



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FUMARATO FERROSO EN LA CALIDAD  
NUTRIMENTAL DEL HUEVO DE GALLINA (*Gallus domesticus*)  
DESHIDRATADO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**DONOVAN RAUL RIOS HERNANDEZ**



**MÉXICO, D.F.**

**2013**



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:** Dr. Héctor Bourges Rodríguez  
**VOCAL:** M. en C. Lucia Cornejo Barrera  
**SECRETARIO:** QFB María de Lourdes Gómez Ríos  
**1er. SUPLENTE:** Dra. Iliana Elvira González Hernández  
**2° SUPLENTE:** Dra. Liliana González Osnaya

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**Laboratorio 4C Edificio A Depto. de Alimentos y Biotecnología, Bioterio del Conjunto E, Facultad de Química UNAM.**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

M. en C. Lucia Cornejo Barrera

**SUSTENTANTE:**

---

Donovan Raúl Ríos Hernández

**Esta Tesis forma parte del proyecto PAPIME PE203210 Desarrollo y validación de métodos biológicos empleados en la determinación de la calidad nutrimental de un alimento, basado en ganancia de peso corporal, balance de nitrógeno y biodisponibilidad.**

Indice	Página
1) INTRODUCCIÓN	1
2) OBJETIVOS	2
3) ANTECEDENTES	3
3.1) Producción y Consumo de Huevo en México	3
3.2) Estructura	4
4) HIERRO	13
4.1) Prevalencia de anemia en México	13
4.2) Fuentes principales de hierro presentes en los alimentos	14
4.3) Absorción	17
4.4) Funciones	18
4.5) Deficiencias	19
4.6) Recomendaciones	20
4.7) Compuestos de hierro agregados en productos	21
5) METODOLOGIA	24
5.1) Selección de la materia prima	25
5.2) Acondicionamiento de la materia prima	25
5.3) Caracterización de la materia prima	25
5.4) Métodos Biológicos	31
5.5) Análisis Estadístico	39
6) RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1) Composición	40
6.2) Métodos Biológicos	41
6.3) Calidad proteínica del huevo deshidratado	44
6.4) Balance	45
7) CONCLUSIONES	46
8) BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS	52

# 1. INTRODUCCIÓN

México es el sexto productor de huevo y primer consumidor de huevo para plato a escala mundial con 1.9 millones de toneladas anuales. Es muy apreciado por sus diversas formas de consumo y por sus componentes como: contenido de proteínas, perfil de aminoácidos, aporte de vitaminas y nutrimentos inorgánicos.

La comercialización de huevo para consumo humano conocido como huevo para plato, suele hacerse a través de tres vías principales, el 80% se comercializa a granel en los mercados tradicionales y centrales de abasto, el 14% en tiendas de autoservicio y el 6% se destina al uso industrial.

Debido a que el huevo es ampliamente producido y consumido en México y por la calidad proteínica del huevo entero deshidratado, se decidió utilizarlo como vehículo en la adición de hierro como fumarato ferroso. Con el objetivo de determinar la biodisponibilidad, además de la calidad proteínica del huevo deshidratado, se empleó ensayos biológicos como: Relación de la Eficiencia de la Proteína (REP), Relación Neta de la Proteína (RNP), Digestibilidad (D) y determinación de hierro en alimento y heces para conocer su biodisponibilidad, bajo las condiciones experimentales con las que se cuenta en el Bioterio de la Facultad de Química de la UNAM.

Los resultados obtenidos formarán parte de una base de datos sobre la calidad de distintas fuentes de proteína y biodisponibilidad de hierro determinados a través de los métodos biológicos anteriormente mencionados, para su consulta por los estudiantes de licenciatura de Química de Alimentos.

## 2. OBJETIVOS

### -Objetivo General

Evaluar la calidad proteínica del huevo de gallina (*Gallus domesticus*) deshidratado y la absorción de hierro mediante métodos biológicos y químicos con la finalidad de elaborar una base de datos sobre la calidad de distintas fuentes de proteína y biodisponibilidad de hierro, de consulta para los estudiantes de la carrera de Química de Alimentos.

