



---

---

---

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS  
ALIMENTOS

TESINA

ELABORACIÓN DE GALLETAS ENRIQUECIDAS EN Fe Y  
EVALUACIÓN DE SU EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO  
DE LA ANEMIA FERROPRIVA

QUE PRESENTA:

Q.F.B. TERESA DE JESÚS GUEVARA ALTAMIRANO

DIRECTORA:  
M.C. ROSA MARÍA DÁVILA MÁRQUEZ

NOVIEMBRE 2014



BENEMÉRITA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
POSGRADO EN TECNOLOGÍA E  
INOCUIDAD DE ALIMENTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA  
TEL.: 229 55 00 EXT 7390

PUEBLA, PUE., MÉXICO  
FAX: 244 31 06

Puebla, Pue., a 3 de Octubre 2014

Q.F.B. Teresa De Jesús Guevara Altamirano

Toda vez que cuenta con la aprobación de

**M. C. Rosa María Dávila Márquez como Directora**

Se autoriza su proyecto de **TESINA** denominado:

“ELABORACIÓN DE GALLETAS ENRIQUECIDAS EN Fe Y EVALUACIÓN DE SU  
EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE LA ANEMIA FERROPRIVA”.

Y con esta fecha queda registrada en la Dirección de esta Facultad para los  
fines legales que a la interesada convengan.

ATENTAMENTE  
“PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR”

M. C. JOSÉ DE G. QUIROZ OROPEZA

**DIRECTOR DE LA FACULTAD**





BENEMÉRITA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E  
INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA  
TEL.: 229 55 00 EXT 7390

PUEBLA, PUE., MÉXICO  
FAX: 244 31 06

ASUNTO:  
APROBACIÓN COMISIÓN REVISORA

M.C. JOSÉ DE G. QUIRÓZ OROPEZA  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
PRESENTE:

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de la tesina de la alumna

**Q. F.B. Teresa De Jesús Guevara Altamirano**

De la ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

Realizada en el área de Bioquímica-Alimentos, comunican a Ud. la aprobación de la misma con la siguiente redacción:

"ELABORACIÓN DE GALLETAS ENRIQUECIDAS EN Fe Y EVALUACIÓN DE SU EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE LA ANEMIA FERROPRIVA".

Se extiende la presente, para los usos legales que al interesado convengan a los cinco días del mes de noviembre del dos mil catorce

ATENTAMENTE  
"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"

D. C. Addí Rhode Navarro Cruz

D. C. Raúl Ávila Sosa Sánchez

M. C. Nohemí Melgoza Palma



**BUAP**

*Asunto: Titulación Grado de Especialidad*

**C.P. JOSÉ JUAN MORALES RODRÍGUEZ  
DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
P R E S E N T E**

Por este medio me permito saludarle y a su vez comunicarle los nombres de los integrantes del *H. Jurado de Examen de Grado* que sustentará la *Q.F.B. Teresa de Jesús Guevara Altamirano*, pasante de la *Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos*. El cual se realizará el día 19 de noviembre de 2014 a las 10:00 horas en el Salón 201 del Edif.105E.

**JURADO**

D.C. Addi Rhode Navarro Cruz  
D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez  
M.C. Nohemi Melgoza Palma

Se extiende la presente para los fines que haya lugar.

**ATENTAMENTE**  
**"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"**  
**H. PUEBLA DE Z., A 7 DE NOVIEMBRE DE 2014**

  
**M.C. JOSÉ DE GPE. QUIRÓZ GROPEZA**  
**DIRECTOR**

Facultad  
de Ciencias  
Químicas

Av. San Claudio y 18 Sur,  
Edificio 105-H, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72540  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7390 y 01 (222) 244 31 06

## DEDICATORIAS

Cada una de las páginas de este trabajo representan el esfuerzo de muchas personas que me han acompañado en este camino en el que la travesía no ha sido fácil, sin embargo me llevó a convertirme en una mejor mujer, madre y profesionalista.

Es por ello que dedico este trabajo a cada una de las personas que me apoyaron en cada momento, iniciando con el agradecimiento a Dios, porque siempre ha bendecido cada una de las acciones que he realizado y está conmigo en cada uno de mis pasos.

A Ernesto, el hombre al que amo y siempre está a mi lado apoyando todas mis locuras, pero principalmente porque acompañarme a emprender este reto y enseñarme que a veces "las cosas más evidentes solo se pueden ver desde la tranquilidad; cuando aquietas tu mente y tomas las decisiones correctas, porque lo importante es la actitud ante las cosas.

A mis padres, por el apoyo que he recibido, por enseñarme a ser quien soy, mi ejemplo a seguir y ser los consejeros que guían mi vida.

Así como al mayor tesoro de mi vida, mis hijos, Er y Dani, a ellos que son mi motor y las personas por las que lucho todos los días de mi vida.

Por supuesto, a mis eternas compañeras y amigas, Sandra y Mariana: mis hermanas.

A mi maestra, Rosa María Dávila Márquez, quien además de profesora se convirtió en mi amiga y consejera, al haberme ubicado en el momento que estaba llevando el barco por otro rumbo.

A Hazzuani y Alejandra que fueron los ángeles que ayudaron a terminar este proyecto.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
4.1 CACTACEAS .....	5
4.1.1 Cladodios .....	7
4.1.2 Descripción de <i>Opuntia ficus indica</i> .....	7
4.2 FIBRA DIETETICA.....	8
4.2.1 Componentes de la fibra dietética.....	9
4.2.2 Clasificación .....	10
4.2.3 Efectos fisiológicos de la fibra dietética.....	11
4.2.4 Digestión de la fibra .....	11
4.2.5 Trastornos relacionados con el déficit de fibra dietética.....	12
4.3 HIERRO .....	14
4.3.1 Absorción de Hierro .....	15
4.3.2 Déficit de hierro .....	18
4.4 ANEMIA FERROPENICA .....	19
4.5 HARINA DE SANGRE .....	21
5. DIAGRAMA DE TRABAJO .....	22
6. MATERIAL Y MÉTODOS .....	23
6.1 Material de vidrio.....	23
6.2 Material biológico: .....	23
6.3 Reactivos .....	23
6.4 Metodología .....	23
6.4.1 Elaboración de harina de nopal.....	23
6.4.2 Elaboración de harina de sangre .....	24
6.4.3 Composición de la dieta para inducir anemia: .....	24
6.4.4 Elaboración de galletas con sangre de carnero y harina de nopal.....	24
6.4.5 Diseño experimental .....	25
6.4.6 Determinación de hemoglobina.....	25

6.4.7 Análisis Estadístico .....	26
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	27
7.1 Inducción de anemia .....	27
7.2 Corrección de la anemia .....	27
CONCLUSIÓN .....	30
SUGERENCIAS .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	32
ANEXOS .....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del nopal <i>Opuntia ficus indica</i> .....	6
Tabla 2. Valor Nutritivo del nopal (por cada 100g) .....	7
Tabla 3. Contenido de aminoácidos indispensables (por cada 100 g de nopal) .....	8
Tabla 4. Acciones que tienen en el organismo los diferentes componentes de la fibra.....	11
Tabla 5. Raciones dietéticas recomendadas de hierro.....	18
Tabla 6 Métodos y referencias .....	23
Tabla 7 Formulación de la dieta inductora de anemia.....	24
Tabla 8 Formulación de las galletas con sangre de carnero y harina de nopal.....	25
Tabla 9 Inducción de anemia .....	27
Tabla 10 Eficiencia en la regeneración de Hemoglobina .....	28

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de fibra dietética.....	10
Figura 2. Absorción y distribución de $Fe^{+2}$ .....	16
Figura 3. Variación de Hemoglobina .....	28

