3.3	4.0
Valina	7.4	5.1	5.46	4.4	4.8	5.0	5.0
Metionina	3.1	1.7	1.73	1.5	1.9	1.7	3.5
Isoleucina	6.6	3.8	4.16	3.3	3.7	3.6	4.0
Leucina	8.8	7.3	7.33	6.7	12.5	6.7	7.0
Fenilalanina	5.8	5.0	5.15	4.5	4.9	5.1	6.0
Triptofano	1.6	1.3	1.62	1.1	0.7	1.5	1.0
% Proteína	-	15.1	-	12.2	9.5	11.0	-

Fuente: Burrows, 1986

A pesar de que la avena posee un alto contenido en lisina como se observa en la tabla 6, no deja de ser, como los demás cereales, limitante en lisina y metionina y treonina como aminoácidos limitantes secundarios (Burrows, 1986).

Se ha reportado que la proteína de la avena tiene una Digestibilidad Verdadera entre 0.90 a 0.94, un Valor Biológico de 74.5 a 79.6%, una

utilización neta de la proteína (NPU) de 69.1 a 72.4 y una Relación de Eficiencia Proteínica (PER) de 2.25 a 2.38 (Eggum y Gullord, 1983).

### 1.5.2 Lípidos

La avena, en comparación con otros cereales, tiene una alta cantidad de lípidos, siendo los valores normales de 4.8 a 9.2%, esto determina en gran medida su contenido energético y tiene un gran impacto en su calidad nutricional, por su alto contenido de ácidos grasos insaturados, predominando el linoléico y el oléico (Dendy, 1995). Lo anterior se observa en la tabla 7 en la que se muestra el contenido lipídico de algunos cereales.

Tabla 7. Contenido lipídico de algunos cereales.

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

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

Los ácidos grasos libres de la avena suponen de un 2 a un 11% del contenido lipídico. Estos elevados niveles no son deseables ya que se pueden producir malos olores por rancidez hidrolítica.

Los productores que destinan la avena para consumo humano consideran deseable un bajo porcentaje de grasa, ya que esto disminuye las dificultades

durante el procesamiento, el contenido calórico y el potencial de rancidez, en contraste con la que se destina para alimentación animal donde se desea que tenga un alto contenido lipídico (Burrows, 1986).

El contenido de lípidos difiere mucho entre las diferentes variedades de la avena, pero en general, se compone de ácidos grasos poliinsaturados, como el linoleico, que constituye del 40 al 45 % de los ácidos grasos totales, seguido por el oléico, del 25 al 30% y del palmítico, del 15 al 18%, los restantes son el esteárico y el laúrico. Cabe mencionar que son grasas poliinsaturadas que ayudan a disminuir las concentraciones de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad en la sangre y, por lo tanto, disminuyen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Bonillas, 2002).

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

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

En términos generales, la concentración de ácidos grasos libres se incrementa al aumentar la humedad y el tiempo de almacenamiento.

El contenido crítico de humedad durante el almacenamiento para la mayoría de los cereales es de 14.5 – 15%, mientras que para la avena es de 13.5 a

14%, arriba de este nivel, las lipasas y otras enzimas degradativas incrementan su actividad (Zhou et al. 1999).

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

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

En otro estudio sobre la oxidación lipídica de la avena se demostró que esta posee un mecanismo intrínseco de resistencia contra las manifestaciones



de rancidez, mediante un sistema enzimático basado en la actividad de la aldehído deshidrogenasa el cual transforma un producto de oxidación lipídica, asociado a sabores desagradables (hexanal), en un producto sin estas características (ácido hexanoico) con un rendimiento del 80%. Sin embargo, el tratamiento térmico que normalmente se lleva a cabo para la inactivación de enzimas hidrolíticas excede la temperatura de tolerancia (70°C) de la aldehído deshidrogenasa, por lo que debe reconsiderarse las condiciones en las que se lleva a cabo el tratamiento térmico para lograr una mayor vida de anaquel de la avena y sus productos (Lehto, 2003).

### **1.5.3 Hidratos de Carbono**

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

Alrededor del 33 y 43% de almidón en base seca puede ser extraído a partir de la avena entera, aunque su contenido real en el grano es mucho mayor. El almidón de avena se encuentra en forma de gránulos, los cuales poseen forma irregular, frecuentemente asumen una configuración poliédrica, se han observado gránulos en forma de huso o de óvalo puntiagudo, los cuales son

característicos de la avena. El tamaño de los gránulos de avena varía entre 3 y 10  $\mu\text{m}$ .

La fibra de la avena se encuentra principalmente en la cascarilla y está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina (fibra insoluble). La cascarilla de avena seca contiene aproximadamente 29.4% de  $\alpha$ -celulosa y 16.7% de lignina, la cual no es un hidrato de carbono (Matz, 1991).

Algunas de las funciones y beneficios de este tipo de fibra son las siguientes (Bonillas, 2002):

- Disminuye el tiempo que los alimentos tardan en atravesar el sistema digestivo y lo mantiene funcionando de manera regular.
- Ayuda a aliviar el estreñimiento.
- Reduce el riesgo de padecer cáncer intestinal.
- Desplaza a los alimentos con mayor contenido de grasa.

En cuanto a la fibra dietética soluble, incluye gomas, mucílagos y las pectinas y se ha prestado principal atención a los  $\beta$ - glucanos, constituyente principal de las gomas de avena, debido a sus efectos positivos a la salud, como son (Bonillas, 2002):

- Promueve la salud cardiovascular al reducir las concentraciones de colesterol en la sangre.
- Mantiene y regula la glucosa y la insulina, ya que disminuye la velocidad de digestión y la absorción de los hidratos de carbono en el cuerpo.
- Ayuda a reducir la presión arterial.
- Debido a que absorbe agua con facilidad, ocupa un espacio en el estómago y retarda el vaciamiento gástrico, lo cual provoca una sensación de satisfacción más prolongada en quien la consume.

En la tabla 8 se muestra el contenido de fibra dietética de la avena

Tabla 8: Contenido de fibra dietética de la avena

<b>Fibra</b>	<b>g/100g</b>
Dietética total	10.3
Insoluble	5.2
Soluble	5.1
β- glucano	4.0

Fuente: Quaker, Oats Company, 2002.

Las propiedades hipocolesterolémicas de la avena fueron demostradas en 1963 y desde entonces se han realizado cerca de 50 estudios clínicos para evaluar los efectos que tiene este cereal en los lípidos sanguíneos, pues se ha observado que disminuye el colesterol total y colesterol LDL de un 2 a 23%. Los efectos benéficos de la avena en la salud fueron reconocidos por la FDA en 1997 declarando que: “La fibra soluble de la avena como parte de una dieta baja en grasa saturada y colesterol puede reducir el riesgo de padecer enfermedades cardíacas”. La ingestión recomendada para lograr disminuir el colesterol es de tres gramos de β- glucano, reduciendo así 6 mg/dL. Aunque estos cambios pueden parecer mínimos en comparación con un tratamiento con medicamento, una reducción de 1% del colesterol sanguíneo puede disminuir el riesgo de padecer alguna enfermedad cardiovascular del 2 al 4%. Es por lo anterior la importancia del reconocimiento de estos efectos benéficos en la salud para el desarrollo de nuevos productos, sobre todo en países en los que las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de muerte, entre ellos México que en el 2001, 22.63% de las muertes (420,000 al año) se atribuyeron a este tipo de padecimientos (Bonillas, 2002).

### 1.5.4 Vitaminas y minerales

Las vitaminas y minerales de la avena se encuentran concentrados tanto en la semilla como en el salvado, por lo que el consumo de productos elaborados a base del grano entero es altamente recomendable (Welch, 1995).

En las tablas 9 y 10 se muestra el contenido de vitaminas y minerales en productos de la avena y en su grano entero.

Tabla 9. Contenido de vitaminas en avena y algunos de sus productos.

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

Fuente: Matz, 1991.

Tabla 10. Contenido de minerales en avena entera.

Mineral	Número de muestras	p.p.m.	Mineral	Número de muestras	p.p.m.
Calcio	-	430	Fósforo	233	3400
	10	650		1205	3640
	1205	1170		16	4300
Cloro	-	680	Magnesio	76	1600
	38	1300		1205	1810
Bromo	3	3	Potasio	99	4800
Flúor	-	3	Manganeso	1205	5700
				2	30
				16	42.5
Yodo	13	0.006	Litio	5	96
Azufre	1257	1900	Litio	-	0.05
Hierro	14	51	Sodio	-	33-80
	1205	70	Zinc	-	22-38
	34	79			
Cobre	16	5.2	Plomo	-	0.1
	29	11			

Fuente: Matz, 1991.

La avena puede ser considerada una buena fuente de magnesio, manganeso, hierro, calcio, zinc y cobre. La alta concentración de fósforo se ha puesto en duda, debido a que se encuentra en forma de ácido fítico, el cual tiene un efecto antinutricional al quelar minerales esenciales como calcio, zinc y magnesio e impedir que estos puedan ser absorbidos por el organismo (Matz, 1991).

Los minerales traza pueden presentar variaciones debido a las condiciones de crecimiento de la avena y, en particular, por la geología subyacente del terreno (Welch, 1995).

## **1.6 Industrialización**

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

La avena se clasifica por el color, siendo la avena blanca la avena molturable. La mayor parte de la avena que se consume directamente como alimento se ofrece en forma de cereal de desayuno; siendo la forma de presentación más popular la de copos de avena (Hoseney, 1991). Los copos de avena requieren menor tiempo de cocción. El tratamiento térmico con vapor se utiliza para mantener los granos descascarillados intactos mientras son sujetos a presión, además de impartir la ventaja de ser parcialmente precocidos antes del laminado y así obtener un producto “instantáneo”.

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

En la figura 3 se muestra un diagrama de flujo de la industrialización de la avena para la producción de distintos productos

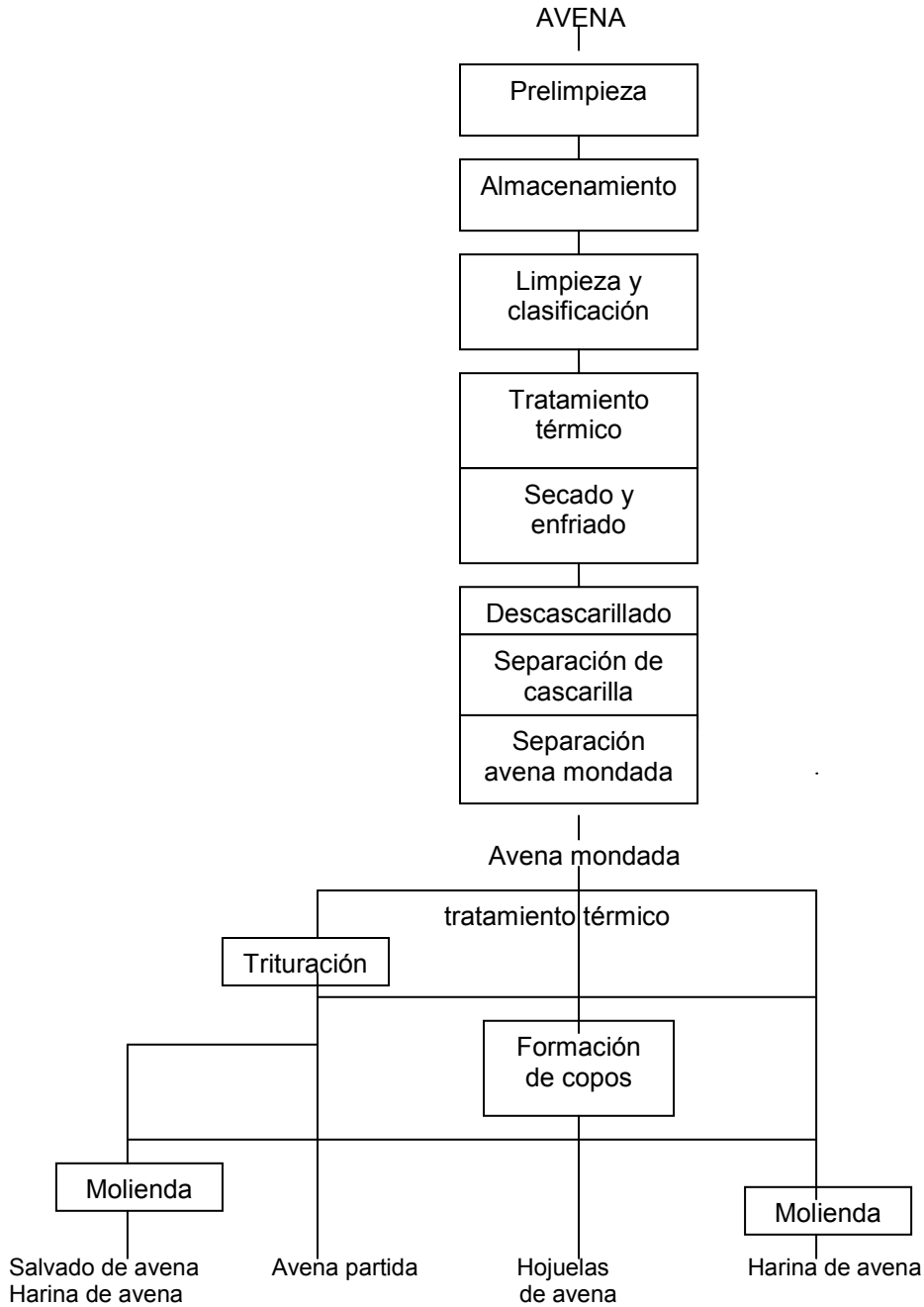


Figura 3. Diagrama de flujo de la industrialización de la avena para la producción de distintos productos. (Welch, 1995)

## **1.6.1 Limpieza**

### **1.6.1.1 Prelimpieza**

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

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

### **1.6.1.2 Limpieza y clasificación por tamaño**

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

## **1.6.2 Secado y enfriado**

La avena descascarillada contiene aproximadamente 6.5% de grasa, una cantidad que no se encuentra en ningún otro cereal. Durante el almacenamiento normal de la avena (13% de humedad y más de 18°C), el contenido de ácidos grasos libres aumenta muy lentamente, pero si la avena es quebrada o molida la producción de ácidos grasos libres aumenta

considerablemente en dos o tres días. Esta cantidad de ácidos grasos más la acción de enzimas del tipo lipasas produce rancidez; sin embargo, si la avena se somete a un tratamiento térmico las lipasas son inactivadas en unos cuantos minutos a una temperatura de 90-100°C y a una humedad no menor de 12 %.

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

Durante el secado que dura aproximadamente una hora, se elimina de 3 a 5 % de humedad a temperaturas de 88 a 93°C. La avena entra al secador con una humedad aproximada de 12% y sale con una humedad de entre 7 y 10%. Posteriormente la avena es enfriada mediante un flujo de aire, al final de la operación la avena posee un contenido de humedad que va de 8 a 10% y una temperatura de 38 a 49°C; además de que todavía muestra de un 20 a 40% de la actividad lipasa original.

### **1.6.3 Descascarillado**

La eficiencia del descascarillado es mejorada por una previa clasificación por tamaño, pues la máquina descascarilladora funciona bien cuando es alimentada con tamaños homogéneos de avena en vez de un amplio rango de valores. Seguido de lo anterior viene la separación de una mezcla de avena sin cascarilla, cascarillas y avena entera, así los subproductos como la cascarilla y



partículas finas son descartados por aspiración con aire, la avena entera entra de nuevo a la descascarilladora y la avena desnuda es pulida para eliminar pelusa y partículas finas adheridas para continuar con el proceso.

#### **1.6.4 Corte y laminado**

La avena que se utiliza para consumo humano es comercializada en la forma de hojuelas y en menor proporción como harina de avena. La avena en hojuelas constituye el principal producto final y se producen al someterla a una alta presión mediante rodillos que giran en sentidos opuestos.

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

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

El tiempo del tratamiento térmico con vapor es de 12 a 15 minutos en el cual la temperatura aumenta de temperatura ambiente a 99- 104°C. El vapor aumenta la humedad de la avena hasta un 12%.

Luego de que la avena ha sido laminada, las hojuelas pasan a través de tamices, donde las partículas finas producidas durante el laminado son removidas, así como los aglomerados de hojuelas producidos por sobrecocción. Finalmente las hojuelas son sometidas a un proceso de enfriado por corrientes de aire para reducir el contenido de humedad de 10- 12% a 9- 11.5% y reducir la temperatura de 93°C a 43°C aproximadamente, de esta forma las hojuelas pueden ser empacadas.