### -Objetivos Específicos

- a) Cuantificar la composición bromatológica y hierro del huevo entero deshidratado.
- b) Corroborar la calidad proteínica del huevo entero deshidratado utilizando métodos biológicos: Relación de la Eficiencia de la Proteína (REP) y Relación Neta de la Proteína (RNP) para incluir dichos resultados en la base de datos.
- c) Determinar la absorción de hierro mediante un método biológico utilizando como vehículo huevo entero deshidratado.

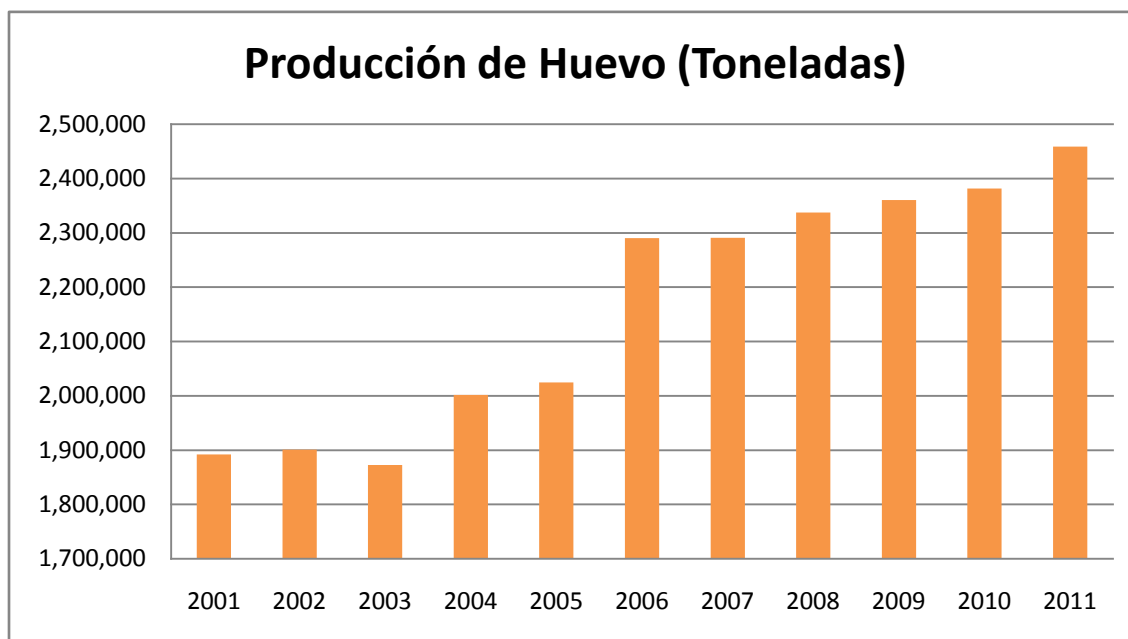
### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Producción y Consumo de Huevo en México

La historia de los egipcios y los chinos demuestra que existía un consumo de huevos desde el año 1400 a.C. Se cree que Cristóbal Colón llevó las primeras gallinas a América. (Gil, 2010)

México es el 6° productor de huevo y 1° consumidor de huevo para plato a escala mundial con 2.3 millones de toneladas anuales. El 81% de la producción se obtiene en 4 entidades del país las cuales son: Jalisco (50%), Puebla (18%), Sonora (7%) y Durango junto con Coahuila (6%). El consumo de huevo en los últimos diez años se ha mantenido en un intervalo de 15 a 18 kg/porcápita/año. (SAGARPA, 2012)

Gráfica 1. Producción Anual de Huevo en México



(SAGARPA, 2012)