## RESUMEN

De acuerdo con la UNICEF, 35 mil millones de personas en el mundo presentan un tipo de anemia, la más usual se debe a la deficiencia de hierro y ésta es la causa de la mayor parte de las anemias encontradas en la infancia. En México la prevalencia de esta anemia (ferropriva) en 2006 fue de dos millones de niños con este padecimiento.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia nutricional de unas galletas adicionadas con  $\text{Fe}^{+2}$  activo, desarrolladas en el departamento de Bioquímica-Alimentos de la BUAP. Para su elaboración se empleó fibra de nopal y harina de sangre de carnero; los cladodios colectados se secaron a  $70^{\circ}\text{C}$ , se molieron, para obtener harina de nopal, el plasma se separó por centrifugación, el paquete globular se deshidrató a  $50^{\circ}\text{C}$  y se molió. Se elaboraron galletas con 15% de harina de nopal y 2.64% de harina de sangre. Se emplearon 20 ratas machos Wistar con un peso inicial entre 60 y 90g recién destetadas obtenidas del Bioterio de la BUAP, separadas en 4 lotes; a 1 se le alimentó durante los primeros 28 días con alimento comercial (Siegler®) y agua purificada "*ad libitum*" (lote control) los lotes restantes fueron alimentados con una dieta específica (AIN, 1977) libre de Fe para provocar el estado anémico dependiente de dicho mineral. El día 29 los lotes de ratas anémicas cambiaron su alimentación: a) alimento comercial y agua purificada, b) alimento comercial y solución de  $\text{FeSO}_4$  (0.02%), c) alimento de prueba y agua desionizada. Se les determinó a todos los animales sus valores de hemoglobina por el método de cianometahemoglobina el día de inicio del experimento, a los 29 días y cada 4 días durante 15 días para evaluar la recuperación del estado anémico. La hemoglobina del lote control se determinó entre 14-16mg/dl todo el tiempo; las ratas con el alimento prueba: Hb Inicial=9-10mg/dl; Hb Anemia=6-9mg/dl; Hb Final=11-14mg/dl. El análisis estadístico (ANOVA por el método de Duncan) de los valores de hemoglobina alcanzados por la realimentación a las ratas demostró que el alimento de prueba recupera de la anemia a las ratas tratadas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La deficiencia de hierro es el segundo gran problema en salud pública a nivel mundial y es la causa de la anemia ferropénica. Entre el 15 y 20 % de la población mundial son afectados por este problema con mayor incidencia en países pobres y en vías de desarrollo, siendo los grupos de mujeres en edad fértil, especialmente embarazadas y en lactancia, y niños los más afectados.

La sangre constituye la fuente más importante de hierro hemínico, ya que en los eritrocitos se encuentra entre el 85 y 90 % del mineral (30-40mg por kg. de peso). La adición de la harina de hemoglobina de la sangre de ganado a un alimento proporciona nutrientes tales como aminoácidos y hierro hemínico que previene y/o corrige la anemia ferropénica en poblaciones de riesgo (como embarazadas, durante la menstruación, niños con desnutrición y niños anémicos).

Todas las células contienen hierro, que es de gran importancia biológica, siendo un micronutriente activo en el metabolismo oxidativo, en el crecimiento de las células y reproducción y en el transporte de oxígeno (con la hemoglobina). Sin embargo, los niveles de hierro no son suficientes ya que depende de factores fisiológicos y de la alimentación.

Aunado a esto, la fibra dietética de origen vegetal favorece la digestión, facilitando el tránsito intestinal, ayuda a la eliminación de tóxicos e incrementa la absorción de nutrientes, al mismo tiempo que previene la inflamación del colon y la aparición de patologías (como el cáncer intestinal), o bien favorece la curación de estas además de proteger al hierro durante la cocción en un producto de panificación.

La sangre de los rastros es una gran fuente de contaminación por lo que se puede evitar este problema aprovechándola y elaborar productos como harinas con un alto contenido de hierro. Lo mismo sucede con los nopales “viejos” que ya no son

comercializados y de los cuales se puede obtener harina con alto contenido de fibra dietética.

La finalidad de esta investigación es elaborar productos alimenticios que permitan mantener al hierro hemínico en esta forma para que pueda ser aprovechado efectivamente por los consumidores, siendo necesaria la evaluación en animales de experimentación para garantizar sus efectos benéficos e inocuidad.

## 2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la UNICEF, 35 mil millones de personas en el mundo presentan un tipo de anemia, la más usual se debe a la deficiencia de hierro y ésta es la causa de la mayor parte de las anemias encontradas en la infancia. En México la prevalencia de esta anemia (ferropriva) en el periodo 2000-2012 según ENSANUT 2012 ha disminuido y a pesar de ello, la prevalencia nacional de anemia en los niños preescolares fue de 23.3% (IC95% 21.8-24.8); lo que representa a 2 084 738 niños anémicos siendo los niños entre 12 y 23 meses de edad los más vulnerables.

El desarrollo de nuevos productos que ayuden a resolver este tipo de problemas es una tarea muy importante que deben realizar los científicos relacionados con el área de alimentos. Un nuevo alimento que tenga las características necesarias para cubrir los aportes diarios de hierro sería ideal para resolver problemas de anemia.

### **3. OBJETIVOS**

#### **GENERAL**

Elaborar unas galletas enriquecidas en Fe a base de harina de nopal y harina de sangre de carnero y evaluar su eficiencia en el tratamiento de la anemia ferropriva inducida en ratas.

#### **PARTICULARES:**

- Elaborar alimento sin Fe para inducir anemia ferropriva en ratas.
- Elaborar galletas hechas a base de harina de nopal y harina de sangre de carnero para el tratamiento de anemia ferropriva.
- Cuantificar hemoglobina en la sangre de las ratas, analizar los resultados y verificar si hubo efecto sobre el tratamiento de la anemia ferropriva.

## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 CACTACEAS

Las cactáceas cuyo nombre proviene del griego *kaktos* significan “planta cubierta de espinas” se conocieron en el mundo occidental justo después del descubrimiento de América.

Las cactáceas son una familia vegetal originaria del continente americano, que cuenta con 110 géneros y 1500 especies. De esta cantidad, aproximadamente 52 géneros y 850 especies se encuentran en nuestro país, lo que coloca a México como el país con mayor variedad y riqueza de cactáceas a nivel mundial (Bravo y Scheinvar, 1995).

Pueden ser fanerógamas y dicotiledóneas, es decir, producen flores, frutos y semillas, presentan flores bisexuadas (en algunos casos unisexuadas), y la mayoría de ellas requieren de cruzamiento para producir semilla, aunque algunas especies son autofértiles.

Es de ahí la división de la familia Cactácea, la cual comprende tres subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae.

La subfamilia Pereskioideae tiene hojas con limbo laminar, es considerada la más antigua; de sus ancestros, que por invasión a las zonas áridas redujeron el limbo de las hojas, se derivó la segunda subfamilia, Opuntioideae (de los nopales), que tiene hojas pequeñas, subuladas cuando su tallo empieza a crecer, y después se marchitan y caen; además poseen glóquidas. En la subfamilia Cactoideae, se observa la reducción de las hojas, por la extrema sequía, lo cual ha llegado a convertirlas en escamitas muy pequeñas, o en vestigios microscópicos.

Como las demás plantas con flores, las cactáceas están integradas por raíz, tallo, hojas, flores, frutos y semillas; pero además poseen órganos transformados

suigeneris, como las aréolas (yemas) y las espinas (hojas reducidas). En general todos los órganos de estas plantas, presentan adaptaciones a la aridez (Britton y Rose, 1963)

México es el país que alberga, posiblemente, la mayor cantidad de especies de cactáceas, ya que por sus peculiares condiciones de latitud, topografía y clima han logrado un gran desarrollo de estas plantas (como el nopal) en este territorio, siendo elemento de progreso intrínseco del pueblo y cultura de los mexicas, así como de otros pueblos indígenas.

A través de la historia la iconografía de los códices ha legado numerosos jeroglíficos de cactáceas, entre ellos el relacionado con la fundación de la gran Tenochtitlán, que significa fruta de piedra, porque está compuesto de Tetl, que es piedra, y de Nuchtli, que es la fruta, elementos que aún se conservan en el escudo Nacional Mexicano.

El nopal utilizado en nuestro territorio, tiene evidencias fechadas de su consumo que datan de hace 7000 años, mediante semillas, cáscaras de tuna y fibras de pencas de nopal fosilizadas, las cuales fueron halladas en excavaciones realizadas en Tehuacán, Puebla (Bravo y Sánchez, 1996). En la tabla 1 se muestra su clasificación taxonómica.

**Tabla 1. Clasificación Taxonómica del nopal *Opuntia ficus indica***

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
REINO	Vegetal
SUBREINO	Embryophyta
DIVISION	Angioserma
CLASE	Dicotiledoneae
ORDEN	Opuntiales
FAMILIA	Cactaceae
GENERO	<i>Opuntia</i>
ESPECIE	<i>Ficus indica</i>

Fuente: Britton y Rose, 1963

#### 4.1.1 Cladodios

Los cladodios es la parte del nopal que transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis, están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de los estomas, mismos que permanecen cerrados durante el día.