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

### **1.6.5 Productos**

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

#### **1.6.5.1 Subproductos**

Cascarilla: La cascarilla representa menos del 25% de la avena y es utilizada como ingrediente en la alimentación animal o en la producción de disolventes industriales, principalmente el furfural.

Rechazo: Esta fracción representa del 8 al 11% de la avena original, la cantidad puede variar considerablemente dependiendo de la calidad de la avena adquirida y de la región de origen.

Lo conforma la avena ligera, doble y tipo alfiler, la cual es removida durante la operación de limpieza y generalmente es utilizada en la alimentación animal. Aunque es indeseable en el proceso de industrialización de la avena, ésta es nutricionalmente equivalente a la avena regular por lo que es una excelente fuente de nutrimentos para animales de granja.

Mezcla de granos y semillas: Representa del 2 al 3% de una mezcla de maíz, trigo, cebada, soya, semillas de girasol y maleza, la cual es posteriormente molturada y vendida como alimento para animales.

Avena de segunda calidad: O también conocida como avena fina, es un subproducto de las operaciones de corte y laminado, representa del 3 al 5% en una planta eficiente. Puede ser vendida como suplemento alimenticio de alta concentración de proteína para la alimentación animal o incorporarse al sistema de molienda para la producción de harina de avena (Klaus, 1991).

## **2 CACAHUATE**

*Arachis hypogaea* es la planta de la cual se obtiene el fruto comestible llamado en diferentes países cacahuate, cacahuete o maní; pertenece a la familia de los guisantes (*Fabaceae*), y por lo tanto las semillas son albergadas en frutos de tipo legumbre.

Los cacahuates crecen bajo el suelo dentro de una cáscara leñosa que, normalmente, contiene dos semillas. La planta del cacahuate es fibrosa y mide de 30 a 50 centímetros de altura; sus hojas son alternas con flores de color amarillo.

Los suelos apropiados para el cultivo del cacahuate son aquellos arenos – arcillosos, sin piedra ni residuos vegetales, ya que su fructificación en los suelos pesados dificultaría la penetración de la semilla fecundada a la tierra. Deben ser ricos en calcio con un pH de 6 a 6.5, profundos y de buen drenaje, sin exceso de materia orgánica. Los suelos ricos en nitrógeno pueden dañar los rendimientos.

Para su desarrollo y crecimiento la planta necesita temperaturas entre 20<sup>0</sup> C – 40<sup>0</sup> C. La altitud va desde el nivel del mar hasta mil metros (Bernal, 1991).

## 2.1 Historia

La planta, que es de origen sudamericano, de la parte meridional de Brasil, ha sido cultivada para el aprovechamiento de sus semillas desde hace 4 ó 5.000 años. En la actualidad su cultivo se ha extendido ampliamente por regiones de Asia y África (Osorio, 2001).

En México fue traído de España por el arzobispo de Valencia Fabián de Tuero, en la segunda mitad del siglo XVIII (Bernal, 1991).

## 2.2 Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
División	<b><i>Magnoliophyta</i></b>
Clase	<b><i>Magnoliopsida</i></b>
Orden	Fabales
Familia	<b><i>Fabaceae</i></b>
Subfamilia	<b><i>Faboideae</i></b>
Tribu	<b><i>Aeschynomeneae</i></b>
Género	<b><i>Arachis</i></b>
Especie	<b><i>A.hypogaea</i></b>

Fuente: Guiller, 1997

## 2.3 Estructura Morfológica

- Raíces: La raíz principal es pivotante, la cual origina un gran número de raíces secundarias que forman una densa red. Al igual que las demás leguminosas. En sus raíces se originan nódulos por la presencia de bacterias nitrificantes.

- Tallo: En la mayoría de las variedades comerciales el tallo es erecto, puede alcanzar una altura de 15 a 17 cm, produce ramas desde la base, estas pueden producir raíces al tocar el suelo.
- Hojas: Son pinnadas, con dos pares de folíolos ovalados, obtusos y ligeramente puntiagudos con márgenes lisos y de 4 a 8 cm de largo.
- Flores: Se originan agrupadas. Al principio las flores son sésiles. La corola es de color amarillo brillante y de 0.9 a 1.4 cm de diámetro, formada por un estandarte grande, frecuentemente con manchas moradas. Tiene nueve estambres alrededor del ovario alargado, comúnmente las flores se autopolinizan.
- Fertilización: Después de ésta, el tallo de la flor se alarga hasta llegar a un alto de 3 a 10 cm de longitud.
- Fruto: Es una vaina bilocular de 2 a 7 cm de largo con dos o cuatro semillas. En variedades erectas, las vainas se forman alrededor al tallo. Las vainas son abultadas de color café- amarillento con bordes prominente reticulados y estrechos entre las semillas.
- Semillas: Son ligeramente redondeadas y comprimidas con hilum puntiagudo (Guiller, 1997).

A continuación en la figura 4 se muestra la muestra la estructura morfológica del cacahuate.

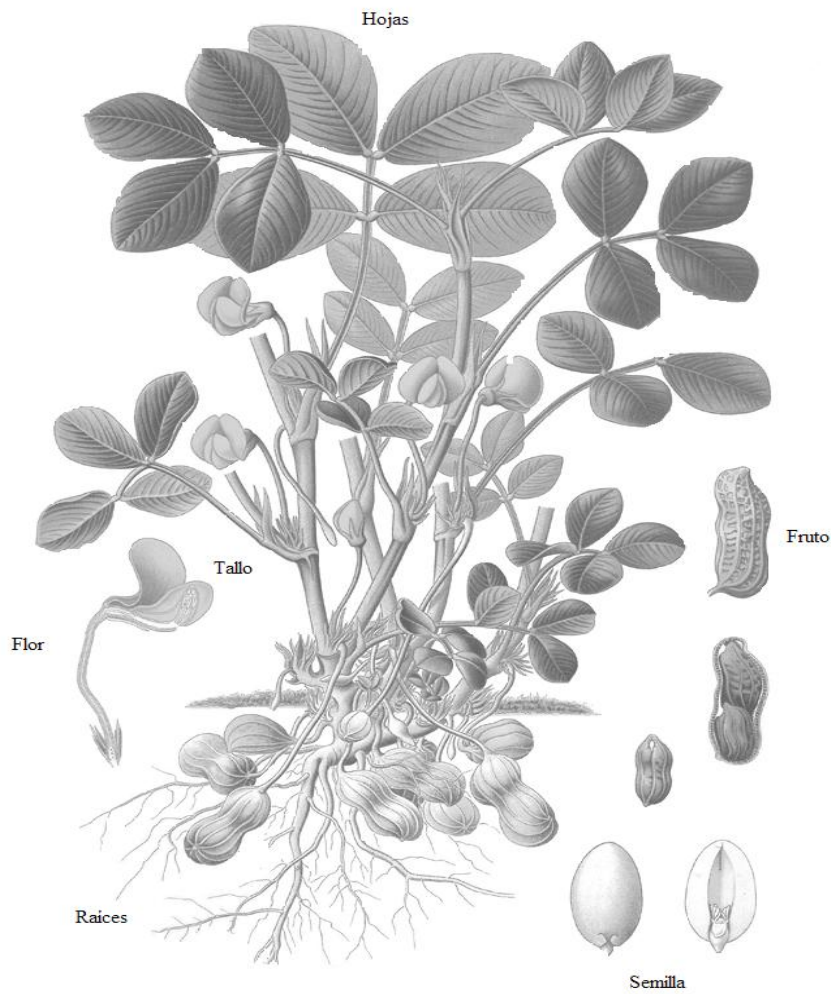


Figura 4. Morfología del cacahuete

## 2.4 Producción

### 2.4.1 Producción mundial

El cacahuete es un cultivo valioso para millones de agricultores en las zonas tropicales semiáridas, pues desde la siembra hasta su industrialización representa una fuente de empleo importante. En el mundo se cultivan cerca de 22.23 millones de hectáreas de cacahuete con un rendimiento de 29.22 millones de toneladas de vainas.

Los principales continentes productores de cacahuete son: Asia, África y América; el continente asiático participa con un 64% de la superficie cultivada (aproximadamente 13,807 millones de hectáreas) aportando el 70% de la producción mundial que equivale a 21 millones de toneladas de vainas (Guiller, 1997).

#### **2.4.2 Producción nacional**

A pesar de que México no ocupa un lugar importante como productor de cacahuete a nivel mundial, esta oleaginosa es cultivada en 16 estados de la república, destacando por su superficie sembrada y cantidad de semilla recolectada: Puebla, Oaxaca, Sinaloa, Chihuahua, Chiapas, Guerrero, Morelos, San Luís Potosí y Nayarit.

Por otro lado a consecuencia del incremento en el consumo de productos elaborados a base de cacahuete, así como la diversificación de sus usos; en el mercado nacional se ha provocado una baja disponibilidad de la semilla fomentándose su importación para satisfacer la demanda. Además los cacahuates provenientes de otros países como Estados Unidos y Argentina resultan ser más baratos que el producto nacional (Bernal, 1991).

#### **2.5 Composición Química**

El cacahuete es una semilla oleaginosa y se considera que contiene más proteínas, minerales y vitaminas que el hígado vacuno, más grasa que una crema densa y más calorías que el azúcar, por lo que a menudo es llamado “la carne de los pobres”.



Los cacahuates contienen del 40 a 50 por ciento de grasa, del 20 al 30 % de proteína y de un 12 a un 18% de carbohidratos, minerales y vitaminas (Bernal, 1991).

La composición de 100g de la parte comestible del cacahuate se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Composición química de 100 g de semillas de cacahuate

Calorías	538.5
Humedad	4g
Proteína	26.05g
Grasa	44.6g
Hidratos de carbono	17.01g
Fibra	1.48g
Cenizas	2.75g

Fuente: Bernal, 1991

### 2.5.1 Proteína

La proteína de cacahuate posee un coeficiente de digestibilidad de 89% y está constituida por dos tipos de globulinas; araquina y conocrina, la primera se encuentra almacenada en la aleurona de los granos mientras que la segunda está presente en el citoplasma celular.

Los aminoácidos limitantes en la proteína son los azufrados como la metionina y la cistina. Sin embargo contiene arginina que también es un aminoácido esencial.

Mientras que su contenido en lisina es bastante bajo, aunque no limitante lo que representa un inconveniente cuando se combina con cereales deficientes en lisina para equilibrar la ingesta alimentaria (Guiller, 1977).

## 2.5.2 Lípidos

Las semillas de cacahuate contienen de 45 a 50% de lípidos y de tal porcentaje el 80% corresponde a ácidos grasos insaturados.

Del porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados antes citado, el 50% corresponde al ácido oleico mientras que el 30% restante al ácido linoléico, ambos con cadenas de 18 carbonos y su diferencia radica en que el oleico posee una insaturación en el carbono 9, mientras que el linoléico posee un par de dobles ligaduras localizadas en los carbonos 6 y 9 de su cadena.

El aceite de cacahuate presenta un bajo contenido de los principales ácidos grasos saturados y no contiene ácido linolénico, que es la principal causa de los problemas de rancidez (Osorio, 2001).

En la tabla 12, muestra los ácidos grasos constituyentes del aceite de cacahuate así como la proporción en la que están presentes .

Tabla 12. Composición lipídica del cacahuate.

Ácido graso	g/100g
Palmítico (16:0)	9.5
Palmitoléico (16:1 $\omega$ 7)	0.02
Esteárico (18:0)	2.6
Oleico (18:1 $\omega$ 9)	56.1
Linoleico (18:2 $\omega$ 6)	24.2
Linolénico (18:3 $\omega$ 3)	0.03
Araquídico (20:0)	1.3
Gondoico (20:1 $\omega$ 9)	1.3
Behénico (22:0)	2.8

Fuente: Osorio, 1997

### 2.5.3 Vitaminas

Los cacahuates contienen varias vitaminas importantes y sus semillas son una excelente fuente de riboflavina, tiamina y ácido nicotínico. También contienen vitamina E, pero prácticamente no contienen vitamina A y C (Bernal, 1991).

La tabla 13, muestra las vitaminas así como la cantidad presentes en la semilla de cacahuete

Tabla 13. Vitaminas presentes en la semilla de cacahuete

<b>Vitamina</b>	<b>mg/100g</b>
Vitamina E	3.16-3.23 UI
Riboflavina	14.2-19.2
Tiamina	0.13-0.23
Niacina	0.70-0.23
Ácido pantoténico	2.5
Piridoxina	0.3
Biotina	0.034
Inositol	180
Ácido fólico	0.28
Vitamina A	0
Vitamina C	0
$\alpha$ -tocoferol	7.2
$\beta$ - tocoferol	0
$\gamma$ - tocoferol	0.018%-0.022%
$\delta$ - tocoferol	1/5 tocoferoles totales

Fuente: Bernal, 1991

### 2.5.4 Minerales

Los cacahuates contienen alrededor de 2.4% de cenizas, que se encuentran constituidas por cerca de 26 componentes inorgánicos. De estos los más abundantes son el potasio, magnesio, fósforo y azufre mismos lo cual se observa en la tabla 14, siendo el azufre el mineral que se encuentra en gran proporción y en apariencia no es afectado por el calentamiento a que se someten los cacahuates durante el tostado.

Los componentes restantes son estables al mismo tratamiento térmico, hecho importante desde el punto de vista nutrimental (Guiller, 1997).

Tabla 14. Minerales presentes en la semilla de cacahuete

<b>Mineral</b>	<b>mg/100g</b>
Potasio	680-890
Sodio	Trazas
Calcio	20-80
Magnesio	90-340
Fósforo	250-660
Azufre	190-240
SiO <sub>2</sub>	80
Zinc	1.7-80
Manganeso	0.8-50
Hierro	1.8-100
Cobalto	0.03
Cobre	0.7-30
Boro	2.6-50
Fluor	0.14
Yodo	0.02
Estroncio	0.8-5
Bario	8-30
Vanadio	10-50
Cromo	1-30

Fuente: Guiller, 1977

## 2.6 Industrialización

En México el 12% de la producción de cacahuete se destina para la elaboración de aceite, crema de cacahuete y demás productos industrializados como son tintas, lápices labiales, colores y jabón, y el 88% restante se utiliza para consumo directo, después de tostado, en forma de palanquetas, garapiñados, dulces o botanas, salado o enchilado.

En lo que respecta a los desperdicios generados en las plantas procesadoras de cacahuete, estos son utilizados para generar los siguientes subproductos:

- Plantas: En el campo ya recolectado los cerdos consumen las plantas de los cacahuates y se aprovechan para que coman los frutos que quedan en el terreno. También pueden utilizarse como suplemento proteínico, en cantidades limitadas, para otras clases de ganado.

- Torta: Se emplea para la producción de proteasas y lipasas así como en la alimentación humana y animal, además también es requerida para la elaboración de materiales plásticos, pinturas, adhesivos y emulsificantes.

- Harina: Es uno de los mejores suplementos proteínicos para el ganado.

Agregado al alimento de las gallinas se estimula la producción de huevos y se consigue que los polluelos crezcan y engorden rápidamente.

-Tegumentos: Están formados por la delgada cubierta roja de los granos, junto con una mayor o menor cantidad de germen y trozos de granos rotos.

Se emplean principalmente en ciertos alimentos mixtos y son buenos sustitutos del salvado de trigo.

- Cáscaras de cacahuate: Se utilizan como combustibles para hornos de fábrica. Se ha calculado que 3 toneladas de cáscara equivalen a una tonelada de carbón (Osorio, 2001)

### **3.CEREALES PARA DESAYUNO**

Las industrias de cereales para desayuno son de las más versátiles y tecnificadas. Los productos terminados son convenientes y prácticos ya que requieren el mínimo de cocimiento o preparación y tienen una prolongada vida de anaquel. En la actualidad, esto ha tomado más importancia dado al creciente número de amas de casa que desempeñan otras labores y en general al acelerado tren de vida cotidiano.