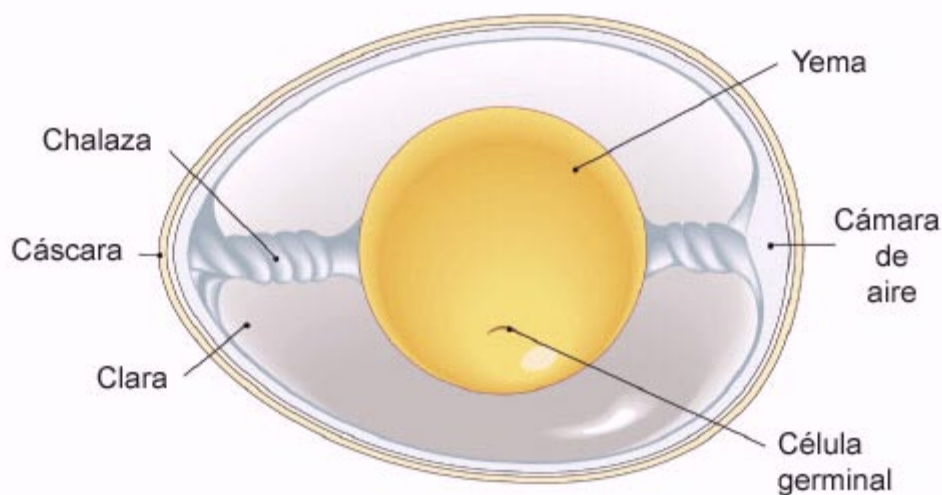


## 3.2 Estructura

El peso promedio de un huevo de gallina es de 58 g. Sus principales componentes son agua (74%), proteínas (12%) y lípidos (11%). (Belitz, 2009) La mayoría de los nutrimentos en el huevo son modificados por la edad, crianza, estación del año y la dieta de la gallina y la composición de los ácidos grasos, vitaminas y nutrimentos inorgánicos puede ser modificada por cambios en la composición de éstos en la dieta. (Ross, 2002)

El huevo tiene forma ovalada y consta de 6 partes como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Morfología del huevo



### 3.2.1 Cáscara

La cáscara de huevo es un "compuesto biocerámico natural" que consta de 3.5% de compuestos orgánicos y 95% de compuestos inorgánicos, como carbonato de

calcio. Se compone principalmente de cristales incrustados en una matriz orgánica o marco de fibras entrelazadas. (Arias, 1993, Daengprok, 2003)

El porcentaje de Ca, Mg y P contenido en la cáscara de huevo es de 3.81, 0.03 y 0.03 g/100 g de cáscara, respectivamente (Sugino, 1997). Además contiene un promedio de 0.024 g de ácido urónico/100 g de cáscara, el resto son glucosaminoglicanos. Los glucosaminoglicanos de la cáscara de huevo consisten en aproximadamente en un 48% de ácido hialurónico y el 52% galactosaminoglicanos. (Yoshinori, 2008)

### **3.2.2 Cámara de aire**

La cámara de aire es el espacio vacío entre la clara y el cascarón, en el extremo más ancho del huevo. Se forma al enfriarse el huevo después de ser puesto por la gallina.

Con el paso del tiempo la calidad del huevo se deteriora por lo que el tamaño de la cámara de aire aumenta debido a la pérdida de humedad, especialmente en ambientes cálidos y secos. Un huevo de buena calidad aproximadamente tiene una profundidad en la cámara de aire de 3 mm. (Srilakshmi, 2005)

### **3.2.3 Chalazas**

La estructura denominada chalaza está conformada por la capa calciferosa, estructura gelatinosa de albumen que cubre directamente la yema en el eje longitudinal del huevo, está a su vez se tuerce en ambos lados de la membrana de la yema, formando una gruesa cuerda. La chalaza se extiende en la capa de albumen grueso a ambos lados, por lo que la yema del huevo está suspendida en el centro (Okubo, 1997). Las chalazas son ligeramente elásticas y permiten una limitada rotación de la yema. (Romanoff, 1949)

### **3.2.4 Célula Germinal**

La célula germinal o también conocido como blastodermo se encuentra situada en la parte superior de la yema. La célula germinal es el material vivo citoplásmico el cual forma un pequeño disco. Este disco contiene cerca de 20, 000 células viables si el huevo es fértil. La célula germinal permanece en la superficie de la yema. Una vez puesto el huevo, la yema rota por lo que el disco germinal permanece en el extremo del huevo. (Bell, 2002)

### **3.2.5 Clara de huevo**

La clara de huevo es un fluido pseudoplástico cuyo principal componente es agua, aproximadamente de 84 a 89 g de agua/100 g de clara de huevo (Belitz, 2009). Las proteínas son el componente principal de los sólidos de la clara, que representa alrededor del 10 a 11%, mientras que los hidratos de carbono (principalmente glucosa), lípidos, y los nutrimentos inorgánicos son componentes minoritarios. (Li-Chan, 1989)

- **Proteínas**

La clara, es un medio relativamente pobre para el crecimiento microbiano debido a que contiene proteínas con propiedades antimicrobianas; entre ellas se incluyen inhibidores enzimáticos, inmunoglobulinas, proteínas fijadoras de vitaminas y la proteína fijadora de hierro, conocida en la actualidad como ovotransferrina (Robinson, 1991). En la tabla 1 se muestran las principales proteínas que constituyen la clara de huevo.