La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso (DIF, 1992).

#### 4.1.2 Descripción de *Opuntia ficus indica*

Los *Opuntia ficus* (nombre científico del nopal) son plantas arborescentes que miden de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y bien definido tiene una longitud de 60 cm a 1.5 m de altura, de 20 a 30 cm de diámetro. Tienen cladodios de forma elíptica de 30 a 60 m de largo, de 20 a 40 cm de ancho y 1.9 a 2.8 cm de grueso, color verde opaco, integran ramas de varios cladodios, areolas distintas separadas entre sí de 2 a 5 cm, pequeñas angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm de largo y 3 mm de ancho, tienen glóquidas más o menos numerosas amarillas, flores de 7 a 10 cm de diámetro, y de 6 a 8 cm de largo (Hernández, 1979). En las tablas 2 y 3 se presenta el aporte de nutrientes y aminoácidos respectivamente.

**Tabla 2. Valor Nutritivo del nopal (por cada 100g)**

CONTENIDO	CANTIDAD
Energía (Kcal)	27.00
Proteína (g)	1.70
Grasas (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03
Ascórbico (mg)	8.00

Fuente: DIF, 1992

**Tabla 3. Contenido de aminoácidos indispensables (por cada 100 g de nopal)**

<b>AMINOÁCIDO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Lisina	4.00
Isoleucina	4.00
Treonina	4.80
Valina	3.80
Leucina	5.20
Triptófano	0.80
Metionina	0.70
Fenilalanina	5.40

Fuente: DIF, 1992

La harina de nopal que no es otra cosa más que nopal deshidratado y molido, ha venido a ofrecer una solución para los consumidores que les resulta molesta la sensación que causa el mucílago que desprende el nopal al añadirlo licuado a algún jugo de frutas, como también para la elaboración de una gama más amplia de productos tales como dulces, panes, galletas, tostadas, tortillas, atole (Vázquez y Cassab, 1993).

#### **4.2 FIBRA DIETETICA**

La nutrición como ciencia se desarrolló principalmente durante la segunda mitad de este siglo y a pesar de su constante evolución todavía existe confusión sobre lo que es una dieta sana. El concepto de incluir fibras en nuestras dietas tomó importancia realmente en los últimos veinticinco años.

Anteriormente se le consideraba un elemento inerte carente de relevancia, pero las observaciones experimentales y epidemiológicas cambiaron drásticamente esta idea, por lo cual es posible diseñar dietas que incluyan la fibra dietética y que ayuden a prevenir enfermedades (Alvite, 1999)

En el año 2001, la *American Association of Cereal Chemist* amplió el concepto de fibra dietética: “La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina, y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles del colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre” (Zarzuelo y Gálvez, 2008)

El contenido de fibra en los vegetales de consumo habitual oscila entre un 3 – 8% de alimento comestible. En la fruta es del 1.4 – 2.4% siendo la media del 1.6%. Los alimentos más ricos en fibra son: salvado, alcachofas, habas, espárragos, espinacas, ejotes, berenjenas, acelgas, col, puerros, tomates (Redondo, 1999)

#### **4.2.1 Componentes de la fibra dietética**

Los componentes de la fibra dietética pueden agruparse según sus características químicas en cuatro grupos (Zarzuelo y Gálvez, 2008):

1. Polisacáridos
  - Celulosa
  - Hemicelulosa
  - Pectinas
  - Gomas
  - Mucílagos
  - Polifruktosas
2. Oligosacáridos
  - Inulina
  - Fructooligosacáridos
  - Galactooligosacáridos
3. Análogos de hidratos de carbono
  - Dextrinas no digeribles

- Maltodextrinas resistentes
- Polidextrosa
- Metilcelulosa
- Hidroxipropilmetilcelulosa
- Hidratos de carbono sintéticos

#### 4. Derivados no hidratos de carbono

- Lignina
- Ceras
- Fitatos
- Cutinas y suberinas
- Compuestos polifenólicos (taninos)

### 4.2.2 Clasificación

La clasificación propuesta en la Figura 1 recoge de forma global los conocimientos actuales que permiten una ordenación conceptual acerca de la fibra dietética (Escudero y Álvarez, 2006).

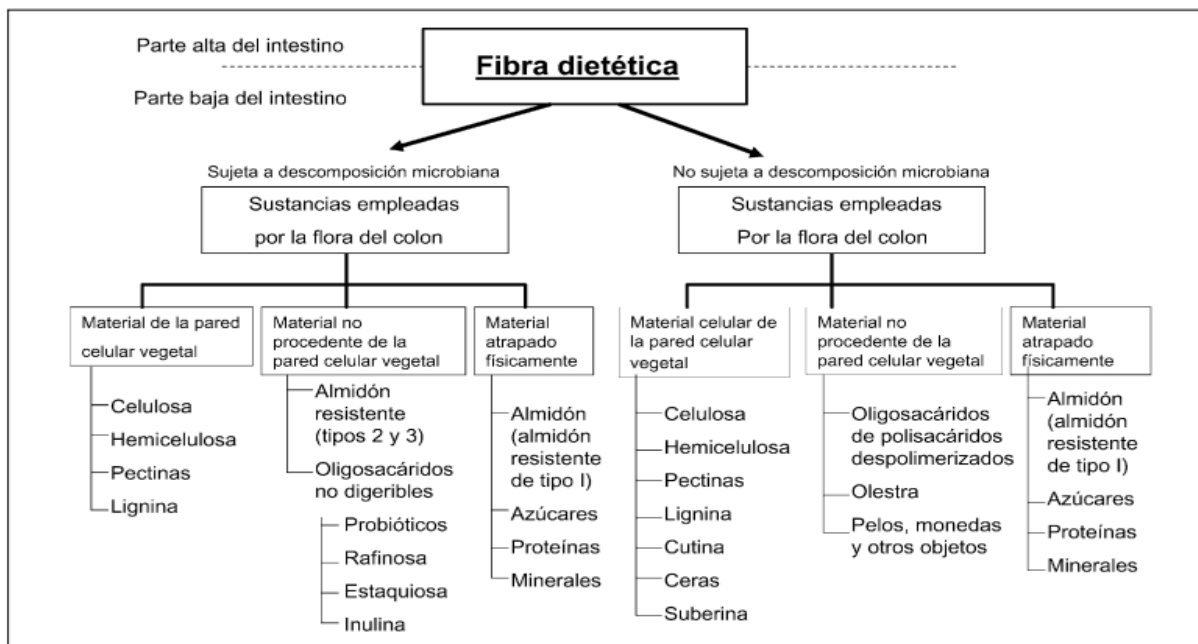


Figura 1. Clasificación de fibra dietética

### 4.2.3 Efectos fisiológicos de la fibra dietética

La celulosa es un polisacárido que no es atacado por las enzimas del aparato digestivo del organismo humano y que constituye junto al resto de los polisacáridos llamados inertes o resistentes, la parte no digestible de los alimentos de origen vegetal denominada fibra bruta, de gran significación como inductora del peristaltismo intestinal. Además, se han estudiado los efectos benéficos de la fibra insoluble en su potencial de reducir el riesgo de padecer cáncer de colón rectal. La fibra dietética tiene diferentes acciones en el organismo humano. (Berlitz y Grosch, 1997), (Tabla 4).

**Tabla 4. Acciones que tienen en el organismo los diferentes componentes de la fibra**

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Acción</b>
Celulosa	Capacidad de retención de agua, reducción de la presión colónica y reducción del tiempo del tránsito intestinal
Hemicelulosa	Capacidad de retención de agua, incremento de la masa fecal, reducción de la presión colónica, reducción del tiempo del tránsito intestinal y posibilidad de retener ácidos biliares
Peptinas, gomas y mucilagos	Retiene ácidos biliares, reduce la evacuación gástrica y mucilagos e incrementa la fermentación colónica.
Lignina	Capacidad de retención de agua, ligado de minerales, aumento de excreción y posibilidad de incrementar la defecación

Fuente: Molina y Paz, 2007

### 4.2.4 Digestión de la fibra

La fibra dietética llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí las bacterias del colon, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en

mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Este proceso de digestión se produce en condiciones anaerobias, por lo que se denomina fermentación.

Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentadas por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. La celulosa tiene una capacidad de fermentación entre el 20 y el 80%; la hemicelulosa del 60 al 90%; la fibra guar, el almidón resistente y los fructooligosacáridos tienen una capacidad del 100%. (Escudero y González, 2006)

La fibra es fermentada por las bacterias, lo que origina, en primer lugar, la proliferación de determinadas poblaciones bacterianas, y, en segundo lugar, la generación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) conjuntamente con dióxido de carbono e hidrógeno. Los efectos beneficiosos que se derivan del crecimiento bacteriano se pueden resumir en:

1. Contribuir de forma significativa al aumento de masa en los contenidos intestinales (35-50% del total).
2. Incrementar la actividad metabólica bacteriana, lo que favorece la utilización de compuestos potencialmente tóxicos, como derivados tiólicos, fenólicos o del ión amonio, reduciendo en consecuencia sus niveles luminales.
3. Algunos de los componentes de la fibra dietética, como el almidón resistente y los fructooligosacáridos, son fermentados por determinados tipos de bacterias de la microbiota cólica (bifidobacterias y lactobacilos) que desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la homeostasis intestinal, promoviendo su expansión de forma selectiva, lo que constituye el efecto denominado como “prebiótico” (Zarzuelo y Gálvez, 2008).

#### **4.2.5 Trastornos relacionados con el déficit de fibra dietética.**

La dieta pobre o escasa en fibra puede desencadenar diversos trastornos orgánicos, los cuales, pueden implicar, en algunos casos, patologías graves. La fisiopatología de los mismos puede estar causada por:

1. Tránsito intestinal retardado.
2. Absorción de nutrientes aumentada.
3. Alteración de la digestión y metabolismo de los ácidos biliares. La disminución en la excreción de colesterol, hace que este aumente en plasma y se convierta en un factor de riesgo para la formación de colelitiasis y de cardiopatía isquémica.
4. Aumento de la presión intraluminal. El peristaltismo intestinal es favorecido cuando la dieta es rica en fibra. Esta última aumenta el bolo fecal, por lo tanto tiene lugar el reflejo defecatorio.
5. Aumento de la presión intraabdominal. Los excrementos duros y secos comprimen las venas del intestino, impidiendo el retorno sanguíneo y originando las incómodas hemorroides.
6. Aumento de la cantidad y de la actividad de carcinógenos fecales. Los ácidos biliares como son el deshidrocólico y el deoxicólico, tienen la condición de ser esenciales para el organismo humano. Ambos son producidos en el hígado e intervienen en el proceso digestivo, emulsionado y disociando a las grasas ingeridas en la alimentación. Cuando la dieta es escasa en fibra, los lactobacilos y demás saprófitos son sustituidos por otras bacterias que son nocivas para la salud, ya que degradan a los ácidos biliares en derivados carcinógenos. Así se aumenta la secreción de dehidronorcoleno y metilcolantreno, entre otros ácidos biliares, y que a mayor tiempo de contacto con la pared intestinal, aumentará la probabilidad de desarrollar cáncer de colon.
7. Estreñimiento.- La fibra absorbe gran cantidad de agua del intestino delgado, con lo cual aumenta el volumen de las heces fecales y desencadena el reflejo defecatorio.
8. Obesidad.- Esto es debido a que se requiere más tiempo para masticar la fibra, el resultado de esto es que aparece antes el reflejo de saciedad.
9. Colesterol.- Una de las formas para combatir las dislipemias es aumentar la excreción de colesterol cuando se ingiere una dieta rica en fibra. El hígado transforma una cantidad de colesterol en ácidos biliares, que son arrastrados por la fibra y la excreta fuera del organismo. La pectina, la goma guar y una

dieta mixta de verduras y leguminosas, son los componentes de la dieta que intervienen en la excreción de colesterol.

10. Diabetes Mellitus.- La fibra aporta carbohidratos complejos y elementos que retardan la absorción de nutrientes, disminuyendo los niveles plasmáticos de glucosa, triglicéridos y colesterol total.

11. Regulación del tiempo de tránsito fecal.- La fibra combate el estreñimiento y la diarrea. Si el tiempo es normal, la fibra no influye en el mismo. Pero si está acortado o acelerado, cabe la posibilidad de que la fibra lo normalice (Redondo, 1999).

### **4.3 HIERRO**

El hierro es el metal de transición más importante en el organismo animal, donde se presenta casi exclusivamente en compuestos de coordinación, basados en el núcleo de la porfirina, en particular en los pigmentos hemo que transportan oxígeno.

El hierro abunda en la mayor parte de los alimentos de origen vegetal o animal. La carne contiene de 2 a 4 mg. por 100 gr., en su mayor parte de mioglobina, de modo que la intensidad de color rojo de las diferentes piezas de carnicería constituye una guía razonable con respecto a la abundancia relativa de este metal (Price y Schweigent, 1994).

Las hortalizas verdes foliáceas, las legumbres, los frutos secos y los granos enteros de cereal contienen entre 2 y 4 mg. por 100 gr. La dieta común contiene entre 10 y 14 mg. por día.

El ácido ascórbico compartido con otras sustancias, especialmente azúcares, ácido cítrico y aminoácidos son eficaces secuestradores que forman complejos solubles en el hierro, lo que le hace disponible para la absorción.

A través del sudor, la orina y las descamaciones de células epiteliales de la piel y las mucosas intestinales, se pierde hasta 1 mg. de hierro diario. El problema es que la

absorción del hierro en el intestino es pobre y muy dependiente de la naturaleza de los compuestos de hierro presentes en la dieta. El pH ácido que reina en el estómago, promueve que los iones ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) se presentan en forma soluble, (iones hidratados), pero cuando el pH se eleva a 8, en el duodeno, se forman hidróxidos, mucho menos solubles. El medio ácido del estómago ayuda a que se solubilice el hierro férrico insoluble presente en los alimentos.

Cuando la fuente dietética es el hierro hemo; por ejemplo, la mioglobina de la carne, se absorbe el 15-25%. En cambio no se absorbe más del 8% del contenido en los alimentos de origen vegetal, entre ellos los cereales, las legumbres y las hortalizas foliáceas. El hierro presente en los alimentos de origen vegetal se halla fundamentalmente en forma de complejos insolubles de  $\text{Fe}^{+3}$  con el ácido fítico, los oxalatos, los fosfatos y los carbonatos (Price y Schweigent, 1994)

Una deficiencia de hierro se manifiesta siempre como anemia, es decir, tasas de hemoglobina en sangre anormalmente bajas.

#### **4.3.1 Absorción de Hierro**

El hierro existe en dos formas hierro hemo se presenta sobre todo en carnes rojas en forma hemoglobina, el hierro no hemo está en los vegetales y cereales. El primero, es decir el hierro hemo se absorbe a través del borde del cepillo de las células intestinales encargadas de la absorción después de ser digerido de las fuentes animales. Una vez que el hemo entra al citosol, el hierro ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) es eliminado enzimáticamente del complejo de ferroporfirina. Los iones de hierro libre se combinan inmediatamente con apoferritina para formar Ferritina en la misma forma que el hierro ferroso no hemo libre se combina con apoferritina. La Ferritina sirve de almacenamiento intracelular y como un transportador para el hierro fijo desde el borde del cepillo hasta la membrana basolateral de la célula que intervienen en la absorción (Figura 2). El paso final de la absorción tienen lugar en la membrana basolateral de la célula encargada de la absorción, la misma que para el hierro no hemo, por mecanismo de transporte activo mediante el cual los iones alimentario de individuos que consumen una dieta mixta,

pero la absorción puede llegar hasta cifras de 25%, en comparación con sólo 5%, para el hierro no hemo.