Un cereal matinal se considera el primer alimento del día y poseen un bajo contenido de grasa, la mayoría contienen azúcar y están enriquecidos o fortificados con vitaminas y minerales y son, casi siempre consumidos con leche por la mañana; están caracterizados por contener baja humedad, indispensable para preservar las características de textura del producto e impedir su deterioro. Indudablemente, el tipo de envase juega un papel muy importante en la conservación de las características típicas del producto terminado. Son manufacturados de semolinas o gránulos de maíz, trigo, arroz y avena ya sean solos o combinados entre sí.

En general, los procesos de manufactura incluyen la combinación de ingredientes o materia prima, cocimiento, formación, horneado, saborizado y envasado. El cocimiento se usa en ollas rotativas de presión, cocedores de chaqueta de vapor o extrusores de producción continua. Los cocedores de vapor o con camisa de vapor generalmente procesan granos enteros o gránulos de alta granulometría, mientras que los extrusores están diseñados para procesar gránulos más pequeños, sémolas e inclusive harinas. El proceso de extrusión es utilizado para la manufactura de dos clases principales de productos: expandidos y comprimidos. A estos últimos también se les

denomina productos intermedios ya que son estables al ambiente y requieren procesos adicionales para su comercialización o consumo. Los comprimidos son generalmente inflados o expandidos con cañones que operan a alta presión o con otros procesos térmicos como el horneado (Serna, 1995).

### **3.1 Historia**

Una de las versiones más aceptadas acerca de la historia de los cereales listos para ser consumidos dice que el Dr. Kellogg era el encargado de diseñar la dieta de personas vegetarianas que vivían en una comunidad de Michigan llamada Battle Creek a mediados de 1800. El Dr. Kellogg preocupado por la dieta de su gente, particularmente por el hecho de que era monótona. Junto con su colega C.W. Post se dispusieron a aumentar la variedad de alimentos desarrollando nuevos productos los cuales tuvieron mucho éxito y así Post y Kellogg decidieron independizarse (Hoseney, 1991)

### **3.2 Tipos de cereales para desayuno**

Los cereales para desayuno son clasificados de la siguiente manera: a) granos enteros expandidos o inflados; b) productos laminados u hojuelas; c) productos extrudidos/expandidos; d) productos extrudidos/ comprimidos; e) productos trenzados y f) granolas.

### **3.2.1 Granos enteros expandidos o reventados**

Las condiciones necesarias para lograr la expansión de granos son el cocimiento o gelatinización del almidón y la aplicación de un fuerte tratamiento térmico o de presión con su posterior liberación. La humedad absorbida por el material durante el acondicionamiento es fundamental para la posterior formación de vapor de agua una vez que se libera la presión o se aplica calor. El grano expande debido a la rápida salida de vapor de agua que intenta equilibrarse con la presión atmosférica.

Los cereales más utilizados para la producción de granos enteros expandidos son el arroz y el trigo. El arroz palay largo o parbolizado es sometido al proceso normal de molienda. La materia prima ideal tiene un buen color blanco y menos de 0.5% de aceite. El arroz puede ser sujeto a procesos de expansión sin ser condicionado, mientras que el trigo precisa ser condicionado con agua salada.

El trigo es generalmente expandido entero, es decir con la presencia del pericarpio. El grano es acondicionado con una solución salina para endurecer al pericarpio y propiciar que el mismo se desprenda en forma de hojuelas una vez que se expande. Posteriormente es removido en un sistema de tamizado equipado con aspiración de aire.

Indudablemente, la principal operación unitaria para la producción de granos expandidos requiere el uso de cañón reventador, que opera en lotes y también en forma continua. El grano entero o precondicionado es depositado en una cámara de expansión herméticamente cerrada, la cual generalmente rota sobre su eje. Estos equipos operan a presiones de hasta 200 psi. La presión se incrementa dado al calentamiento aplicado sobre las paredes de la cámara de expansión. El calentamiento (200-260<sup>0</sup>C) superevapora el agua del grano y



causa el notable incremento de presión, ésta liberándose súbitamente. El grano expandido con una menor densidad sale proyectado hacia un recipiente colector que en ocasiones lo constituye una red. El producto con baja humedad (6-9%) es posteriormente clasificado con el objeto de remover granos sin reventar, pedazos de pericarpio y otros materiales. El material clasificado es secado hasta bajar a humedad 2-3%. El grano seco es más crujiente, pero también más susceptible a absorber humedad ambiental. Por lo tanto, estos materiales se envasan inmediatamente en empaque compuestos con películas impermeables a la humedad. Procedimientos similares son usados para reventar gránulos grandes de maíz.

Una gran porción del mercado de cereales para desayuno está dominado por granos enteros expandidos en hornos. El más popular es el arroz expandido. En ese caso, la tasa de expansión es mucho menor que en granos expandidos en cañones o equipos reventadores. Los granos de arroz preferidos son de tamaño corto o mediano. Los granos pulidos con alta incidencia de microfisuras en el endospermo y alto contenido de aceite (0.25%) producen más baja calidad de productos, dado la pobre tasa de expansión y propiedades estructurales del producto cocido. Generalmente, el producto cocido sólo expande 2-5 veces. El grano blanco/pulido de tamaño medio es cocinado en ollas de presión (15-18 psi) junto con azúcar, sal, malta no diastásica, saborizante y agua suficiente para incrementar la humedad del grano a 28%. El arroz cocido es equilibrado a temperatura ambiente y sometido a un paso a través de un equipo desaglomerador. El arroz, ahora en unidades individuales, es secado en dos etapas. La primera tiene como objetivo reducir la humedad de 28-17% y preparar al grano para ser parcialmente rolado o aplanado. El

grano con 17% de humedad es equilibrado hasta por ocho horas antes de pasar por un par de rodillos laminadores operando con una luz de aproximadamente el mismo grosor del grano. Este paso aplasta ligeramente el grano y crea fisuras en su endospermo, las cuales posteriormente ayudan a mejorar la tasa de expansión. Después, el arroz pasa a la segunda etapa de secado hasta reducir su humedad a 10%. El arroz es finalmente tostado y, o expandido a temperaturas de hasta 340<sup>0</sup>C. El gradiente de temperatura es mayor en la parte final del horno, esto con el objeto de liberar el vapor de agua y optimizar la expansión. El arroz expandido es posteriormente enfriado, enriquecido o fortificado y envasado (Serna,1995).

### **3.2.2 Productos laminados**

Dentro de esta categoría se encuentran las hojuelas de maíz, trigo y arroz. Las hojuelas de maíz son el cereal para desayuno más popular y vendido en el mundo entero. El proceso tradicional para la producción de hojuelas de maíz empieza con una adecuada selección de la materia prima. Las características del grano de maíz más adecuadas son: clase dentada, endospermo duro y amarillo, alto peso hectolítrico y buen color. Estas propiedades favorecen el proceso de molienda para la obtención de un mayor rendimiento de gránulos y al color del producto.

Los pedazos de endospermo de color amarillo son cocidos en ollas de presión horizontales-rotativas. Anteriormente los gránulos fueron mezclados con jarabe de maíz, azúcar, malta no diastásica, sal y agua. La mezcla se cuece a presiones de 0.044-0.067 t/cm<sup>3</sup> hasta gelatinizar propiamente el almidón o llegar a una humedad de 28-33%. En este estadio los pedazos de

endospermo adquieren una apariencia translúcida y tienden a agregarse. El tiempo de cocimiento varía de acuerdo con el tamaño y condición o dureza de los gránulos. Los gránulos cocidos son inicialmente conducidos a un equipo desagregador que los separa en unidades individuales. Después son transportados por medio de una banda sin fin a un secador contracorriente que opera a temperaturas de 65<sup>0</sup>C aproximadamente, hasta que su humedad se reduce a 20%. Posteriormente, los gránulos se almacenan en un silo por 6-24 horas con objeto de equilibrarlos o de mejorar la distribución de la humedad dentro de la integridad del gránulo. Los gránulos duros y oscuros son laminados en un par de rodillos contrarrotantes enfriados por agua, los cuales aplican una presión aproximada de 234 t/cm<sup>2</sup>. Las hojuelas de maíz plásticas y de color más claro son tostadas con aire caliente en hornos de cilindro rotativos, donde la alta temperatura se genera por medio de quemadores de gas. Las hojuelas residen en el horno de 50 seg. a 3 min. a temperaturas de 288-302<sup>0</sup>C. El proceso de horneado deshidrata la hojuela, ayuda al desarrollo del sabor tradicional, textura crujiente y color dorado impartido por reacciones de Maillard . Las hojuelas son enfriadas, asperjadas con vitaminas y minerales y equilibradas antes de ser envasadas. La humedad óptima de empaque para conservar la textura y prolongar la vida de almacén es de 2%. El empaque generalmente incluye el uso de papel encerado, el cual es impermeable a la humedad del ambiente, aunado con una caja de cartón, cuya función primordial es proteger el producto. El proceso de manufactura de hojuelas azucaradas es muy similar al descrito anteriormente, con excepción de que las hojuelas laminadas y tostadas son asperjadas con una solución azucarada en un tambor recubridor (Desrosier, 1991).

Las hojuelas de trigo son producidas a partir de grano entero, generalmente trigo suave. El grano es primeramente acondicionado con vapor hasta incrementar su humedad a 21% y después se introduce entre un par de rodillos. Esta etapa permite que el pericarpio se rompa parcialmente, ayudando a que el endospermo absorba agua más fácilmente durante el proceso de cocimiento. A diferencia del maíz, el trigo se cocina hasta que el grano absorbe 50% de humedad. Dado que los granos tienden a agregarse más, es fundamental someterlos a un paso a través del equipo desaglomerador. Los granos son secados hasta alcanzar 20-21% de humedad y procesados de manera similar a las hojuelas de maíz, con excepción de que el trigo se somete a un pretratamiento térmico con lámparas infrarrojas antes de ser laminado. Este tratamiento térmico, que baja la humedad de 16-18%, es requerido para mejorar las propiedades plásticas, y por consiguiente para producir las hojuelas más uniformes.

Las hojuelas de arroz son procesadas a partir de granos enteros pulidos o subproductos de molienda con alta granulometría. El arroz es cocinado con 8 a 12% de azúcar, 2% de jarabe de maíz, 2% de sal y agua suficiente para incrementar la humedad hasta un 28%. La mezcla se cocina generalmente 60 min. a una presión de 15-18 psi. El proceso de laminación y tostado es similar al de las hojuelas de maíz, con excepción de que las humedades óptimas del arroz cocido antes de entrar al laminador y el de la hojuela terminada son de 17 y 1-3% respectivamente.

El cereal matinal más popular producido a partir de la avena es la sémola laminada y a diferencia de las hojuelas de maíz, trigo y arroz, las hojuelas de avena no son tostadas, son de menor tamaño y una textura no crujiente.

Como ya se ha mencionado, a diferencia de otros cereales , la avena se caracteriza por contener cantidades significantes de lípidos en el endospermo aunado con una fuerte actividad lipolítica, lo que favorece la oxidación y la rancidez. Por lo tanto, el material tradicionalmente usado para envasar las hojuelas terminadas es cartón, el cual da oportunidad de ocurra intercambio gaseoso entre el producto y el medio que lo rodea, removiéndose compuestos volátiles de oxidación.

La extrusión termoplástico se ha usado como un método alternativo para la producción de hojuelas de maíz u otros cereales. La producción de hojuelas vía extrusión tiene como ventajas principales que la materia prima puede tener forma de gránulos de bajo calibre o harinas gruesas, los cuáles son más fáciles de producir y conseguir, además las hojuelas pueden ser producidas a partir de combinaciones de distintos cereales e ingredientes. La materia prima se mezcla con los otros ingredientes y se alimenta a un extrusor formador de comprimidos. A diferencia del proceso tradicional, los comprimidos son manufacturados en cuestión de minutos, mientras que el cocimiento y preparación gránulos por el método tradicional demora 24 horas. Los comprimidos precocidos con 20-22% de humedad son alimentados directamente a los rodillos laminadores para la formación de hojuelas. Las hojuelas son posteriormente tostadas y tratadas de la misma manera a las obtenidas mediante el proceso tradicional. Además de ahorrar energía y tiempo, el proceso de extrusión produce comprimidos y hojuelas con tamaño más uniforme.

### **3.2.3 Productos trenzados**

El proceso de manufactura de los productos trenzados básicamente se subdivide en cocimiento del grano, formación de hebras, aglomeramiento de hebras, formación y corte de rectángulos en forma de almohadas y horneado. La mayoría de estos productos son manufacturados a partir de trigo entero, aunque también existen productos trenzados a partir de maíz y arroz. El trigo más adecuado es el que posee el pericarpio blanco y textura suave o almidonosa. Los trigos de pericarpio blanco forman un producto de mejor color. El grano es cocido en agua 3<sup>o</sup>-35 min. a temperatura cercana a la de ebullición o hasta que absorba 40-50% de humedad. En este punto, el centro geométrico del grano adquiere un color grisáceo. Posteriormente, se remueve el exceso de agua de cocimiento, los gránulos se enfrían y depositan en una tolva de equilibrio donde residen hasta 24 horas. La formación de hebras se logra pasando el grano, reposado o equilibrado, a través de un par de rodillos (6-8 pulgadas de diámetro por 3 pulgadas de ancho) uno liso y otro acanalado (20 corrugaciones). Estos rodillos giran con un pequeño diferencial en velocidad que favorece el acanalado. Las hebras son formadas dentro de los canales debido a la presión existente entre los rodillos y separadas por medio de un peine dentado que ajusta dentro de los canales del rodillo formador. Las hebras con 45% de humedad provenientes de otros rodillos son superpuestas y cortadas con cuchillas en pequeños cuadros o rectángulos antes de entrar en el horno. El proceso de horneado es crítico para obtener un producto con buen color, sabor y textura. La transferencia de calor en el horno es por medio de conducción, por lo que se utilizan hornos de banda. El horneado dura 1-4 min.

y es practicado a temperaturas de 204-315<sup>0</sup>C. El producto a la salida del horno contiene 1-4% de humedad.

El proceso de extrusión también se ha utilizado para el cocimiento y formación de hebras y productos trenzados. Tiene las ventajas de que pueden combinar diferentes harinas o cereales, incorporar otros ingredientes y que el tiempo del proceso se reduce considerablemente. Existen dos variantes en el proceso: una donde el extrusor produce una masa cocida que es alimentada a los rodillos formadores de hebras y otra donde la masa es extrudida a través de un dado o matriz que forma continuamente las hebras. Después de la etapa de formación de hebras, el productos es finalizado siguiendo los mismos pasos a los descritos anteriormente.

### **3.2.4 Granolas**

Dentro de esta categoría de cereales se encuentran aquellos formulados a partir de granos inflados o expandidos, enteros o quebrados generalmente saborizados con malta y aglomerados con jarabes y soluciones azucaradas. Las mezclas o granolas pueden ser ofrecidas al consumidor en forma de harinas gruesas o en forma de barras prensadas. La mayoría de las formulaciones contiene avena laminada, mezclada con granos tostados o inflados, nueces, coco, leche en polvo, malta, frutas secas y condimentos. Los saborizantes son generalmente diluidos en agua y mezclados con la materia prima. El material es generalmente tostado en un horno continuo operando a temperaturas de 150-220<sup>0</sup>C. Después del tostado, el material con menos del 3% de humedad es quebrado y envasado.

### **3.2.5 Extrusión**

La extrusión prácticamente revolucionó a la industria de los cereales matinales a partir de los años sesenta. Hoy en día, la industria depende mucho de este proceso debido a que es eficiente y versátil. La extrusión se utiliza para manufacturar una gran gama de alimentos como cereales matinales, botanas, alimentos precocidos para bebé, alimentos instantáneos, harinas pregelatinizadas, proteínas texturizadas, dietas para peces y animales domésticos. El proceso es continuo, siendo esto una gran ventaja por su alta productividad y eficiencia en términos de uso y energía y generalmente ahorra espacio, mano de obra y compra de otros equipos. También, el proceso de extrusión termoplástica se caracteriza por producir materiales pasteurizados con el mínimo de problemas microbiológicos.

Existen dos tipos de extrusión aplicada a la producción de alimentos: extrusión en frío y termoplástica. La extrusión en frío es casi exclusivamente aplicada para la producción de pastas y, tal como su nombre lo dice, el extrusor opera a temperaturas bajas.