Tabla 1. Proteínas de la clara del huevo

Proteína	Porcentaje de los sólidos totales	Clasificación
<b>Ovoalbúmina</b>	54	Fosfo y glicoproteína
<b>Ovotransferrina</b>	13	Glicoproteína fijadora de hierro
<b>Ovomucoides</b>	11	Glicoproteínas inhibidoras de tripsina
<b>Lisozima</b>	3.5	Enzima
<b>Ovomucinas</b>	1.5	Glicoproteínas
<b>Ovoglicoproteína</b>	0.5	Glicoproteína
<b>Ovoinhibidores</b>	0.1	Inhibidor de proteasa, glicoproteínas
<b>Ovomacroglobulina</b>	0.5	Glicoproteínas, inmunogenico
<b>Otras globulinas</b>	4.0	
<b>Flavoproteína</b>	0.8	Rivoflavina, glicoproteína
<b>Avidina</b>	0.05	Glicoproteína

(Robinson, 1991)

Como se observa en la Tabla 1 la ovoalbúmina es la proteína más abundante en la clara de huevo con una proporción de 54 g/100 g de sólidos totales de la clara. Está tanto glicosilada como fosforilada en sus residuos de serina y la presencia de cuatro grupos sulfhidrilo la hacen muy reactiva y fácilmente desnaturizable. (Badui, 2006)

La conalbúmina, también llamada ovotransferrina, es la segunda proteína en orden de importancia constituyendo 13 g/ 100 g de sólidos totales de la clara del huevo. Contiene manosa y glucosamina, numerosos enlaces disulfuro (13 por molécula) y presenta la característica de ligar el hierro y otros iones metálicos, como aluminio, cobre y zinc. Se considera que esta acción secuestradora inhibe el crecimiento de microorganismos que requieren de dichos elementos para su desarrollo, particularmente en el caso de virus.

El ovomucoide (conformando 11 g/ 100 g de los sólidos totales en la clara) tiene un elevado porcentaje de hidratos de carbono como hexosaminas, hexosas y ácido siálico; contiene ocho enlaces disulfuro por molécula y no cuenta en su estructura primaria con residuos de triptófano o tirosina; es estable al calor y tiene la capacidad de inhibir la tripsina. Los hidratos de carbono presentes contribuyen a la estabilización térmica de la proteína.

La lisozima es una glicoproteína de 129 aminoácidos con actividad enzimática, de N-acetilmuramida-glucana-hidrolasa, también conocida como muramidasa capaz de catalizar la hidrólisis de los peptidoglicanos de las paredes de la mayoría de los microorganismos. (Robinson, 1991)

Finalmente la avidina es un tetrámero con un punto isoeléctrico alcalino, que presenta la capacidad de ligar una molécula de biotina por cada monómero, mediante uniones no covalentes, lo que le confiere mayor estabilidad a la desnaturalización; el complejo se disocia durante los tratamientos térmicos comunes que recibe el huevo cuando se va a consumir. (Badui, 2006)

En la tabla 2 se muestra el contenido de aminoácidos indispensables de la clara de huevo y de la caseína, se observa que la clara de huevo reporta mayor cantidad de aminoácidos, esto confirma que es de mayor calidad proteínica que la caseína.

Tabla 2. Composición de Aminoácidos de la clara de huevo y de caseína (**g de aminoácido/100 g de proteína**)

<b>Aminoácido</b>	<b>Clara de huevo</b>	<b>Caseína</b>
<b>Aminoácidos Indispensables</b>		
<b>Leucina</b>	1.016	0.607
<b>Valina</b>	0.809	0.430
<b>Lisina</b>	0.806	0.518
<b>Fenilalanina</b>	0.686	0.334
<b>Isoleucina</b>	0.661	0.345
<b>Arginina</b>	0.648	0.239
<b>Treonina</b>	0.449	0.297
<b>Metionina</b>	0.399	0.178
<b>Histidina</b>	0.290	0.186
<b>Triptófano</b>	0.125	No determinado