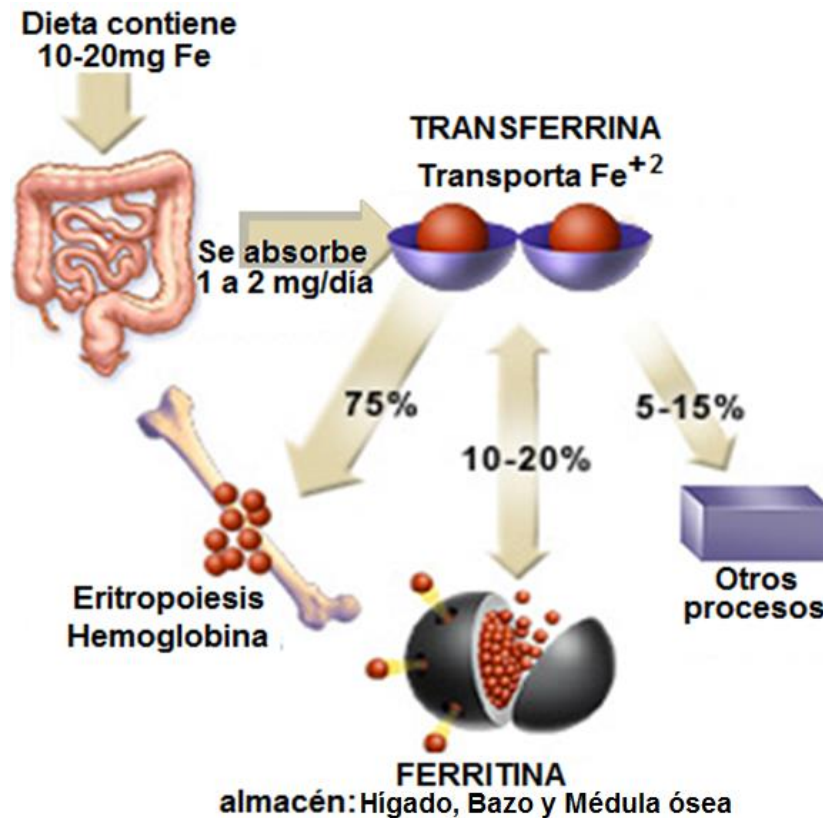


Figura 2. Absorción y distribución de  $Fe^{+2}$

Es por ello que se dan tres pasos en la absorción que también anteceden a la entrada del hierro no hemo hacia la circulación sanguínea.

1. El hierro no hemo debe digerirse libre de las fuentes vegetales y entrar en el duodeno y la parte superior del yeyuno en una forma soluble para que pueda transferirse a través del borde del cepillo.
2. El ácido de las secreciones gástricas intensifica la solubilidad y el cambio de hierro al estado iónico en la luz intestinal.
3. El hierro en estado reducido o ferroso es preferido para el vaso de entrada de la absorción, pero también se transporta algo de hierro férrico a través del borde del cepillo (Mahan y Escott, 2001).

La característica más notoria del metabolismo del hierro es el grado en que se conservan las reservas corporales. Hasta 66% de este hierro se excreta a partir del tubo digestivo como eritrocitos extravasados, hierro en la bilis y hierro en células de mucosa exfoliadas. El otro 34% se explica por pequeños volúmenes de hierro en la piel descamada y en la orina. Las pérdidas fisiológicas de hierro en varones varían mucho, desde 0.5 mg. en el individuo con deficiencia de hierro hasta 1.5 a 2 mg/día cuando el mineral se consume en exceso.

En mujeres sobreviven pérdidas adicionales debido a la menstruación. Si bien la pérdida promedio en mujeres que menstrúan es alrededor de 0.5 mg. al día, 10% de las mujeres normales en edad fértil pierden más de 2 mg al día. El embarazo impone una necesidad aún mayor del metal. Otras causas de pérdida de hierro son la donación de sangre, el uso de antiinflamatorios que originan hemorragia de la mucosa gástrica.

La ración necesaria de este elemento está determinada por las pérdidas fisiológicas obligatorias y las necesidades impuestas por el crecimiento (Tabla 5).

El hierro hemo es mucho más utilizable, y su absorción es independiente de la composición de la dieta. La fracción hemo, que constituye el 6% del metal en la dieta, representa 30% del hierro absorbido. Aun así, la disponibilidad de la fracción no hemo merece mayor atención, puesto que representa con mucho el volumen mayor de hierro en la dieta de individuos de bajo nivel socioeconómico. En una dieta vegetariana, el hierro no hemo se absorbe muy poco, a causa del efecto inhibitor de diversos componentes de la dieta.

**Tabla 5. Raciones dietéticas recomendadas de hierro**

<i>Edad (años)</i>	<i>RDA (mg)</i>
<b>Lactantes</b>	
0.0-0.5	6
0.5-1.0	10
<b>Niños</b>	
1-3	10
4-6	10
7-10	10
<b>Varones</b>	
11-14	12
15-18	12
19-24	10
25-50	10
51+	10
<b>Mujeres</b>	
11-14	15
15-18	15
19-24	15
25-50	15
51+	10
Embarazo	30
Lactancia	
Primeros seis meses	15
Segundos seis meses	15

FUENTE: Mahan y Escott, 2001

#### **4.3.2 Déficit de hierro**

La disminución de hierro en el organismo puede deberse a:

- Déficit dietético
- Alteración de la absorción
- Aumento de requerimientos
- Hemorragias crónicas

El déficit dietético es una causa infrecuente de la falta de hierro en los países industrializados en los que la alimentación es abundante y en donde aproximadamente las dos terceras partes del hierro de la dieta aparecen en forma hemo fácilmente

asimilable. La situación es muy diferente en los países en vías de desarrollo en los que la alimentación es menos abundante y las dietas son predominantemente vegetarianas, de forma que contienen más hierro inorgánico que es más difícil de absorber. No obstante, todavía se detecta anomalías en las sociedades más avanzadas debido a las siguientes circunstancias:

- Los ancianos suelen tener una dieta muy restringida con poca carne debido a razones económicas o a alteraciones dentarias.
- Las personas muy pobres, a menudo grupos minoritarios, tienen un mayor riesgo debido a razones obvias.
- Los lactantes también presentan un incremento en el riesgo debido a que su dieta está formada predominantemente por la leche que contiene cantidades muy pequeñas de hierro.

La absorción de hierro depende no sólo de la cantidad de hierro existente en la dieta, sino también del tipo de hierro y la combinación de alimentos que se ingieren. Ciertos azúcares, aminoácidos y aminos también son útiles en la absorción al impedir la precipitación y la polimerización de los complejos de hierro. Por el contrario otros agentes que se hallan en la dieta, como carbonatos, oxalatos, fosfatos, fitatos y tanatos, se combinan con el hierro para formar compuestos insolubles que no es posible absorber. Por tanto, aun cuando el hierro no hemo constituye la mayor parte del hierro de la dieta, sólo 2% es el que finalmente se absorbe en el duodeno (Boyle y Zyla, 1996).

#### **4.4 ANEMIA FERROPENICA**

La anemia puede definirse como la disminución de los eritrocitos o de la hemoglobina circulante. Se produce siempre que el equilibrio hematopoyético está perturbado, y se pierden más eritrocitos o hemoglobina que los producidos. La anemia suele clasificarse según sus causas o por sus características morfológicas (Byrd y Oscar, 1978).

El término déficit de hierro se utiliza para designar una condición en la cual el contenido corporal total del hierro está disminuido, no importa cuál sea la causa. No debe tomarse esta designación para significar que la disminución de hierro se debe, necesariamente, a un déficit nutricional. Para evitar este tipo de implicaciones, se ha propuesto el término alternativo de falta de hierro, pero no ha logrado aceptación general (Maxwell, 1974). La anemia por deficiencia de hierro ha sido descrita con nombres diversos. Muchos de los términos que ahora nos parecen sinónimos para indicar deficiencia de hierro, en circunstancias especiales se utilizaron para señalar síndromes diversos antes de conocerse el mecanismo productor de la anemia. Los utilizados han sido los siguientes: anemia secundaria, anemia hipocrómica idiopática, clorosis, anemia clorótica, anemia hipocrómica del embarazo, anemia hipocrómica de la premadurez y de la adolescencia, anemia por deficiencia de hierro (Byrd y Oscar, 1978)

La deficiencia de hierro es el segundo gran problema en salud pública a nivel mundial y es la causa de la anemia ferropénica. Entre el 15 y 20 % de la población mundial son afectados por este problema con mayor incidencia en países pobres y en vías de desarrollo, siendo los grupos de mujeres en edad fértil, especialmente embarazadas y en lactancia, y niños los más afectados (Haro y Col. 2000)

La deficiencia de hierro es probablemente la forma más común de anemia, en cierto número de procesos clínicos y pueden intervenir en ella varios mecanismos. Una dieta inadecuada raramente es la sola causa de deficiencia de hierro, excepto en la primera infancia. Sin embargo, un ingreso inadecuado puede ser factor contribuyente importante en algunas circunstancias, sobre todo durante el crecimiento de los niños y en el embarazo (Byrd y Oscar, 1978). En este estadio, comúnmente, se detectan ciertas anormalidades bioquímicas del metabolismo del hierro, tales como un incremento en la protoporfirina eritrocitaria libre y un nivel de hierro plasmático reducido (Maxwell. 1974)

Los síntomas que se observa en un paciente con deficiencia de hierro pueden ser: pérdida de sangre por menorragia o hemorragia rectal, debilidad, fatiga fácil, disnea

de esfuerzo y palpitations; disfagia, inflamación de la lengua y de toda la boca, y uñas quebradizas (Byrd y Oscar, 1978).