Indudablemente, el proceso más popular y versátil es la extrusión termoplástica, donde la combinación de calor y esfuerzos mecánicos propician la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón, la desnaturalización de proteínas, la inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida de anaquel, la destrucción de compuestos antinutricionales y la drástica o total eliminación de cuentas microbianas en el producto a la salida del extrusor. Los cambios en las propiedades del almidón y la proteína resultan en la formación de un material plástico capaz de ser formado o reestructurado.



Desde el punto de vista funcional, la extrusión termoplástica se puede dividir en dos grandes ramos: extrusión de productos expandidos y extrusión de comprimidos o pellets. En la primera aplicación, el extrusor se usa para expandir directamente el material de alimentación, el cual es producto casi terminado. En el proceso de producción de comprimidos generalmente se usan dos extrusores; uno cocedor y otro formador. Los productos resultantes, industrialmente llamados comprimidos o productos intermedios, requieren otros procesos adicionales para llegar al consumidor. Los comprimidos son generalmente laminados o expandidos con cañones u otros procesos térmicos como el freído y horneado.

Todo el proceso de extrusión incluye la premezcla de ingredientes, los cuales son alimentados por medio de un sistema horizontal o vertical generalmente integrado a un sistema de premezcla o preacondicionador. Es muy importante que el sistema de alimentación dispense correcta y constantemente la cantidad de material al que haya sido ajustado. El material alimentado, una vez dentro de la boca del extrusor, fluye a través del tornillo(s) que gira(n) dentro de un cañón. El cañón está generalmente provisto de varias secciones capaces de ser calentadas o enfriadas con vapor, bandas eléctricas, agua y, o refrigerantes. La pared interna del cañón puede ser lisa, rayada en forma de espiral o acanalada. La parte fundamental del extrusor es el tornillo(s), el cual tiene la función de hacer fluir el material de alimentación y sobre todo de propiciar los cambios deseados mediante el esfuerzo mecánico o fricción. Casi todos los extrusores tienen diferente tipo de tornillo(s) con distinto diseño mecánico para diferentes aplicaciones.

El flujo del material a través del extrusor depende principalmente de la tasa de alimentación, rpm a que opera el tornillo, diseño de la rosca y diámetro de salida en el dado o matriz presentes en la salida del extrusor. El sistema de dado o matriz tiene como función primordial formar el material plástico o cocido que corre a través del extrusor. Existen dados sencillos, múltiples y compuestos con distintas configuraciones. Generalmente, entre menor o más restringido es el dado, mayor es la presión interna. Finalmente, el material formado fluyendo del extrusor es cortado por medio de un sistema de navajas simples o múltiples, las cuales giran a ciertas revoluciones a varios milímetros de la salida del dado. El tamaño del producto cortado es dictaminado por la tasa de alimentación, rpm del tornillo y principalmente por la velocidad y número de cuchillas del sistema cortador.

Las operaciones adicionales al proceso de extrusión incluyen tamizadores, tambores, recubridores o aplicadores de saborizantes, sistemas de aspersion, secadores, máquinas infladoras de comprimidos integrados a hornos, freidores y sistemas de envasado y embalaje.

### ***1. Productos expandidos***

En esta aplicación, el extrusor cuece, expande y forma el producto, el cual es posteriormente recubierto con saborizantes, secado y envasado. Las variables que más influyen en la tasa de expansión radial y textura del producto extrudido son: el porcentaje de humedad, la granulometría de la materia prima, el diseño del tornillo, la restricción del dado y sobre todo el gradiente y temperatura en las diferentes zonas del cañón del extrusor. Los factores intrínsecos a la materia prima que más afectan la tasa de expansión son: clase o tipo de cereal,

contenido de almidón, fibra y lípidos. Estos dos últimos bajan significativamente la expansión radial. Los cereales comúnmente expandidos en forma directa son el maíz y el arroz. Dado a su baja tasa de expansión, la avena, trigo y cereales relacionados raramente son utilizados en procesos de expansión directa.

La manufactura de cereales matinales generalmente comienza cuando los grits o harinas gruesas son acondicionadas a 15-18% de humedad. Los grits más apropiados son aquellos que tienen un tamaño uniforme, alto contenido de almidón nativo y bajos contenidos de fibra, aceite y cenizas-

El extrusor opera bajo mucho esfuerzo mecánico requerido para optimizar la expansión del almidón. Para lograr alto esfuerzo mecánico, el extrusor debe operar a altas revoluciones y estar equipado con un tornillo diseñado para ese uso específico. También para esta aplicación, los extrusores operan a un gradiente de temperatura que se incrementa a través del cañón y que llega a alcanzar hasta 180°C. Por lo tanto, el material de alimentación es expuesto a más altas temperaturas y, o presión conforme fluye hacia la salida o al dado. El producto se expande radialmente debido al gran diferencial en presión existente entre la zona inmediata anterior al dado y a la presión atmosférica.

## ***2. Productos comprimidos o intermedios***

En ésta categoría de productos son los más populares dentro de los alimentos extrudidos manufacturados por la industria de cereales matinales. A diferencia de los productos expandidos, el proceso de extrusión se utiliza con dos objetivos primordiales: cocer y formar. La mayoría de los comprimidos son primeramente cocidos por un extrusor para pasar posteriormente a través de otro extrusor, cuya función es formar un comprimido con humedad intermedia y

alta densidad. El comprimido tiene la ventaja de que puede ser secado y almacenado por largos periodos o procesado inmediatamente en el producto final. Generalmente los comprimidos son inflados en cañones reventadores u horneados para lograr su expansión.

La mayoría de los cereales extrudidos de trigo y avena son producidos a partir de comprimidos. Los cereales de avena son generalmente saborizados con mieles y, o jarabes, esto con el objetivo de enmascarar el sabor de subproductos de oxidación o rancidez de lípidos.

### **3.2.6 Enriquecimiento y fortificación**

Los cereales pierden importantes nutrientes durante los procesos de molienda y refinación. En muchos países, por ley, los productos terminados basados en cereales deben contener cuando menos las cantidades originales de las vitaminas tiamina, riboflavina y niacina, además del micromineral esencial, hierro. Por lo tanto, el programa de enriquecimiento tiene como objetivo primordial proveer estos importantes nutrientes para ayudar a mejorar el estatus nutricional de la población. El enriquecimiento de cereales es practicado desde mediados del siglo XX. Las principales firmas productoras de cereales para desayuno utilizaron este concepto como un arma de mercadotecnia. De allí nacieron productos fortificados con una mayor cantidad de vitaminas y minerales. A diferencia del enriquecimiento, la fortificación es el proceso de añadir nutriente a niveles mayores que en la materia prima (granos) original. Hoy en día, un buen número de productos comerciales están siendo fortificados con la mayoría de vitaminas y minerales.

La práctica más común para enriquecer o fortificar los cereales matinales es añadir vitaminas y minerales más estables en la premezcla o formulación básica y posteriormente asperjar los nutrientes más lábiles sobre el producto terminado. En caso de fortificación con vitaminas liposolubles, las mismas deben ser asperjadas posprocesamiento. Las vitaminas niacina, riboflavina y piridoxina pueden ser agregadas antes o después del proceso. La tiamina y vitamina C están caracterizadas por ser muy susceptibles a procesos térmicos, por lo tanto deben ser aplicadas una vez que se termine el proceso.

La tendencia actual es producir cereales matinales fortificados con casi todas las vitaminas y además con alto contenido en fibra dietética. La fibra dietética diluye el contenido de energía digestible, pero ayuda a importantes funciones intestinales.

### **3.2.7 Envasado de cereales para desayuno**

Los cereales de desayuno, caracterizados por contener un bajo contenido de humedad y ser crujientes, son generalmente envasados con materiales que previenen la ganancia de humedad que resulta en pérdida de textura crujiente, que retarden la oxidación de lípidos que resulta en rancidez oxidativa con la consecuente pérdida de sabor, que impidan o minimicen la pérdida de vitaminas y que prevengan el rompimiento del producto envasado. La vida de anaquel de los cereales para desayuno depende en gran parte del contenido de grasa en el producto elaborado, de tal manera que la mayoría de los cereales matinales se producen a partir de fracciones de molienda refinadas y sin la adición de ingredientes oleosos.

El envasado de los cereales para desayuno ha sido tradicionalmente en cajas de cartón recubiertas con una película fina de material cerosa o plástico (polietileno de alta densidad y, o acetato vinílico de etileno). En algunos casos en que el cereal de desayuno no es higroscópico (hojuelas de avena y productos trenzados), el envase es solamente de cartón para que exista un intercambio gaseoso. Además la permeabilidad permite que se remuevan los productos volátiles resultantes de la oxidación de lípidos es importante que el material de envasado evite la entrada de luz que es catalizadora de las reacciones de oxidación. Para evitar la rotura del producto envasado es importante seleccionar un material de cartón que posea una rigidez y resistencia adecuada para el manejo del producto en almacenamiento, transporte y comercialización. La gran mayoría de los cereales para desayuno, especialmente los higroscópicos (hojuelas de maíz, hojuelas de trigo, productos expandidos y productos de extrusión), está contenido dentro de una bolsa elaborada a partir de papel encerado o diferentes materiales de polietileno que son una buena barrera contra la humedad ambiental (Serna, 1995).

### **3.3 Mercado mundial**

- El valor de la producción de los cereales para desayuno listos para ser consumidos es de 12.8 millones de dólares.
- Son productos destinados al desayuno, en sustitución al pan. Mientras que en América del Norte la expansión del consumo es protagonizado por los adultos, en Latinoamérica los cereales, aún están enfocados en el segmento joven e infantil.
- Los principales países consumidores son Estados Unidos y Canadá.
- En 1997 el consumo en América Latina aumento el 15%, por lo que resulta el mercado con mayor crecimiento a nivel mundial. En América Latina, la incorporación de cereales para desayuno en la dieta se limita a la población urbana, debido a su mayor poder adquisitivo y a la realización de importantes campañas publicitarias.
- Argentina, Brasil y Chile presentan un gran potencial de desarrollo.
- Kellogg's posee más del 50% del mercado, mientras que Quaker Oats el 9% (SAGP y A, 1999).

#### **4 SUPLEMENTACIÓN**

Desde que el hombre dejó de ser nómada y se inició la agricultura empezó a utilizar semillas para su alimentación, seleccionó las que eran benéficas y descartó las que le causaban daño, además encontró la forma de eliminar o destruir algunos tóxicos y aumentar el valor nutrimental.

El término suplementación de los alimentos, se aplica a las diferentes formas usadas para elevar su nivel nutritivo. Aunque lo anterior es aplicable para cualquier nutrimento, se usa principalmente para incrementar la cantidad y calidad de las proteínas por ser el nutrimento que presenta más problemas, en particular en los grupos vulnerables: preescolares, embarazadas, mujeres que amamantan y los ancianos.

En la actualidad para evitar la desnutrición en los grupos mencionados, han propuesto varios métodos para incrementar la calidad proteínica de los alimentos más baratos y disponibles.

- 1.- Mejoramiento genético para elevar la concentración de los aminoácidos limitantes. Este es el más adecuado porque no se modifican las características básicas de los granos; sin embargo esta solución es a largo plazo.
- 2.- Adición de los aminoácidos limitantes. Este procedimiento es aún costoso, aunque ya se obtienen algunos aminoácidos en cantidades industriales como metionina y lisina. Otros siguen estando poco disponibles, como el triptofano.
- 3.- Adición de concentrados proteínicos a los alimentos por ejemplo: residuos de la extracción de aceite, que son ricos en proteínas, este procedimiento es más complicado porque pueden alterar las características sensoriales de los alimentos.



4.- Suplementación. Consiste en la elaboración de mezclas de dos o más alimentos baratos con baja calidad proteínica pero que al mezclarse dan lugar a una composición más balanceada y una mayor calidad proteínica, los alimentos más usados son cereales y leguminosas , este método es la aplicación de un procedimiento ya usado en forma natural por varios pueblos desde hace siglos, como la mezcla de maíz – frijol, que continua con los campesinos de México y Centroamérica aunque no siempre se cumple que el aminoácido o aminoácidos limitante de un alimento, este presente en el otro alimento y viceversa, el aminoácido escaso en los cereales es lisina, a su vez, los cereales aportan aminoácidos azufrados deficientes en las leguminosas (FAO/OMS,1966).

## METODOLOGÍA

### Diagrama General de la investigación

A continuación se presentan los puntos seguidos para el desarrollo de las hojuelas para desayuno a base de avena: cacahuete.

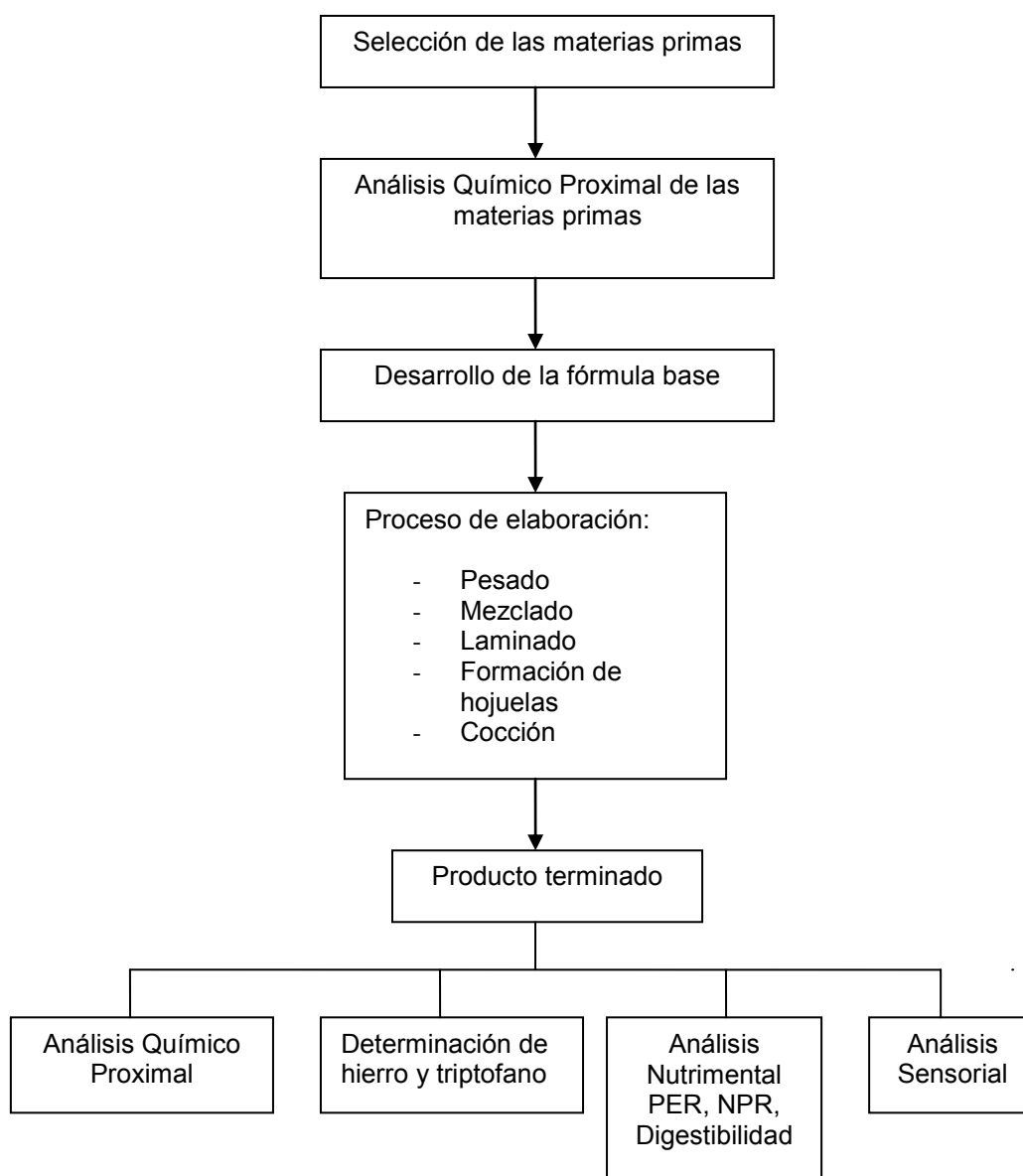


Figura 5. Diagrama general de la investigación.

## **1. Elección de las materias primas.**

Para la selección de las materias primas se tomaron en cuenta sus características químicas, funcionales y nutrimentales.

Las materias primas seleccionadas para la elaboración del producto son:

- Harina de avena (marca productos gamos®)
- Cacahuete tostado (marca MC®)
- Azúcar refinada (marca Aurrerra®)
- Agua
- Saborizante mixto de vainilla (marca Molina®)

## **2. Análisis químico proximal de la avena y cacahuete.**

El análisis químico proximal de la avena y el cacahuete, constó de las siguientes determinaciones (AOAC 1995):

- Humedad (H)
- Cenizas (C)
- Proteína cruda (PC)
- Grasa cruda (GC)
- Fibra cruda (FC)
- Hidratos de carbono por diferencia.

$$\% \text{ de Hidratos de carbono} = 100 - \Sigma(\%H + \%C + \%PC + \%GC + \%FC)$$

### **3. Desarrollo de la fórmula.**

El desarrollo de la fórmula base fue elaborada en base a los resultados del análisis químico proximal de la avena y del cacahuate, calculando teóricamente que cantidad de cada uno de ellos era necesaria para ajustar la fórmula al 16% de proteína en una proporción 50:50 (avena: cacahuate).

Cabe señalar que al comienzo del desarrollo del producto se pensó en tres fuentes de proteína harina de avena, cacahuate y germen de trigo, sin embargo al diseñar las formulaciones se observó que el producto tenía un sabor amargo por lo que se realizaron tres hojuelas (formulaciones 19, 20 y 21), la primera solo con harina de avena, la segunda con cacahuate y harina de trigo y una última con germen y harina de trigo (todas sin azúcar ni saborizantes); esto para identificar cuál o cuáles de las materias primas impartía dicho sabor, encontrándose así, en la hojuela de avena un ligero sabor amargo, mientras que en la elaborada con germen de trigo el sabor era intenso. Es por lo anterior que se decidió eliminar de la formulación al germen de trigo, teniendo así como fuentes de proteína, harina de avena y cacahuate para el desarrollo del producto.

En la tabla 15 se presenta el diseño experimental que se siguió para obtener la fórmula final .

Tabla 15. Diseño experimental para obtener la fórmula

FÓRMULA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proporción de proteína avena: cacahuete: germen de trigo	60: 20:20	60: 20: 20	60: 20:20	60: 20: 20	33:33:33	33:33:33	33:33:33	33:33:33	33:33:33	33:33:33	33:33:33	33:33:33
Fórmula (g)	123	123	123	123	88	88	88	88	112	112	112	112
Agua (mL)	12.5	12.5	47	47	35	35	-	-	56	56	-	-
Leche (mL)	-	-	-	-	-	-	61	61	-	-	117	117
Endulzante	Miel 5mL	Miel 5ML	Azúcar 10g	Azúcar 10g	Fructosa 7g	Fructosa 7g	Fructosa 7g	Fructosa 7g	Fructosa 13g	Fructosa 13g	Fructosa 13g	Fructosa 13g
Reposo	No	No	No	No	5 min.	5 min.	5 min.	5 min.	10 min.	10 min.	10 min.	10 min.
Masa manejable	No	No	Poco	Poco	Regular	Regular	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cocción	H.C 38 min./ 120°C	H.M 2.3 min.	H.C 38min./ 120°C	H.M 13 min.	H.C 16min./ 135°C	H.M 4 min.	H.C 20min./ 135°C	H.M 13 min.	H.C 20min./ 135°C	H.M 4.5 min	H.C 20min./ 135°C	H.M 3 min.

\*\*\*\*\*

Color	Pálido	Pálido	Tostado	Poco tostado	Poco tostado	Pálido	Tostado	Pálido	Tostado intenso	Pálido	Tostado	Pálido
Dulzura	Muy poca	Muy poca	Poco	Poco	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Crujiente	Poco	Poco	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Sabor amargo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Observaciones	Utilizar miel produce dureza en el producto	La cocción en horno de microondas no es uniforme	El reposo hace más manejable la masa.	El aumentar la concentración de germen intensifica el sabor amargo.
---------------	---	--	---------------------------------------	---

H.C= Horno convencional.

H.M= Horno de microondas.

<b>FÓRMULA</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>
proporción de proteína avena: cacahuete: germen de trigo*	60:30:10	60:30:10	60:30:10	60:30:10	50:50:00	50:50:00	50g avena	12g cacahuete	12g germen	50:50:00	50:50:00
Fórmula (g)	83	83	83	83	116	116	50	50	50	116	116
Agua (Ml)	56	56	56	56	70	70	20	17	15	60	60
Azúcar (g)	10	10	10	10	10	18	-	-	-	18	18
Harina de trigo (g)	-	-	-	-	-	-	-	38	38	-	-
Sabor (g ó mL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cocoa 7g	vainilla 3mL
Reposo	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Masa manejable	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
Horno convencional	13min./ 135°C	20min./ 135°C	4min./ 150°C	7min./ 150°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C	15min./ 135°C
Color	Poco tostado	Tostado	Pálido en centro y tostado en la orilla	Pálido en centro y tostado en la orilla	Poco tostado	Poco tostado	Poco tostado	Poco tostado	Poco tostado	Tostado	Tostado
Dulzura	buena	Buena	Buena	Buena	Poco	Buena	-	-	-	Buena	Buena
Crujiente	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Sabor amargo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	No
Observaciones	La condiciones ideales de cocción fue de 135 <sup>o</sup> C durante 15 minutos.						La vainilla enmascara el sabor amargo.				

\*Germen de trigo marca “La buena nutrición”

#### 4. Proceso de elaboración.

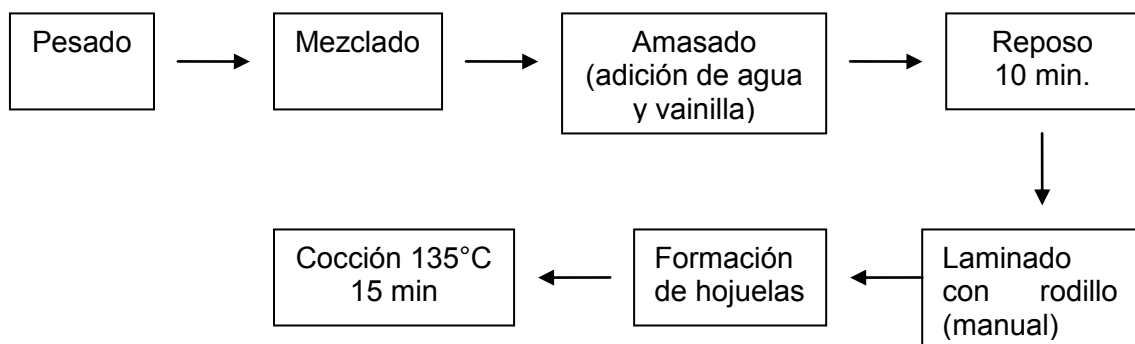
La elaboración del alimento a nivel laboratorio, consistió básicamente en la mezcla de los ingredientes en polvo previamente pesados. Una vez pesada y mezclada la fórmula base se hizo pasar por un tamiz para obtener una granulometría homogénea.

Para reducir el riesgo de contaminación se siguieron las Buenas Prácticas de Manufactura durante el proceso, manteniendo las condiciones higiénicas adecuadas.

Las materias primas, harina de avena, cacahuete molido y el azúcar se pesan, se mezclan y después se agrega el agua junto con la vainilla.

A continuación se muestra el diagrama del proceso de elaboración

Figura 5. Proceso de elaboración



#### 5. Producto terminado.

Al producto terminado se le determinó: análisis químico proximal (AOAC, 1995), determinación de hierro y triptofano, análisis nutrimental (PER, NPR y digestibilidad) y un análisis sensorial.

## 5.1 Análisis Químico Proximal.

El análisis químico proximal de las hojuelas para desayuno, constó de las siguientes determinaciones (AOAC 1995):

- Humedad (H)
- Cenizas (C)
- Proteína cruda (PC)
- Grasa cruda (GC)
- Fibra cruda (FC)
- Hidratos de carbono por diferencia.

$$\% \text{ de Hidratos de carbono} = 100 - \Sigma(\%H + \%C + \%PC + \%GC + \%FC)$$

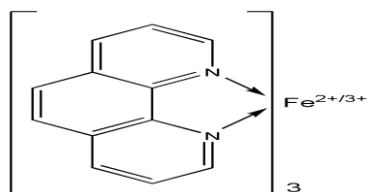
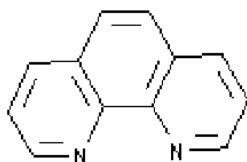
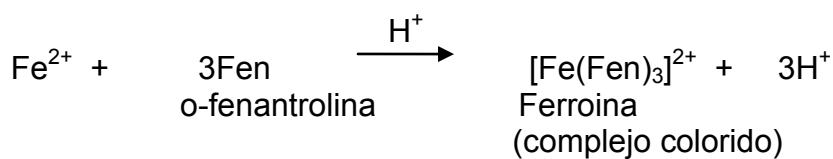
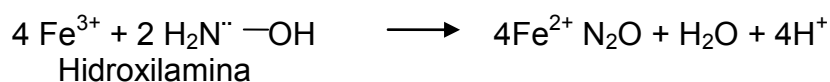
## 5.2 Determinación de Hierro

Se ha encontrado que el hierro es un mineral escaso en la dieta de la mayoría de la población, por lo que se decidió determinar tanto en materias primas como en el producto final.

### Fundamento

El hierro presente en los alimentos queda en las cenizas después de la calcinación. Se redisuelve con HCl y se reduce de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  con ayuda del clorhidrato de hidroxilamina. La forma reducida forma un compuesto de color rojo con la o-fenantrolina estable a pH de 4 que absorbe a 530 nm.





Fuente: Robinson, 1991

### Reactivos

- Solución de Ortofenantrolina al 0.1 %
- Solución de Clorhidrato de hidroxilamina al 10%
- Buffer de Acetatos
- Estándar de Hierro (0.01 mg/mL)

### Material

- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Parrilla de calentamiento
- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL
- Matraz aforado de 50 mL
- Embudo de tallo corto
- Pinzas para crisol

## **Equipo**

- Mufla
- Espectrofotómetro

## **Curva estándar**

Tomar 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 y 6.0 mL de la solución estándar de hierro, ajustar cada uno de los tubos a 10 mL con agua y añadir en el siguiente orden: 1 mL de clorhidrato de hidroxilamina, agitar, 5 mL de buffer de acetatos, agitar y 1 mL de Ortofenantrolina y agitar. Dejar en reposo entre 10 y 15 minutos. Leer a 530 nm.

## **Preparación de la muestra**

Se pesan por duplicado 3.5 g de muestra en un crisol a peso constante y se obtienen las cenizas quemando primero con mechero y posteriormente calcinando en la mufla a 550°C durante tres horas. Al crisol frío añadir con propipeta y en la campana 2 mL de HCl concentrado para disolver las cenizas, evaporar en la campana, enfriar y añadir 1 mL de HCl concentrado y 3.5 mL de agua destilada, con un agitador de vidrio tratar de disolver las cenizas en su totalidad. Pasar cuantitativamente el líquido al matraz aforado de 50 mL. Volver a lavar el crisol con agua por dos o tres veces más, pasando los líquidos de lavado al matraz y después aforar. Filtrar y del filtrado tomar dos alícuotas de 10 mL. Desarrollar el color añadiendo 1 mL de clorhidrato de hidroxilamina, agitar, 5 mL de buffer de acetatos, agitar y adicionar 1 mL de ortofenantrolina y agitar. Dejar en reposo entre 10 y 15 minutos. Leer a 530 nm. (AOAC, 1995).

### **5.3 Determinación de triptofano**

Se decidió cuantificar este aminoácido debido a que el triptofano es uno los aminoácidos más limitantes en los alimentos.

#### **Fundamento**

El método se basa en la condensación del triptofano con el p-dimetilaminobenzaldehído en medio ácido. Dicho producto de condensación es tratado con solución de nitrito de sodio, produciéndose una coloración azul proporcional a la cantidad de triptofano presente en la muestra.

#### **Reactivos**

- Buffer de fosfatos pH 8
- Pepsina al 0.3%
- Pancreatina al 0.4%
- Solución estándar de triptofano (0.05 mg / mL)
- Solución de p-dimetilaminobenzaldehído (DMAB) al 0.5% en ácido clorhídrico concentrado
- Nitrito de sodio al 0.2%
- Solución de NaOH 0.1N

#### **Material**

- Matraz aforado de 50 mL
- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL
- Tubos de ensayo y gradilla
- Embudo de tallo corto

## **Equipo**

- Espectrofotómetro

## **Curva estándar**

Tomar 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0 mL de la solución estándar de triptofano (0.05 mg/mL). Llevar a 2 mL cada uno de los tubos con agua y adicionar 7.5 mL de DMAB. Agitar y dejar 15 minutos en la oscuridad, agregar 0.5 mL de nitrito de sodio, Agitar y dejar en reposo por 15 minutos. Leer las absorbancias a 590 nm.

## **Preparación para la muestra**

Pesar 1 g de muestra en un matraz aforado de 50 mL, agregar 10 mL de pepsina, agitar e incubar 3 horas a temperatura ambiente con agitación ocasional. Añadir 10 mL de NaOH 0.1N, posteriormente añadir 10 mL de la solución de pancreatina, agitar e incubar por 24 horas a temperatura ambiente con agitaciones esporádicas. Aforar con agua y filtrar. Tomar tres alícuotas de 2 mL cada una. Un tubo será el blanco de la muestra y a este se le adicionan 7.5 mL de HCl concentrado, en tanto que a los otros tubos se les agregan 7.5 mL de DMAB, se agitan y se dejan en reposo por 15 minutos en la oscuridad, después de este tiempo se les agrega a los tres tubos 0.5 mL de nitrito de sodio, se agitan y se dejan otros 15 minutos en reposo. Leer la absorbancia a 590 nm.

## **5.4 Densidad Calórica.**

### **Fundamento**

El método consiste en la combustión por ignición eléctrica de una muestra de peso conocido en una atmósfera de oxígeno y la energía producida en forma de calor, se transmite al cilindro de la bomba, el cual a su vez se conecta a un detector del cambio de temperatura. El aumento producido en la temperatura después de la combustión de la muestra se compara con el cambio de temperatura que se produce con una cantidad conocida de ácido benzoico que es el estándar de referencia con contenido calórico certificado.

### **Reactivos y material.**

- Ácido benzoico (valor calórico certificado)
- Desecador de vidrio
- Balanza analítica (hasta 0.1 mg)
- Estufa de secado a presión reducida
- Mecha de algodón de 75 mm de longitud
- Crisol de acero inoxidable de 254 mm de diámetro
- Mango metálico compactador
- Bomba calorimétrica balística GALLENKAMP, mod. CBB-330-010L.

### **Procedimiento**

La cantidad de muestra depende del contenido calórico esperado, ya que se recomienda que la cantidad pesada libere aproximadamente 16 KJ (4.0 Kcal) para que entre en el rango de detección del instrumento. La muestra en forma de harina se coloca en un crisol tarado junto con la mecha de algodón, de tal

manera que el hilo quede introducido dentro de la muestra, y se procede a pesar en una balanza analítica lo que corresponde el peso preliminar, recomendándose pesar un exceso aproximado del 10% del peso deseado. Se compacta la muestra con el mango metálico de tal forma que quede lo más uniforme posible y la mecha quede introducida dentro de la muestra, sobrando un tramo que servirá para contactar con el alambre de ignición de la bomba. Se debe eliminar con mucho cuidado el material que no se halla compactado y el crisol con la muestra compactada se pesa nuevamente para tener el peso final.

El crisol se coloca en la base superior del pilar de la bomba y con mucho cuidado se introduce la punta suelta de la mecha de algodón en el alambre de ignición.

A continuación se procede a realizar la combustión, para lo cual se debe revisar que el "O-RING" (sello de hule) se encuentre en perfectas condiciones, ya que se debe tener un cierre hermético. El cierre se realiza colocando el capuchón de la bomba sobre el anillo metálico y se gira este hasta que coincida la rosca con el del capuchón, el sellado se debe hacer con la fuerza de la mano, no utilizar herramienta alguna. En seguida se coloca el sensor del termopar en el orificio del capuchón.