#### **4.5 HARINA DE SANGRE**

La economía de las industrias cárnicas exige el aprovechamiento de los subproductos para competir con otras fuentes proteicas de origen vegetal. Si los subproductos de los animales no se utilizan, además de perderse un valioso potencial alimenticio, se incurre en considerables costos adicionales en la eliminación de residuos para evitar la polución.

Los subproductos de origen animal son aquellos residuos que no se utilizan en la elaboración de productos cárnicos y que pueden tener igualmente un aprovechamiento (Ockerman y Hansen, 1994).

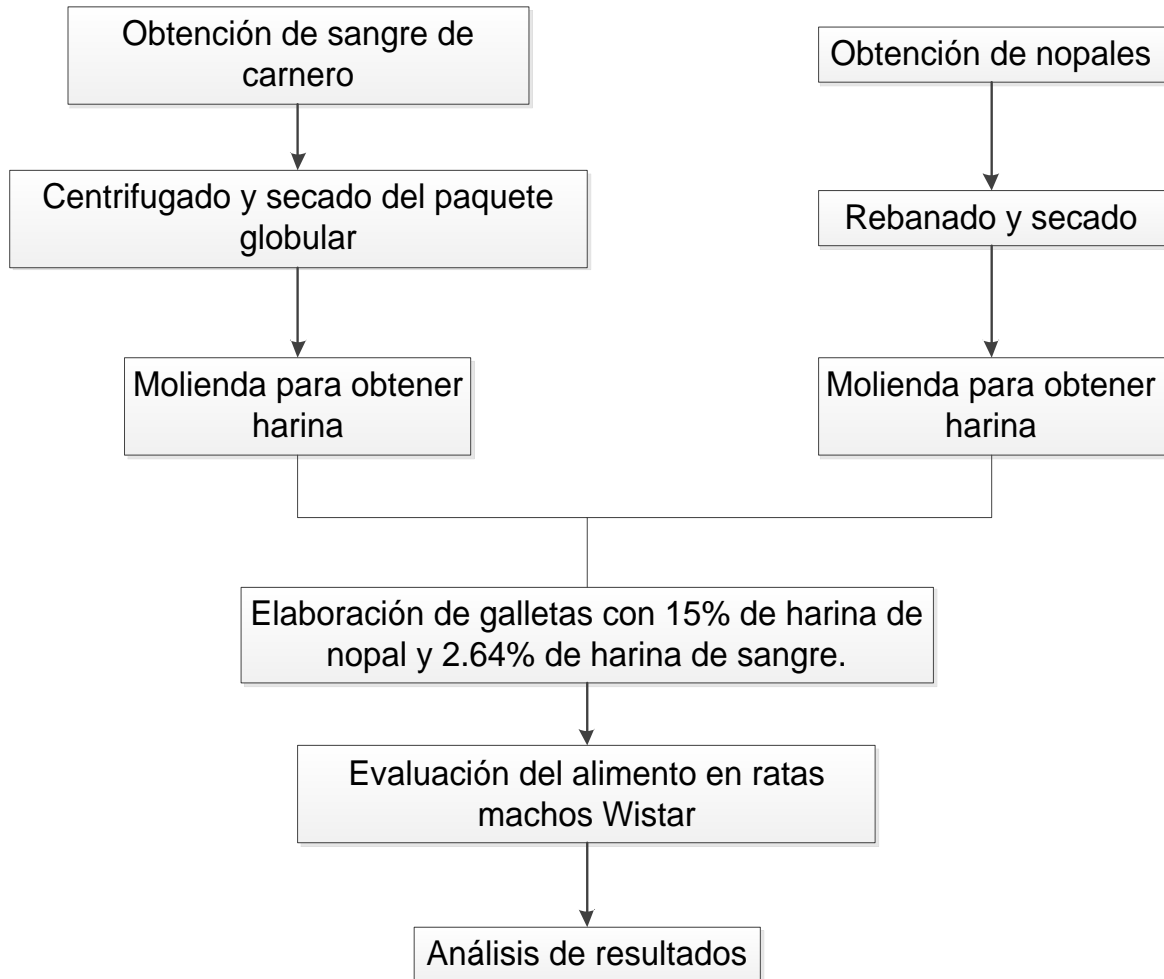
La harina de sangre es un subproducto de origen animal que se obtiene por deshidratación de la sangre proveniente de los mataderos; la recolección y utilización de la sangre colabora a la reducción de la contaminación de la carne y de los alrededores del matadero. Dentro de la composición de la harina de sangre encontramos: aminoácidos indispensables, minerales, vitaminas, grasa, fibra bruta.

La sangre es particularmente rica en hierro (en forma hemo), que es la forma biológica que se absorbe mejor en el intestino delgado del humano. La hemoglobina representa el 15% de la sangre (Duarte y Col. 1999)

La sangre seca representa un alimento del más alto contenido proteínico posible y es una poderosa fuente de vitaminas. La harina de sangre seca contiene más del 80% de proteínas. (Manuales para Educación Agropecuaria, 1998)

La elaboración de ésta requiere la cocción de la sangre, la compresión para eliminar el exceso de agua y la desecación para conseguir un producto granular de color marrón oscuro y seco (5-8% de humedad) (Ockerman y Hansen, 1994).

## 5. DIAGRAMA DE TRABAJO



## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

**6.1 Material de vidrio** el necesario para cada determinación.

**6.2 Material biológico:**

**6.2.1** Veinte ratas machos Wistar con un peso inicial entre 60 y 90g recién destetadas obtenidas del Bioterio Claude Bernard de la BUAP.

**6.2.2** Sangre de Carnero obtenida del rastro de la Cd. De Puebla

**6.2.3** Nopal pie de cría recolectado en el municipio de Quecholac (Puebla)

**6.3 Reactivos** los necesarios para cada determinación grado analítico o grado alimenticio

**Tabla 6 Métodos y referencias**

Determinación	Método	Referencia
Hemoglobina	Cianometahemoglobina	García y Villegas, 2006

### 6.4 Metodología

#### 6.4.1 Elaboración de harina de nopal

Del municipio de Quecholac (Puebla) se recolectaron pencas de nopal pie de cría completas, se quitaron las espinas y partes dañadas, se lavaron con suficiente agua y se secó con papel absorbente, quitando el exceso de agua y mucílago para facilitar el cortado, siguiendo lo propuesto por Santos y Urbina (2003) se rebanaron, utilizando una rebanadora para embutidos con un grosor de aproximadamente 2 a 3 mm para una mejor deshidratación la que se realizó en un horno de secado, durante 2 h a 70°C una vez obtenido el nopal deshidratado se procedió a molerlo. La harina así obtenida se conservó en un frasco cerrado en un ambiente seco y fresco hasta su uso.

#### 6.4.2 Elaboración de harina de sangre

En el rastro de la Cd. De Puebla una vez aturdidos los carneros se sometieron a degüello, la sangre se recolecto de manera aséptica, usando como anticoagulante citrato de sodio al 3.2%. La sangre recolectada se centrifugo a 2800 r.p.m. durante 20 min. El paquete globular obtenido se deshidrato sobre charolas de aluminio en estufa bacteriológica, a una temperatura de 50°C durante 2 h. El paquete globular desecado se molió y tamizó para la obtención de la harina la que se conservó en un frasco cerrado en un ambiente seco y fresco hasta su uso.