Teniendo suministro de oxígeno a presión (cilindro con mínimo 30 bars), se procede a abrir la válvula de paso girando de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  la perilla y se debe obtener una presión dentro de la bomba balística de 25 bars (1 bar = 0.987 atmósferas) en aproximadamente 20 a 30 segundos. Una vez alcanzada la presión, se cierra la válvula de paso y se procede a ajustar el galvanómetro a cero con ayuda primero del ajuste grueso y posteriormente con el dispositivo de ajuste fino. Si las condiciones anteriores se mantienen por aproximadamente 10 segundos,

se oprime el botón de ignición y de 10 a 15 segundos se lleva a cabo la combustión, notándose por un aumento en la presión del manómetro, que a su vez se traduce en una señal en la escala del galvanómetro. Se debe observar con atención el movimiento del indicador en el galvanómetro, ya que una vez alcanzado el valor máximo empieza a decaer rápidamente. La lectura máxima obtenida en el galvanómetro, es directamente proporcional al calor liberado en la combustión.

Una vez tomada la lectura, se abre la válvula de salida de los gases de combustión, la cual se localiza en la base de la bomba del lado opuesto a la entrada del oxígeno; a la vez se desconecta el sensor del termopar y una vez liberados los gases de combustión, se procede a abrir la bomba girando el anillo metálico en sentido inverso al cierre. Por último, se cierra la válvula de liberación de gases, se retira el capuchón y se enfría en un baño de agua fría hasta temperatura ambiente, para poder realizar una nueva determinación.

### **Curva estándar**

Se debe realizar la combustión de diferentes pesos de ácido benzoico y anotar la respectiva lectura de la escala del galvanómetro. Se recomienda pesar entre 0.1 a 0.7g de ácido benzoico (valor calórico certificado); además será necesario llevar a cabo la combustión exclusiva de la mecha de algodón, ya que el valor obtenido se deberá restar, o la escala del galvanómetro se puede ajustar para obtener la lectura en forma directa, se lee en el galvanómetro como en la muestra.

## Cálculos

Una vez obtenida la lectura, se debe convertir a unidades energéticas, para lo cual se tienen las siguientes conversiones:

$$1\text{g de ácido benzoico} = 26,454.3 \text{ Joules} = 26.45 \text{ KJ}$$

$$4.1868 \text{ KJoules} = 1\text{Kcaloría}$$

Una vez que se cuente con la curva estándar de contenido calórico (abscisas) vs. lectura del galvanómetro (ordenadas), se podrá obtener por interpolación la densidad calórica de la muestra.

Para calcular la energía biodisponible, es indispensable aparte de contar con la energía gruesa, determinar la pérdida de energía en la orina y heces y hacer la respectiva corrección a la energía gruesa.

La energía gruesa, es un término que por sí mismo no tiene un valor práctico desde el punto de vista alimenticio, ya que los términos de mayor aplicación son aquellos que nos dan la energía biodisponible. No obstante varios investigadores han realizado estudios bastante completos y representativos en alimentación humana y animal, de los cuales se han podido derivar ecuaciones relativamente sencillas, que nos pueden estimar con cierta exactitud, términos energéticos de aplicación práctica.

$$\text{TND} = \text{CPD} + \text{CCHOD} + 2.25 \text{ CEE}$$

$$\text{ED} = \text{TND} \times 18.42$$

$$\text{EM} = [(0.95 - F) \text{ EG}] - 31.4 \text{ N}$$

$$\text{ED} = \text{Ei} - \text{Ef}$$

Donde:

TND = Total de nutrimentos digeribles

EG = Energía gruesa (expresada en KJ/g)



ED = Energía digerible (expresada en KJ/g)

EM = Energía metabolizable (expresada en KJ/g)

N = Nitrógeno expresado en unidades de peso (g N/g de dieta o alimento)

F = Fibra cruda expresada en unidades de peso (g fibra/g de dieta o alimento)

CPD = Contenido de proteína digerible expresado en unidades de peso (g de proteína/ g de dieta)

CCHOD = Contenido de extracto libre de nitrógeno o carbohidratos digeribles expresado en unidades de peso

CEE = Contenido de extracto etéreo digerible expresado en unidades de peso

E<sub>i</sub> = Energía consumida por la dieta

E<sub>f</sub> = Energía que se pierde en las heces

## **5.5 Pruebas biológicas**

### **5.5.1 Relación de Eficiencia Proteínica (PER)**

#### **Fundamento**

El método se basa en que el incremento en peso de ratas alimentadas con una dieta, bajo condiciones estandarizadas es una medida confiable del valor nutricional de una dieta proteínica. En esta prueba se relaciona la ganancia en peso del animal de prueba con la proteína consumida, asumiendo que el incremento en peso es exclusivo del nitrógeno ingerido.

Para que este método tenga reproducibilidad es necesario que la dieta de prueba cumpla con ciertas características:

- Que el aporte de proteínas cubra las necesidades mínimas del organismo para que las utilice eficientemente y se garantice su total aprovechamiento

- La dieta control y de prueba deben tener la misma concentración de proteína, se recomienda un 10% y confirmarla experimentalmente
- Se debe ajustar el contenido de otros macro y micronutrientes (vitaminas y minerales) de tal manera que la dieta de prueba sea isoproteínica e isocalórica a la dieta de referencia y que la única variable sea la calidad de la proteína del alimento en estudio.

### **Equipo**

- Estante metálico para contener jaulas individuales
- Balanza granataria para animales de laboratorio
- Balanza granataria de un platillo
- Comederos para rata
- Bebederos

### **Materias primas**

- Caseína (Biomedicals, ICN® lote 9000-11-9)
- Harina de avena comercial (marca productos gamos®)
- Cacahuete tostado (marca MC®)
- Glucosa (Biomedicals, ICN® lote 1384)
- Sacarosa (Biomedicals, ICN® lote 6301)
- Dextrina comercial (Maizena®)
- Aceite vegetal (marca Gloria®)
- Manteca vegetal (marca INCA®)
- Mezcla de sales (Biomedicals, ICN® lote 4426)
- Mezcla de vitaminas (Biomedicals, LLC® lote 8190)
- Celulosa (Biomedicals, ICN® lote 191-9)

- Solución de colina (50%) (Merck® lote 98-100.5)

## Procedimiento

Preparación de dietas. Estas se preparan a un nivel de proteína del 10%. Las dietas deben ser isocalóricas e isoproteínicas y deben guardar la siguiente proporción con respecto a la dieta de referencia (caseína).

Fórmula base utilizada para la elaboración de las dietas.

<b>Componente</b>	<b>g/100g de dieta</b>
Caseína (95.2% proteína)	10.5
Glucosa	19.0
Sacarosa	22.0
Dextrina	25.0
Aceite vegetal	6.0
Manteca vegetal	8.0
Mezcla de sales	2.0
Mezcla de vitaminas	1.0
Colina (sol. al 50%)	0.4
Celulosa c.s.p. 100	6.1

Para poder obtener lo anterior es necesario contar con el análisis proximal de la fuente de proteína, además de que debe estar finamente molida, se realiza el cálculo de la dieta, se pesan los ingredientes y se prepara la dieta.

Se homogeneiza la fuente de proteína junto con todos los ingredientes sólidos a excepción de las vitaminas, a continuación se agrega el aceite y la manteca (la cual es previamente fundida); finalmente se adiciona la mezcla de vitaminas manteniendo la dieta en la mezcladora hasta su completa homogeneización y se trasvasa a un recipiente de plástico de boca ancha, se etiqueta perfectamente y se guarda en refrigeración todo el tiempo de estudio.

Animales. Se utilizan 6 ratas macho Wistar de 21 a 23 días de edad (recién destetadas) por lote en jaulas individuales y el intervalo de peso del lote de las ratas no debe rebasar los 10g. El primer día las ratas se pesan de forma individual y para tener una adecuada distribución de los animales por lote se repartirán de acuerdo a una distribución de “culebra japonesa”, es decir, después de pesar todos los animales se ordenarán los pesos en orden ascendente o descendente y se distribuirán en los diferentes lotes de manera zigzagueante.

Desarrollo de la prueba. Una vez que se tienen los diferentes lotes, se le coloca a cada animal su respectivo alimento (previamente pesado) y agua “**ad libitum**”, en condiciones de 12 horas de iluminación por 12 horas de oscuridad con una temperatura de 23 a 24<sup>0</sup>C y una humedad relativa entre 30 a 35%. Ya que las ratas al comer tienden a desperdiciar el alimento, se coloca debajo de la jaula una charola de papel, para recuperar este material. Cada tercer día se registra el peso de cada rata y el alimento ingerido, restando a éste el alimento desperdiciado, esto se hace durante los 21 días que dura el experimento.

Para llevar a cabo el control de los datos, es recomendable tener una hoja de anotación adecuada y poder al final del experimento sacar la información lo más rápido y fácil posible.

## Cálculos

Se calcula el PER para cada una de las ratas empleando la siguiente ecuación:

$$\overline{\text{PER}}_i = \frac{\Delta P_i}{\Sigma \text{AI}_i * F}$$

Donde:

$\Delta P_i$  = Incremento de peso del animal (en gramos)

$\Sigma \text{AI}_i$  = Alimento ingerido total por el animal (en gramos)

F = % de proteína en la dieta / 100

Con cada uno de los valores individuales, se procede a calcular el PER promedio del lote en estudio y el coeficiente de variación (CV) el cual debe ser menor a 15%, si es mayor se elimina el valor más alto y el más bajo y se calcula el PER promedio con cuatro datos.

$$\overline{\text{PER}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{PER}_i}{n}$$

$$\text{CV} = \frac{\sigma}{x} \times 100$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estándar

x = PER promedio

Para que los datos sean comparativos es necesario expresarlos en valores de PER ajustado, es decir, tomar como referencia el valor de 2.5 para la dieta de caseína.

$$\text{PER ajustado} = \text{PER exp} \times \frac{\text{PER caseína (referencia)}}{\text{PER caseína (experimental)}}$$

Donde:

PER caseína (referencia) = 2.5

PER caseína (experimental)

PER exp = PER experimental del alimento o dieta

### **5.5.2 Relación Neta de Proteína (NPR)**

#### **Fundamento**

A pesar de que el método biológico más utilizado para evaluar la calidad de la proteína es el PER, tiene el inconveniente de que como su fundamento se basa en el crecimiento de los animales de ensayo, proteínas de baja o mala calidad nutritiva, manifiestan una respuesta muy variable, debido a que se exagera la variabilidad intraespecie y con este método es difícil asignar un valor preciso, ya que las proteínas de baja calidad, solo pueden cubrir una parte de las necesidades de mantenimiento de proteína. Aunado a lo anterior, si se reduce la ingestión de alimento por el animal, el valor PER de una proteína será mucho menor, ya que como el animal de experimentación tiene una necesidad de mantenimiento fija en lo que respecta a proteína, si se reduce la ingestión de ésta, quedará una proporción más pequeña disponible para el crecimiento cuando en ocasiones los valores de PER son negativos.

El anterior inconveniente puede solucionarse, determinando la cantidad de peso corporal que se perdería si el animal de experimentación no ingiriera proteína durante el periodo de ensayo, ya que antes de que se genere el incremento de peso corporal, la proteína por ensayar debe cubrir las necesidades proteínicas de mantenimiento. Bender y Doell propusieron en 1957 el método biológico de balance corporal de NPR, que corresponden a las siglas del término en inglés Net Protein Ratio, que se traduce en relación de proteína neta (RPN) y que elimina casi por completo el efecto no deseable que producen proteínas de baja calidad al realizar el método de la REP.

### **Procedimiento**

Preparación de las dietas: se realizan en forma semejante que para el PER, pero se tiene que preparar además de la dieta de referencia, una dieta libre de nitrógeno, cuya formulación es la siguiente:

Formulación para la dieta libre de nitrógeno

<b>Componente</b>	<b>%</b>
Glucosa	29.5
Sacarosa	22.0
Dextrina	25.0
Aceite vegetal	6.0
Manteca vegetal	8.0
Mezcla de sales	2.0
Mezcla de vitaminas	1.0
Colina (sol. al 50%)	0.4
Celulosa	6.1

Se trabaja de la misma manera que el PER, con la salvedad de que en este caso, el estudio dura sólo 10 días.

## Cálculos

Se calcula el NPR para cada una de las ratas empleando la siguiente ecuación:

$$\text{NPR}_i = \frac{\Delta P_i - \Delta P'}{\Sigma \text{AI}_i \times F}$$

Donde:

$\Delta P_i$  = Incremento de peso del animal (g)

$\Delta P'$  = Incremento promedio de peso del grupo con la dieta libre de nitrógeno (g)

$\Sigma \text{AI}$  = Alimento ingerido total (en gramos)

F = % de proteína en la dieta / 100

Con cada uno de los valores individuales, se procede a calcular el NPR promedio del lote en estudio, el coeficiente de variación el cual debe ser menor a 20%, y si es mayor a 20% se eliminan el valor más alto y el más bajo y se calculará el NPR promedio con 4 datos.

Para que los datos sean comparativos, es necesario expresarlos en valores de NPR ajustado, es decir, tomar como referencia el valor de 4.1 para la dieta de caseína.

$$\text{NPR ajustado} = \text{NPR exp} \times \frac{\text{NPR caseína (referencia)}}{\text{NPR caseína (experimental)}}$$

Donde:

NPR caseína (referencia) = 4.1

NPR caseína (experimental) = NPR experimental de caseína

NPR exp = NPR experimental del alimento



### **5.5.3 Determinación de digestibilidad de una proteína *in vivo***

#### **Fundamento**

Cualquier método para evaluar la calidad nutritiva de una proteína alimenticia, debe estimar directa o indirectamente la biodisponibilidad de los aminoácidos para ser absorbidos a través del tracto gastrointestinal. La digestibilidad es un indicador inicial de la calidad nutritiva de un alimento, aunque no siempre se cumple, y es definida como “la disponibilidad de los aminoácidos constituyentes de la proteína para ser absorbidos por el organismo de prueba”.

Durante la digestión de las proteínas por animales monogástricos como el hombre, los enlaces peptídicos se deben hidrolizar en forma relativamente rápida mediante la acción de enzimas proteolíticas específicas, las cuales son secretadas por el estómago, la mucosa intestinal y el páncreas, de tal forma que se liberan aminoácidos y péptidos pequeños, los cuales en la mucosa intestinal pasan a aminoácidos libres y son absorbidos en el intestino delgado (principalmente en el yeyuno e ileón), donde pasan a la vena porta para distribuirse a través del sistema cardiovascular a todo el organismo.

En general se conoce que los alimentos proteínicos de origen animal son más digeribles que los de origen vegetal. Lo anterior se atribuye a que los alimentos de origen animal tienen un menor contenido de fibra y como consecuencia, hay una menor velocidad de tránsito en el tracto intestinal, que provoca una mayor absorción de los nutrimentos, a diferencia de los alimentos de origen vegetal, los cuales tienen un contenido de fibra significativo, en especial los alimentos vegetales no procesados.

Otros factores que pueden influir en la digestibilidad de la proteína dietética son los siguientes:

- La fracción proteínica dentro de los alimentos de origen vegetal, puede estar protegida de la acción enzimática por materiales estructurales, como son hemicelulosa, lignina, mucopolisacáridos, etc.
- El procesamiento térmico en ocasiones puede mejorar la digestibilidad, debido a la desnaturalización de las proteínas nativas y hacerlas más susceptibles a la acción de las enzimas digestivas; sin embargo, lo anterior se puede revertir para el caso de un sobreprocesamiento, ya que se puede modificar la solubilidad de las proteínas y hacerlas poco digeribles.
- Algunos alimentos naturales en particular los de origen vegetal, pueden contener factores tóxicos y antinutricionales que disminuyen la función de absorción de la mucosa intestinal o bien, disminuyen la biodisponibilidad de los aminoácidos.

La digestibilidad de una proteína alimenticia se puede determinar por procedimientos *in vivo* e *in vitro*. Los métodos *in vitro* simulan las condiciones y reacciones fisiológicas que se llevan a cabo dentro del organismo; no obstante de ser más prácticas en muchas ocasiones este tipo de métodos aunque son más precisos y reproducibles, pueden dar resultados inexactos. Por lo tanto, hasta la fecha los ensayos *in vivo* para la digestibilidad, son los más confiables.

## **Reactivos y material especial**

Se trabaja sobre el diseño experimental del bioensayo de PER y NPR; además, se debe contar con todo lo necesario para determinar nitrógeno por Microkjeldahl y adicionalmente sólo se requiere lo siguiente:

- Frascos de vidrio de boca ancha con tapa de aproximadamente 200 mL
- Cernidor de malla de 8 MESH o equivalente
- Mortero con pistilo
- Estufa de circulación forzada
- Balanza analítica

## **Procedimiento**

Del bioensayo de la evaluación de la calidad de una fuente de proteína (PER y NPR), se recolectan las heces en forma individual de los animales seleccionados durante la última semana del bioensayo. El total de heces de cada animal en el periodo indicado, se coloca en un recipiente de vidrio, y si éstas están húmedas, se colocan en la estufa para que se sequen. Una vez secas, se pesan y se muelen para obtener el material lo más homogéneo posible.

Con el material homogéneo de cada animal, se toma una muestra representativa del total de heces para determinarles la concentración de nitrógeno por Microkjeldahl, para lo cual se debe pesar de 50 a 90 mg de heces.

Para calcular la digestibilidad, se requiere conocer el contenido de nitrógeno de las heces (NF), pero además, es necesario contar con el nitrógeno ingerido durante el mismo periodo (una semana).

### Cálculos

Una vez contando con la concentración de nitrógeno de la dieta y de las heces de cada animal, así como del total respectivo, se puede calcular el contenido de nitrógeno ingerido (NI) y del nitrógeno fecal (NF) de cada animal de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$NI = (\%N \text{ dieta} \times \text{Dieta ingerida por el animal (g)})/100$$

$$NF = (\%N \text{ heces} \times \text{Total de heces}^*(g) )/100$$

\*Heces del animal recolectadas durante la semana

La fórmula para calcular la Digestibilidad aparente *in vivo* de cada animal es la siguiente:

$$Da = \frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ ingerido}} \times 100$$

$$Da = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

Donde:

Da = Digestibilidad aparente

NI = Nitrógeno ingerido por el animal

NF = Nitrógeno fecal

## **5.6 Análisis sensorial**

### **5.6.1 Prueba de nivel de agrado y aceptación**

La evaluación sensorial se realizó a 100 personas de entre 19 a 44 años, 58 mujeres y 42 hombres. Se tomaron como jueces afectivos para evaluar el producto final, realizando una prueba de nivel de agrado evaluando tres características, color, sabor y textura así como el nivel de agrado general para el producto final. Además de realizar una prueba de aceptación.

El objetivo de la prueba de nivel de agrado es determinar el nivel de agrado o desagrado que provoca una muestra específica. Se utiliza una escala no estructurada, sin mayores descriptores que los extremos de la escala, en los cuales se puntualiza la característica de agrado. Esta escala debe contar con un indicador del punto medio, a fin de facilitar al juez consumidor la localización de un punto de indiferencia a la muestra. (Pedrero, 1996)

Los datos se analizaron transformando la escala hedónica en números, es decir midiendo la longitud existente entre el punto inicial de la escala y el punto de respuesta indicado por el juez, estos resultados se muestran en la hoja de vaciado de datos (Anexo 1) y se analizaron por medio de histogramas.

El fin de la prueba de aceptación es dar una idea general de aceptación y rechazo del producto y el análisis de resultados se hizo por medio de tablas de estimación de significancia de  $p=1/2$  de dos colas.

El lugar donde se realizó la evaluación sensorial fue en el laboratorio 4-A de la Facultad de Química, ubicada en Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México D.F., aprovechando la afluencia de alumnos y profesores, por las clases que aquí se imparten, y considerando que en este tipo de población se encontraban consumidores habituales del producto (antes de

realizar la prueba se les preguntó si en su alimentación estaban incluidos los cereales para desayuno, en caso de una respuesta afirmativa se les aplicaba la prueba sensorial).

La presentación de la hojuela para desayuno a los jueces fue en charolas individuales las cuales contenían dos recipientes, uno con el producto y otro con leche, con el fin de que la muestra se evaluara en las condiciones en que el producto generalmente se consume, es decir mezclando el cereal con leche.

A continuación se muestra el cuestionario que se aplicó para la prueba de nivel de agrado.

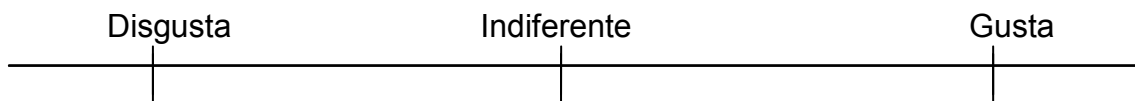
Prueba de nivel de agrado

Edad: \_\_\_\_\_

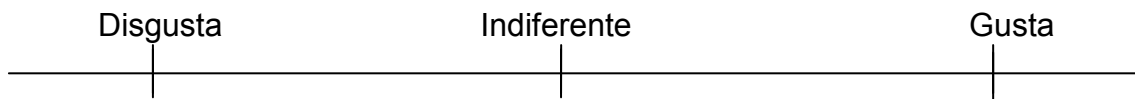
Sexo: Femenino \_\_\_\_\_ Masculino \_\_\_\_\_ .

INSTRUCCIONES: Frente a usted tiene una muestra; pruébela e indique con una "X" sobre la escala su nivel de agrado para cada una de las características.

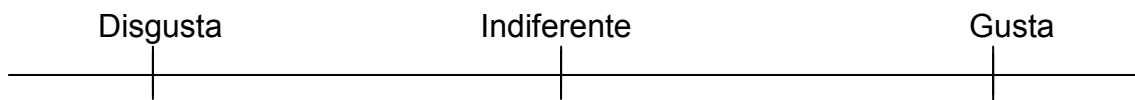
COLOR:



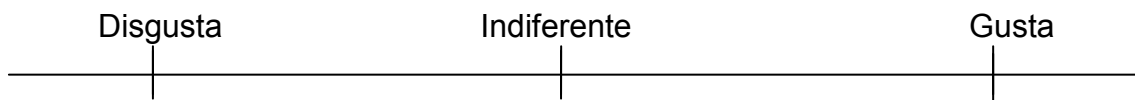
SABOR:



TEXTURA:



NIVEL DE AGRADO GENERAL:



¿La compraría?

SI

NO

GRACIAS



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN .

### 1. Análisis químico proximal de la harina de avena y el cacahuate.

Los resultados del análisis proximal (promedio y desviación estándar), de las materias primas se muestran en la tabla 16.

La avena es un cereal que se caracteriza por su alto contenido proteínico y lipídico comparado con otros cereales, además tiene un alto contenido de hidratos de carbono. Mientras que el cacahuate es una leguminosa que posee un alto porcentaje de grasa seguido de proteínas y los demás nutrimentos se encuentran en menor contenido.

Tabla 16. Análisis proximal de la avena y el cacahuate. g/100g de muestra

Parámetro	Harina de avena	Cacahuate
Humedad	8.17 ± 0.099	1.50 ± 0.120
Cenizas	1.95 ± 0.211	2.35 ± 0.041
Proteína	10.10 ± 0.676	21.56 ± 0.359
Grasa cruda	8.81 ± 0.0249	45.77 ± 0.487
Fibra cruda	10.04 ± 0.0146	1.93 ± 0.0554
Hidratos de carbono	60.93	26.89

\*Por diferencia

$$\% \text{ de Hidratos de carbono} = 100 - \Sigma(\%H + \%C + \%PC + \%GC + \%FC)$$

Donde:

H= Humedad

C= Cenizas

PC= Proteína cruda

GC= Grasa cruda

FC= Fibra cruda



## 2. Desarrollo de la fórmula base

Tomando en cuenta los resultados del análisis proximal de la harina de avena y el cacahuete se desarrolló la fórmula base ajustándola al 16% de proteína en una proporción 50:50, obteniéndose la siguiente fórmula final la cual está en base a la formulación 23 de la tabla 15.

Tabla 17. Fórmula final para elaborar la hojuela.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Harina de avena	60
Cacahuete	27
Azúcar	13
	Por cada 100 g de mezcla de materias primas sólidas
Agua (mL)	52
Vainilla (mL)*	3

\*Saborizante mixto de vainilla comercial (mezcla de extracto de vainilla y saborizantes artificiales) marca Molina®

### 3. Análisis químico proximal del producto.

A continuación se muestra el análisis químico proximal del producto final (promedio y desviación estándar) comparado con un producto comercial a base de maíz y avena.

Tabla 18. Análisis proximal de la fórmula base sabor vainilla comparado con un producto comercial (g/100g)

Parámetro	Fórmula base (hojuelas de avena cacahuete)	Producto comercial* (hojuelas de maíz y avena)
Humedad	2.66 ± 0.098	-
Cenizas	1.33 ± 0.226	-
Proteína cruda	14.15 ± 0.151	6.5
Grasa cruda	15.60 ± 0.332	1
Fibra cruda	7.79 ± 0.219	3.5
Hidratos de carbono	58.47**	84
Kcal/100g	416.6***	370
KJ/100g	1,753***	1,580

\* Valores reportados en la etiqueta nutrimental

\*\* Por diferencia (de acuerdo al esquema Wendee)

\*\*\* Calculado de acuerdo a los factores de Atwater

En la tabla 18 se observa que a pesar de que se calculó la fórmula base al 16% de proteína, ésta se diluyó al adicionar los otros ingredientes, logrando un porcentaje de 14.15 de proteína y un 15.60% de grasa, valores que son superiores al producto comercial.

Aunque no se reportan en la etiqueta el porcentaje de cenizas de las hojuelas comerciales se esperaba que fuera mayor al del producto desarrollado puesto que éste no fue adicionado con minerales.

La hojuela que presentó una mayor cantidad de fibra fue la de avena cacahuete.

#### **4. Determinación de hierro.**

A continuación se muestra el contenido de hierro en las materias primas así como en la fórmula final de las hojuelas para desayuno.

Tabla 19. Contenido de hierro en harina de avena, cacahuete y producto final .  
(mg Fe/100g)

<b>Componente</b>	<b>Contenido de hierro (mg Fe/100g)</b>
Harina de avena	2.28
Cacahuete	1.88
Producto final	2.23

Se puede observar en la tabla 19 que la cantidad de hierro presente en el producto final aporta el 14.86% de la IDR para hierro ( 15 mg Fe IDR) (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, 2001).

#### **5. Determinación de triptofano.**

Los cereales se caracterizan por ser limitantes en triptofano, por lo que como era de esperarse la harina de avena tiene una concentración menor del aminoácido que la leguminosa (cacahuete), sin embargo el producto final se diluye obteniendo un valor de 0.820 g/ 100 g de proteína.

Tabla 20. Contenido de triptofano en harina de avena, cacahuate y producto final (g de aa / 100g proteína).

<b>Componente</b>	<b>Contenido de triptofano (g de aa/100 g proteína)</b>
Harina de avena	0.709
Cacahuate	1.029
Producto final	0.820

## 6. Densidad calórica

A continuación se presentan los resultados de densidad calórica con su respectiva desviación estándar de las cuatro dietas para las pruebas biológicas.

Tabla 21. Densidad calórica de las dietas para las pruebas biológicas.

<b>Dieta</b>	<b>Densidad calórica (KJ/g de dieta)</b>
Caseína	21.69 ± 2.270 a
Avena	21.03 ± 2.230 a
Cacahuate	27.99 ± 0.155 b
Mezcla avena cacahuate	24.11 ± 0.820 a

Letras diferentes indican diferencia significativa con un nivel de significancia de 0.05

Las dietas elaboradas para evaluar la calidad nutritiva de la proteína en las pruebas biológicas tienen como requisito ser isocalóricas con respecto a la dieta de referencia (caseína) lo cual no se cumplió pues como se observa en la tabla 21 la dieta de cacahuate presenta diferencia significativa contra las demás dietas.

## 7. Pruebas biológicas

En la tabla 22 se presentan los resultados de las pruebas biológicas, PER, NPR y digestibilidad aparente.

Tabla 22. Relación de Eficiencia Proteínica (PER), Relación Neta de la Proteína (NPR) y Digestibilidad Aparente (Da).

<b>Dieta al 10% de proteína</b>	<b>PER</b>	<b>NPR</b>	<b>Da</b>
Caseína	2.13 ± 0.38 a	3.21 ± 0.37 a	93.48 ± 1.54 a
Harina de avena	2.71 ± 0.21 a	3.45 ± 0.45 a	85.54 ± 1.27 b
Cacahuete	3.15 ± 0.35 b	4.77 ± 0.77 b	88.40 ± 1.23 b
Mezcla Avena cacahuete	2.51 ± 0.21 a	2.92 ± 0.40 a	90.41 ± 6.30 a

Letras diferentes indican diferencia significativa con un nivel de significancia de 0.05 (no se compara entre PER, NPR y Da)

Como se muestra en la tabla 22 los valores de PER fueron mayores en las materias primas avena 2.71 y cacahuete 3.15 que en el producto final 2.51. En el inicio del trabajo se pensó que iba a haber una suplementación al mezclar avena : cacahuete por la generalidad de que los cereales son deficientes en lisina y las leguminosas en aminoácidos azufrados, esto no se logró porque el valor de PER de la mezcla fue menor que en las materias primas. Al analizar el perfil de aminoácidos del harina de avena y del cacahuete con su respectiva calificación química se observó que ambos son deficientes en lisina y metionina por lo que no se suplementan.

Al hacer el análisis estadístico (ANOVA) de la calidad nutritiva de la proteína (PER Y NPR) se encontró diferencia significativa entre el cacahuete contra las demás dietas (Anexo I).

Para NPR de caseína, avena, mezcla avena : cacahuate, los valores son similares al no haber diferencia significativa, sin embargo entre cacahuate y caseína si hubo diferencia significativa, como se muestra en PER.

La digestibilidad no es proporcional en decir que a mayor digestibilidad mayor calidad nutrimental, como es el caso de la caseína. Las dietas de avena y cacahuate presentan diferencia significativa con la dieta de caseína y con la mezcla avena : cacahuate no hay diferencia significativa.

Enseguida se muestran los valores de energía digerible promedio, así como su porcentaje para las dietas de caseína y mezcla avena: cacahuate obtenidos a partir de la determinación de la energía perdida en heces y de la energía consumida en la dieta, durante la recolección de éstas.

Tabla 23. Porcentajes de energía digerible y fecal para las dietas de caseína y mezcla avena : cacahuate

<b>Parámetro</b>	<b>Caseína</b>	<b>Mezcla Avena : cacahuate</b>
Energía ingerida (KJ)	3,435.70	3,200.97
Energía fecal (KJ)	261.46	336.68
Energía digerida (KJ)	3,174.24	2,864.29
%ED	92.39	89.48

En la tabla 23 se observa como era de esperar que la energía en heces de las dos dietas es menor que la energía ingerida; así mismo comparando con la tabla 22 se puede ver que existe una relación entre los resultados de % de energía digerible con su respectiva digestibilidad aparente (93.48 y 90.41, para caseína y mezcla avena: cacahuate respectivamente).

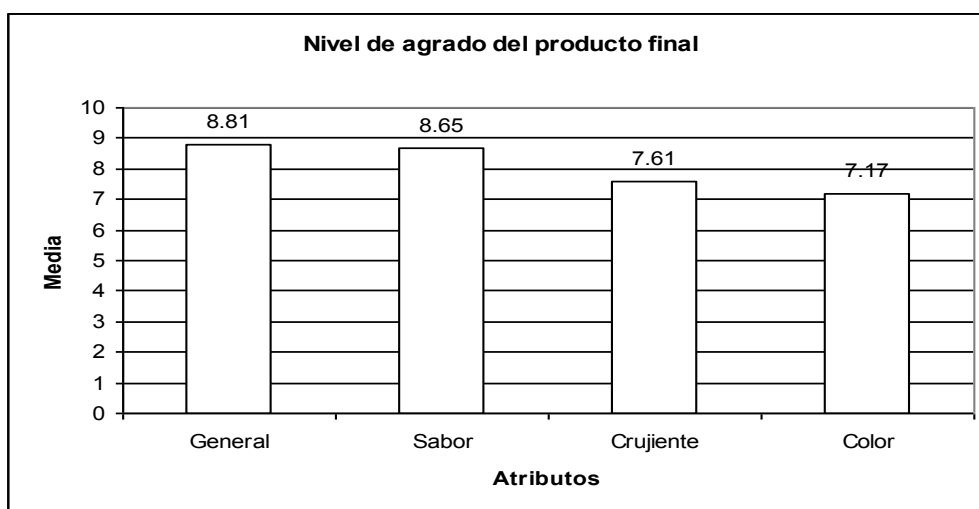
También se observa que el % ED de caseína es mayor que el del producto final, lo cual es comprensible debido a que la caseína es una proteína de buena calidad.