#### 6.4.3 Composición de la dieta para inducir anemia:

La dieta inductora de anemia se elaboró siguiendo las recomendaciones del Instituto Americano de Nutrición (AIN, 1977), la formulación se presenta en la tabla 7

**Tabla 7 Formulación de la dieta inductora de anemia**

COMPONENTE	g/Kg (en peso seco)
Caseína	200
D L - Metionina	3
Celulosa	50
Aceite de oliva	50
Suplemento de minerales *	35
Suplemento de minerales **	10
Cloruro de Colina	2
Sacarosa	500
Almidón	150

\* Fosfato ácido de potasio, Cloruro de sodio, Citrato de Potasio, Sulfato de Potasio, Óxido de Manganeso, Carbonato de Manganeso (43 – 48 % de Mn), Carbonato de Zinc (70% ZnO), Carbonato cúprico, Iodato de potasio, Selenito de sodio, Sulfato de potasio y cromo

\*\* Ácido nicotínico, Pantotenato de calcio. Vit. B<sub>6</sub>, Tiamina, Ácido fólico, Biotina, Vit. K, Vit. B<sub>12</sub> Vit. E, Vit. A, Vit. D<sub>3</sub>

#### 6.4.4 Elaboración de galletas con sangre de carnero y harina de nopal.

Para la elaboración de las galletas se empleó la formulación probada por Flores (2002) y que se presenta en la tabla 8.

**Tabla 8 Formulación de las galletas con sangre de carnero y harina de nopal**

Ingredientes	Cantidad
Harina de trigo	1 kilogramo
Harina de nopal	150 gramos
Harina de sangre	62 gramos
Aceite de oliva	300 miligramos
Cocoa	20 gramos

#### **6.4.5 Diseño experimental**

Se emplearon 20 ratas machos Wistar con un peso inicial entre 60 y 90g recién destetadas obtenidas del Bioterio de la BUAP, separadas en 4 lotes (cada rata en jaulas individuales); a 1 se le alimentó durante los primeros 28 días con alimento comercial (Siegler®) y agua purificada “*ad libitum*” (grupo control) los lotes restantes fueron alimentados con una dieta específica (AIN, 1977) libre de Fe para provocar el estado anémico dependiente de dicho mineral. El día 29 los lotes de ratas anémicas cambiaron su alimentación: a) alimento comercial y agua purificada, b) alimento comercial y solución de FeSO<sub>4</sub> (0.02%), c) alimento de prueba y agua desionizada, d) alimentación comercial. Se les determinó a todos los animales sus valores de hemoglobina por el método de cianometahemoglobina el día de inicio del experimento, a los 29 días y cada 4 días durante 15 días para evaluar la recuperación del estado anémico.

#### **6.4.6 Determinación de hemoglobina**

Las muestras de sangre de la cola de las ratas se recolectaron en tubos con EDTA como anticoagulante. Para la determinación de hemoglobina se empleó la técnica de Cianometahemoglobina en donde, el ferrocianuro potásico oxida la hemoglobina a hemiglobina (Hi; metahemoglobina), y el cianuro potásico proporciona los iones cianuro (CN-) para formar cianometahemoglobina (HiCN), que tiene una absorción máxima a una longitud de onda de 540 nanómetros. (García y Villegas 2006). Para la lectura se utilizó el equipo Espectronic Génesis 40001/4

### **6.4.7 Análisis Estadístico**

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el análisis de varianzas (ANOVA) y comparación de Tuckey empleando el software Minitab 14.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 Inducción de anemia

Los Animales identificados de acuerdo al tratamiento posterior, fueron colocados en jaulas individuales para disminuir la variabilidad de los resultados por el consumo de alimento debida a una competencia entre la población; la inducción de estado anémico se realizó durante 28 días provocando la disminución de los valores de hemoglobina inicial, los valores se presentan en la tabla 9

**Tabla 9 Inducción de anemia**

	A-N	A-SO <sub>4</sub>	A-Ga
Hb-inicial (mg/dL)	11.4	10.4	9.5
Hb-Anemia (mg/dL)	9.1	6.6	8.0
Diferencia	2.2	3.9	1.5

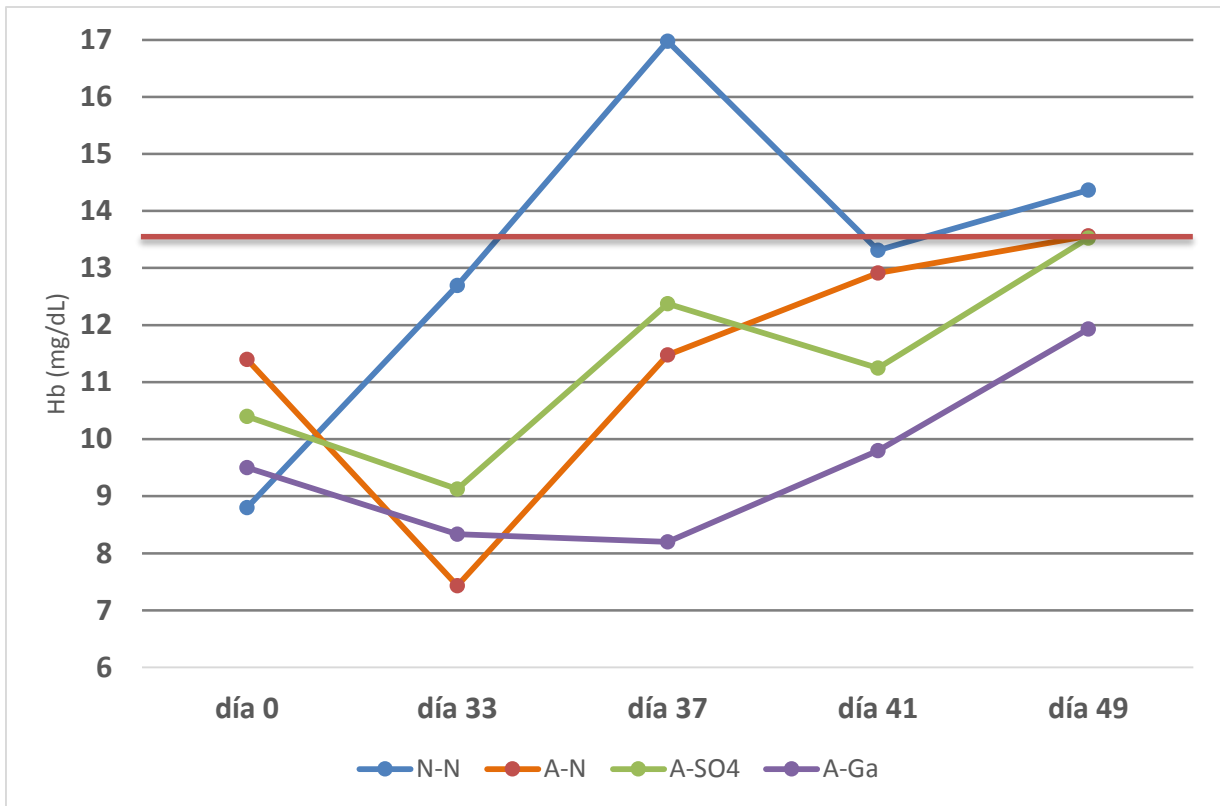
A-N = Alimento comercial; A-SO<sub>4</sub> = Solución 0.02% de FeSO<sub>4</sub>;  
A-Ga = Alimento de prueba

Se presentan los valores promedio de las ratas de cada lote, mismo que se conformó de acuerdo a sus valores iniciales de hemoglobina; se logró en cada lote la inducción de anemia aunque en proporciones diferentes lo que es atribuible a la variabilidad biológica de los individuos.

### 7.2 Corrección de la anemia

La realimentación de los grupos de ratas se hizo el día 29 del experimento, en promedio las ratas consumieron 20g de alimento de prueba lo que significa un consumo aproximado de 2.57mg de Fe<sup>+2</sup>-Hem/día; en la figura 3 se muestra la variación de hemoglobina (medida cada 4 días) presentada hasta el fin del experimento (día 49).

Como puede observarse, cada vez que se cuantificó la hemoglobina hay un aumento de la misma aunque, las diferencias según el análisis estadístico (Anexo 1) no determinó diferencias significativas entre cada grupo o entre grupos.



N-N = Grupo control; A-N = Alimento comercial; A-SO<sub>4</sub> = Solución 0.02% de FeSO<sub>4</sub>;  
 A-Ga = Alimento de prueba

Figura 3. Variación de Hemoglobina

— Valor normal de Hb

Empleando la ecuación propuesta por Haro y Col (2000) (Ec. 1) se determinó la eficiencia en la corrección de la anemia encontrando los resultados presentados en la tabla 10

$$\text{Regeneración de Hemoglobina} = \frac{\text{mg de Hb Final} - \text{mg de Hb inicial}}{\text{mg de Fe consumidos}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Tabla 10 Eficiencia en la regeneración de Hemoglobina

LOTE	Eficiencia en %
A-N	86.0
A-SO <sub>4</sub>	119.9
A-Ga	94.1

A-N = Alimento comercial; A-SO<sub>4</sub> = Solución 0.02% de FeSO<sub>4</sub>;  
 A-Ga = Alimento de prueba

La sangre constituye la fuente más importante de hierro hemínico ( $\text{Fe}^{+2}$ ), ya que en los eritrocitos se encuentra entre 85-90 % del mineral (30-40mg por kg. de peso). La harina de sangre de carnero empleada en la elaboración del alimento asegura la presencia del mineral al contar con 8-16% de hemoglobina (Hecker, 1983; Sckalm, 1964). Por otro lado, la fibra dietética aportada por la harina de nopal forma un retículo en el que el agua queda atrapada haciendo que la mezcla se gelifique (Insel y Col, 2003). Proporcionando a su vez una matriz en donde el complejo porfirina hierro puede quedar atrapado por interacciones electrostáticas, ofreciendo mayor resistencia a los procesos de desmetalización evitando que se oxide, como lo demostraron Santos y Urbina (2003), al lograr una retención del 67% en un producto de panificación. La harina de sangre empleada contenía 4.74mg de Fe-Hem/g por lo que cada 100g de alimento contenían 12.85 mg de  $\text{Fe}^{+2}$  y esta es la forma que en que se absorbe mejor una vez que las proteasas endoluminales o de la membrana del enterocito hidrolizan la globina (Folleyat y Col, 2000). Lo que permite explicar la corrección de la anemia en los animales alimentados con el alimento probado.

## **CONCLUSIÓN**

Las galletas enriquecidas en Fe a base de harina de nopal y harina de sangre de carnero fueron eficaces en el tratamiento de la anemia ferropriva inducida en ratas. Obteniendo un porcentaje de regeneración de hemoglobina del 94.1, superior al del alimento comercial.

## SUGERENCIAS

- Realizar prueba de digestibilidad in vitro para revisar que la fibra libere al Fe en el intestino.
- Probar en animales más grandes para probar digestibilidad in vivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIN (American Instituto of Nutrition). «Report of the AIN ad HOC Committee on standars for nutritional studies.» *J. Nutr.* 107 (1977): 1340-1348.
- Alvite, B.C. *Patologías asociadas a errores nutricionales*. Madrid: Fundación de Estudios y Formación Sanitaria, 1999.
- Berlitz, H., y W. Grosch. *Química de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, 1997.
- Boyle, M., y G. Zyla. *Personal Nutrition*. Third edition. West Publishing Company, 1996.
- Bravo, H.H., Sánchez, M.H. *Las cactáceas en México*. Vol. 3. México: Dirección General de Publicaciones UNAM, 1996.
- Bravo, H.H., Scheinvar, L. *El interesante mundo de las cactáceas*. Primera Edición. México: Fondo de Cultura Económica, 1995.
- Britton, N L, y J N Rose. *The cactaceae, descriptions and illustrations of plants of the cactus family*. Vol. 3 y 4. New York: Dover Publications, 1963.
- Byrd, S.L., y A.T. Oscar. *Trastornos del metabolismo del hierro en hematología clínica*. México: Editorial Interamericana, 1978.
- DIF. «Programa de orientación alimentaria: "Producción y procesamiento del nopal verdulero".» 1992.
- Duarte, R., M. Carvalho, y V. Sgarbieri. «"Bovine Blood Components: Fractionation, Composition, and Nutritive Value".» *J. Agric. Food Chem.* 47 (1999): 231-236.
- ENSANUT. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012*. Instituto Nacional de Salud Pública, 2012.
- Escudero, E, y González P. «La fibra dietética.» *Nutr. Hosp.* 21(2) (2006): 61-72.
- Flores, G. «Elaboración y caracterización de alimentos modelos fortificados con hierro hemínico.» Tesis de maestría en Tecnología de alimentos, Universidad de Habana - BUAP, 2002.

- Folleyat, Gautier, y Fernández. «Metabolismo del Hierro.» *Revista Cubana Hematol Inmunol Hemoter* 16 (2000).
- García, G.S., y G.M. Villegas. «Manual de prácticas de Hematología I.» Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2006.
- Haro, A., I. Lopez-Aliaga, F. Lisbona, M. Barrionuevo, M. J. M. Alferez, y M. S. Campos. «Beneficial Effect of Pollen and/or Propolis on the Metabolism of Iron, Calcium, Phosphorus, and Magnesium in Rats with Nutritional Ferropenic Anemia.» *J. Agric. Food Chem.* 48(11) (2000): 5715-5722.
- Hecker, J.F. «The Sheep as an Experimental Animal.» *Londres: Academic Press*, 1983: 1-216.
- Hernández, E.J.E. «Efecto del ácido giberélico sobre la maduración del fruto del nopal.» *Proc. Tropical Region America Soc. Hort. Sci.* 23 (1979): 48-50.
- IFST. «Dietary fibre.» *Food Science & Technology* 15(3) (2001): 34-37.
- Insel, P., R. Turner, y D. Ross. *Discovering Nutrition, American Dietetic Association.* Jones and Bartlett Publishers, 2003.
- Mahan, L., y S.S. Escott. *Nutrición y dietoterapia de Krause.* Décima edición. México: McGraw Hill, 2001.
- *Manuales para educación agropecuaria: "Subproductos animales".* Vol. Vol. 4. Editorial TRILLAS / SEP., 1998.
- Maxwell, M.W. «Déficit de hierro y anemia por déficit de hierro.» En *Hematología Clínica.* Buenos Aires, Argentina: Inter-médica, 1974.
- Molina, M., y M. Paz. «La fibra dietética procesada como alimento funcional.» *OFFARM* 26(1) (2007): 70-77.
- Ockerman, H.W., y C.L. Hansen. *Industrialización de subproductos de origen animal.* Zaragoza, España: Acribia , 1994.
- Price, J.F., y B.S. Schweigent. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos.* Zaragoza, España: Acribia , 1994.
- Redondo, M.L. *La fibra terapéutica.* Barcelona: Glosa ediciones, 1999.
- Report, AAC. «The difinition of dietary fiber.» *Cereal Foods World* 46(3) (2001): 112-126.

- Santos, y Urbina. «Elaboración y evaluación de un producto de panificación hecho a base de una mezcla de harinas de sangre de carnero y de nopal.» Tesis profesional Departamento de Bioquímica-Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2003.
- Sckalm, O.W. *Hematología veterinaria*. México: UTEHA, 1964.
- SEP. *Manuales para educación agropecuaria: Subproductos animales*. México: Trillas , 1998.
- Vázquez, A.G., y R.M. Cassab. «Alternativas para la utilización del nopal.» Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, 1993.
- Zarzuelo, Z.A., y P.J. Gálvez. «Fibra dietética.» En *Tratado de nutrición, bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición*, de Ángel Gil Hernández. México: Panamericana, 2008.

# ANEXOS

## PRUEBA DE ANOVA

18/01/2014 11:59:32

Welcome to Minitab, press F1 for help.

### One-way ANOVA: A-N, A-SO4, A-Ga

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	7.69	3.84	0.68	0.527
Error	12	68.28	5.69		
Total	14	75.97			

S = 2.385 R-Sq = 10.12% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A-N	5	10.900	2.605
A-SO4	5	10.560	2.750
A-Ga	5	9.240	1.650

8.0 9.6 11.2 12.8

Pooled StDev = 2.385

### Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons

Individual confidence level = 97.94%

A-N subtracted from:

	Lower	Center	Upper
A-SO4	-4.362	-0.340	3.682
A-Ga	-5.682	-1.660	2.362

-3.0 0.0 3.0 6.0

A-SO4 subtracted from:

	Lower	Center	Upper
A-Ga	-5.342	-1.320	2.702

-3.0 0.0 3.0 6.0