## 8. Análisis sensorial

### 8.1 Prueba de nivel de agrado

A continuación se muestran los resultados promedio para cada uno de los atributos evaluados en las hojuelas para desayuno mediante la prueba de nivel de agrado.

Figura 6. Presentación de barras del nivel de agrado del producto final



Atributos ordenados en base a los resultados del análisis sensorial. Los datos son promedio de 100 evaluaciones.

En la figura 6 se observa que el atributo del producto que obtuvo mayor nivel de agrado por parte del panel fue el sabor con un promedio de 8.65 en una escala de 10 seguido de lo crujiente de la hojuela (7.61) y del color de esta (7.17).

El nivel de agrado general que obtuvo la hojuela para desayuno fue de 8.81.

## 8.2 Prueba de aceptación

Figura 7. Presentación de pastel del porcentaje de aceptación y rechazo del producto



El 100% corresponde a 100 evaluaciones.

De acuerdo con las tablas de estimación de significancia con un nivel de probabilidad del 5% se dedujo que el producto se acepta arrojando un valor de 82% de aceptación y un 18% de rechazo.

El 18% corresponde al rechazo del producto de 11 mujeres y 6 hombres.



## CONCLUSIONES

- \* De acuerdo al análisis proximal realizado a las materias primas, éstas fueron adecuadas para la elaboración del producto, concluyendo así que la avena es una fuente rica de hidratos de carbono, mientras que el cacahuate es una leguminosa rica en grasas y proteína.
- \* Se logró obtener un producto con un 14.2% de proteína (contra 6.5% del producto comercial), 15.6% de grasa (contra 1%), 7.8% de fibra cruda (contra 3.5%) y 58.47% de hidratos de carbono (contra 84%).
- \* Una ración que equivale a 30g de producto aporta el 13.06% de la IDR de proteína, 6.32% de la IDR de grasa y el 6.94% de la IDR de energía.
- \* El producto aporta el 4.46 % de la IDR de hierro (15 mg Fe para niños) por cada ración de producto (30g).
- \* El contenido de triptofano que aporta una ración de producto es de 3.33% de la IDR.
- \* De acuerdo a las pruebas biológicas, el producto obtuvo un PER ajustado de 2.14; mientras que las materias primas avena y cacahuate un PER ajustado de 2.31 y 2.68 respectivamente.
- \* La digestibilidad aparente del producto fue de 90.41
- \* Los resultados del análisis sensorial fue de 82% de aceptación, con un nivel de agrado general de 8.81, presentando una calificación de sabor de 8.65, en textura 7.61 y en color de 7.17.

## **Bibliografía:**

AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15<sup>th</sup> Edition, Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Vol. II, pp.778-779, 1995.

Bernal, G.P. Industrialización y conservación del cacahuete. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química, México, D.F. pp 28-40, 1991.

Bonillas, R.A. La avena y sus efectos hipocolesterolémicos. Quaker Oats Company Archives. 42:67-69, 2002.

Burrows B.D. Oats: Chemistry and Technology. Ed. American Association of cereal chemists; St. Paul MN, pp.13-116, 153-203,205-308, 1986.

Dendy, A.V. Cereales y productos derivados. Editorial Acribia. Zaragoza, pp. 457-472, 1995.

Desrosier, N.W. Elementos de Tecnología de Alimentos. Editorial CECOSA. México,D.F. pp. 104-114, 1991.

Eggum, B.O. and Gullord, M. The nutritional quality of some oat varieties cultivated in Norway. Plant Foods for Human Nutrition, 32:67-73, 1983.

FAO. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Bellino Norman (Representante de la FAO en México). México D.F., 2000. Disponible en línea en [www.fao.com](http://www.fao.com)

FAO/OMS. Informe de un comité especial mixto de expertos. Necesidades de proteínas. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. No. 301, 1966.

Guiller, S.G. Cacahuete o maní. Editorial Blume. Zaragoza, pp 172-188, 1997.

Hoseney, R.C. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia. Zaragoza, pp. 285-295, 1991.

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Tablas de composición de alimentos mexicanos. Dirección de Nutrición. Departamento de Ciencia y Tecnología. Departamento de Informática e Investigación. 2000.

Klaus J.L. Handbook of Cereal Science and Technology. Ed. Marcel Dekker. New York, pp. 199-216, 1991.

Lehtinen P., Kiiliäinen K., Lehtomäki I., and Laakso S. Effect of heat treatment on lipid stability in processed oats. Cereal Chemistry 37: 215-221, 2003.

Lehto S., Laakso S., and Lehtinen P. Enzymatic oxidation of hexanal by oat. Journal of Cereal Science 38: 199-203, 2003

Liukkonen K.H., Montfoort and Laakso S.V. Water-induced lipid changes in oat processing. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 40: 126-130, 1992.

Matz, S.A. *The chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed*. 2<sup>nd</sup> Edition. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, pp 107-134, 1991.

Molteberg E.L., Magnus E.M., Bjorge J.M., and Nilsson A. Sensory and chemical studies of lipid oxidation in raw and heat-treated oat flours. *Cereal Chemistry* 73: 579-587, 1996.

Osorio Z. Estudio para extender la vida de anaquel del cacahuate procesado. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, México D.F. pp 6-15, 2001.

Parson, D.B. *Manuales para la educación agropecuaria. Trigo, cebada y avena*. 2a Edición. SEP/Trillas. México D.F, pp. 1-28, 1989.

Pedrero, D.L.Pangborn R.M. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Editorial Alambra Mexicana. México D.F.pp.140-141, 1996.

Robinson, D.S. *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza, pp.81, 1991.

Robles, S.R. *Producción de granos y forrajes*. 4a. Edición. Editorial Limusa. México D.F., pp. 267-283, 1983.

SAGAR Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaria de Agricultura, ganadería y Desarrollo Rural. Centro de estadística agropecuaria. 1990- 2001

SAGP y A. Dirección de agricultura, ganadería, pesca y alimentación. Análisis de la cadena de cereales para desayuno. Buenos Aires. 2000. Disponible en línea en [www.alimentosargentinos.com](http://www.alimentosargentinos.com)

Serna, S.S. *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. Ed. AGT. México D.F. pp.275-301, 1995.

Serra M.L. *Desayuno y equilibrio alimentario. Estudio enKid*. Editorial Masson. Barcelona, pp.75-87, 2004.

Weber, E. and Newmann, O. Protein bodies, storage organelles in plant seeds. *Biochemical Physiology* 75:279-306, 1980.

Welch, R.W., Mc Conell, M.J. *Cereales y productos derivados*. Editorial Acribia. Zaragoza, pp. 457-474, 1995.

Zhou M.,Robards K., Glennie-Holmes M.,and Helliwell S. Oat lipids. *Journal of the American Oil Chemists Society* 76:159-169, 1999.

## ANEXO I

A continuación se muestra el cuadro de análisis de varianza para la densidad calórica de las dietas

Tabla 24. ANOVA de la densidad calórica de las dietas

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	3	59.58	19.86	7.34
Jueces	1	0.225	0.225	
Error	3	8.12	2.70	
Total	7	67.92		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	3.23	<	7.34	Si

Enseguida se muestran los cuadros de análisis de varianza para la relación de eficiencia proteínica (PER), relación neta de la proteína (NPR) y digestibilidad aparente de las dietas utilizadas para las pruebas biológicas contra la dieta de caseína.

Tabla 25. PER: Dieta de harina de avena contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	0.933	0.933	5.13
Jueces	5	0.249	0.0498	
Error	5	0.908	0.182	
Total	11	2.09		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	>	5.13	No

Tabla 26. PER: Dieta de cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>GI</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	2.51	2.51	9.03
Jueces	5	1.62	0.324	
Error	5	1.39	0.278	
Total	11	5.52		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	<	9.03	Si

Tabla 27. PER: Dieta de harina de avena : cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>GI</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	0.378	0.378	3.10
Jueces	5	0.561	0.112	
Error	5	0.611	0.122	
Total	11	1.55		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	>	3.10	No

Tabla 28. NPR: Dieta de harina de avena contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>GI</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	0.097	0.097	0.177
Jueces	5	0.635	0.127	
Error	5	2.738	0.548	
Total	11	3.470		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	>	0.177	No

Tabla 29. NPR: Dieta de cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	6.75	6.75	26.57
Jueces	5	4.04	0.81	
Error	5	1.27	0.254	
Total	11	12.06		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	<	26.57	Si

Tabla 30. NPR: Dieta de harina de avena : cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	0.375	0.375	0.899
Jueces	5	1.070	0.214	
Error	5	2.085	0.417	
Total	11	3.530		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	6.61	>	0.899	No

Tabla 31. Digestibilidad aparente: Dieta de harina de avena contra caseína.

<b>Fuente de variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	94.49	94.49	37.2
Jueces	2	2.895	1.45	
Error	2	5.085	2.54	
Total	5	102.47		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	18.51	<	37.2	Si

Tabla 32. Digestibilidad aparente: Dieta de cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	38.71	38.71	28.46
Jueces	2	5.065	2.53	
Error	2	2.72	1.36	
Total	5	46.49		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	18.51	<	28.46	Si

Tabla 33. Digestibilidad aparente: Dieta de harina de avena: cacahuete contra caseína.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	14.10	14.10	0.83
Jueces	2	51.32	25.66	
Error	2	32.82	16.41	
Total	5	98.24		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	18.51	>	0.83	No

A continuación se presentan los cuadros del análisis de varianza del % de energía digerible (%ED) contra digestibilidad aparente (Da) de caseína y mezcla avena: cacahuete.

Tabla 34. % ED de caseína contra Da de caseína

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	1.73	1.73	0.91
Jueces	2	1.32	0.66	
Error	2	3.82	1.91	
Total	5	6.87		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	18.51	>	0.91	No

Tabla 35. % ED de mezcla avena: cacahuate contra Da de mezcla avena: cacahuate.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Muestras	1	1.66	1.66	1.27
Jueces	2	1.32	60.64	
Error	2	2.58	1.29	
Total	5	125.52		

<b>Nivel de significancia</b>	<b>F tablas</b>	<b>Comparativo</b>	<b>F calculado</b>	<b>Diferencia significativa</b>
0.05	18.51	>	0.91	No



Tabla 36. Hoja de vaciado de datos del análisis sensorial.

Juez	Edad	Sexo	Color (cm)	Sabor (cm)	Textura (cm)	N gral.(cm)	Aceptación	Rechazo
1	24	F	4.1	10.3	1.2	1.5		X
2	24	F	6.5	9.8	1.3	8.2	X	
3	30	M	8.1	8.4	11	10	X	
4	26	F	9.9	10.8	11	10.8	X	
5	23	M	1.6	9.9	4	6.2	X	
6	23	F	4.4	7.1	5.5	8.1		X
7	22	F	9.5	11	11	11	X	
8	22	F	11	7.5	5.2	5		X
9	21	F	6.9	2	6.8	7.2	X	
10	23	F	7	7.4	8	6.6	X	
11	23	F	11	10.6	10.7	11	X	
12	23	F	4.3	7.3	9	6.5	X	
13	24	F	5.1	9.5	8	9.4	X	
14	23	M	5	10.5	10.2	10.4	X	
15	22	F	5.5	11	2.6	8.2	X	
16	26	M	5.5	9.4	8.1	9.5		X
17	26	F	7.8	3.8	0.7	7.5		X
18	27	M	3.6	11.2	9.2	9.4	X	
19	24	F	5.5	9.8	11	10.2	X	
20	21	M	11	10.5	10.2	10	X	
21	26	M	4.7	9.5	10.5	8.5	X	
22	29	F	5.2	11	11	11	X	
23	23	F	6.4	7.6	7.8	8.5	X	
24	23	M	8.2	9	8.6	9.9	X	
25	21	F	9.2	9.5	4.2	7.4	X	
26	24	F	7.8	9.8	10.5	8.6	X	
27	24	F	8.4	10.3	4.2	9.4	X	
28	23	F	9	10	8.8	10.5	X	
29	19	M	5.5	11	11	11	X	
30	20	M	10.6	9.5	11	11	X	
31	20	M	3.7	7	11	7		X
32	24	F	4	9.5	8.1	9.5	X	
33	23	M	2.6	9.4	5.5	7.7	X	
34	28	M	4.5	8.3	7.4	8.6	X	
35	25	M	8.6	8.9	6.5	9	X	
36	24	F	8	9	7	8.8	X	
37	24	F	6.3	8.2	7	8	X	
38	26	F	9	10	8.3	9.2	X	
39	20	F	7.8	11	9.1	10	X	
40	21	M	6	11	8.3	9	X	
41	21	M	11	11	8.9	10.2	X	
42	23	M	9	10.6	9	9.7	X	
43	24	F	10.3	11	8.8	9.9	X	
44	24	F	6.6	9.2	8	9		X
45	24	F	10	10.8	10.8	11	X	
46	25	F	9.4	11	10.5	10.8	X	
47	23	F	8.2	10.3	8.1	10.3	X	
48	23	F	8.9	11	10.6	11	X	
49	21	F	9.6	11	9.3	10.4	X	

50	22	M	10.2	8.4	8	9	X	
51	23	M	6.3	7.2	6.6	9.2		X
52	23	M	8.5	8.9	7.8	9.9	X	
53	20	F	10.2	10.6	10.5	11	X	
54	20	F	8.7	11	9.9	10.9	X	
55	20	F	9.2	10.8	10.1	10.5	X	
56	23	F	10	11	10.3	11	X	
57	28	F	11	7.2	5.1	6.2		X
58	26	F	3.2	10.7	6.7	7.2		X
59	26	F	5.5	7.2	5.8	7.9	X	
60	23	F	2.7	8.1	6.4	8.9	X	
61	21	F	7.2	6.7	3.2	9.1	X	
62	22	M	6.6	9.2	10.6	10.3	X	
63	36	M	6.1	10.5	11	8.4	X	
64	36	F	3.2	8.2	10.8	10.4	X	
65	24	F	9.4	8.6	7.4	8.1	X	
66	26	M	6.3	8.8	1.1	7.9	X	
67	24	M	4.9	7.8	8.1	7.6	X	
68	26	M	4.7	3.2	0.7	5.5		X
69	26	F	11	10.3	11	10.2	X	
70	25	M	8.6	11.1	11	11	X	
71	29	M	5.4	9.6	7.1	8.2	X	
72	31	F	3.9	10.4	6.4	10.6	X	
73	28	M	8.2	8.3	3.2	7.1	X	
74	28	M	9.1	7.7	4.3	4.1		X
75	38	F	2.6	5.1	7.8	6.3		X
76	38	F	2.8	4.5	6.4	8.5		X
77	29	F	9.4	7.8	10	7	X	
78	42	M	7.7	8.3	7.4	8.9	X	
79	33	M	4.6	7.9	6.3	7.4	X	
80	37	M	10.1	9.7	8.2	9.9	X	
81	41	M	8.7	6.8	5.2	9	X	
82	40	M	6.4	9.6	8.3	10.3	X	
83	44	F	7.9	8.1	7.2	9.7	X	
84	21	M	1.6	5.8	3.4	4.6		X
85	22	M	3.9	2.5	6.6	5.8		X
86	22	M	5.9	9.6	9.6	8.6	X	
87	23	M	7.5	9.7	10.2	10.2	X	
88	29	F	4.4	3.9	5.7	6.3	X	
89	29	F	9.8	6.7	8.9	8.8	X	
90	28	M	10.3	8.3	8.8	9.9	X	
91	27	F	10.9	6.8	4.8	8.5	X	
92	25	F	10.6	8.4	9.4	11	X	
93	21	F	6.7	9.3	7.9	9.5	X	
94	24	M	8.8	5.7	7.5	9.1	X	
95	22	F	5.2	3.5	7.3	7.5	X	
96	30	F	6.5	6.1	2.4	6.7		X
97	30	M	8.8	4.2	5.2	8.9	X	
98	31	F	8.9	7.4	6.8	10.3	X	
99	28	F	7.1	10.3	2.7	7.4		X
100	33	M	8.4	4.6	8.9	9	X	