(Yoshinori, 2008)

- **Lípidos**

La clara de huevo se caracteriza por un bajo contenido de lípidos, alrededor de 0.03 g/ 100 g de clara de huevo en base húmeda. Los principales ácidos grasos en los lípidos de la albúmina son palmítico, oleico, linoleico, araquidónico y ácido esteárico. (Watkins, 2003)

- **Hidratos de Carbono**

La glucosa es el principal hidrato de carbono que constituye la clara de huevo aproximadamente en un 0.8-1 g/ 100 g de clara de huevo en base húmeda. Se elimina por fermentación antes de la desecación de la clara de huevo para prevenir el pardeamiento provocado por la reacción de Maillard. (Koketsu, 1997)

- **Nutrientes Inorgánicos**

Los principales nutrientes inorgánicos contenidos en la clara de huevo son azufre, potasio, sodio, cloro; fósforo, calcio y magnesio (Tabla 3). La relación de

los nutrimentos inorgánicos anteriores con respecto a los contenidos en el huevo entero son apreciables.

En general, la mayor concentración de nutrimentos inorgánicos, tales como Cu, Zn, Mg, Ca, Se y Fe se encuentran en huevos producidos ruralmente al contrario de los de granja (Jacobs, 1993).

Tabla 3. Nutrimentos inorgánicos en huevo entero y clara de huevo

<b>Constituyentes</b>	<b>Huevo entero (mg / 100g)</b>	<b>Clara de Huevo (mg / 100g)</b>
<b>Ca</b>	29.2	3.8
<b>Cl</b>	96.0	66.1
<b>P</b>	111	8
<b>K</b>	74	57
<b>Na</b>	71	63
<b>Mg</b>	6.33	4.15

<b>Constituyentes</b>	<b>Huevo entero (µg / 100g)</b>	<b>Clara de Huevo (µg / 100g)</b>
<b>Cu</b>	33	9
<b>I</b>	26	1
<b>Fe</b>	1080	53
<b>Mn</b>	21	2

(Watkins, 2003)

### 3.2.6 Yema

La yema es la porción amarilla del huevo, comprende la tercera parte del peso total del huevo, su color está determinado principalmente por la dieta de la gallina. La yema se encuentra recubierta por una membrana transparente denominada saco vitelino, que la separa de la clara y la protege de una posible rotura. Puede presentar una mancha rojiza, que corresponde al disco germinativo, a partir del cual se desarrollara el pollo en caso de que el huevo haya sido fecundado.

La yema se forma durante los últimos 10 a 12 días antes de la expulsión del huevo.

La composición del extracto seco de la yema es aproximadamente 31.1 g de proteína/100 g de extracto seco y 65.8 g de lípidos/100 g de extracto seco (la composición de los lípidos en el extracto seco es 67 g de triglicéridos/100 g de lípidos y 28 g de fosfolípidos/100 g de lípidos. (Stadelman, 1995)

- **Proteínas**

La yema de huevo contiene aproximadamente 16 g de proteína/100 g de yema en base húmeda, entre las que se encuentran lipoproteínas de alta densidad (HDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). (Yoshinori, 2008)

Las proteínas de la yema se pueden separar en dos fracciones: gránulos y plasma. Dentro de las proteínas presentes en la fracción de gránulos se encuentran:

Lipovitelininas (68%). Son lipoproteínas de alta densidad ricas en azufre. La fracción lipídica representa un 20%, la cual está compuesta por 35% de triglicéridos, 60% de fosfolípidos y un 5% de colesterol.

Fosvitina (4%). Es una proteína con gran cantidad de fósforo, rica en serina (30%), no contiene cisteína y fija fácilmente el hierro, formando un complejo soluble que contribuye al transporte de hierro en la yema. También interactúa con magnesio y calcio.

Lipoproteínas de baja densidad (16%). Estas lipoproteínas son pobres en cisteína, contienen un 84 % de lípidos, de los cuales un 31 % son fosfolípidos, un 3,7 % es colesterol y un 65 % son triglicéridos. (Gil, 2010)

En el plasma se encuentran: las livetinas y las lipovitelininas de baja densidad, que constituyen la mayor proporción del peso seco.

- Livetina (10%). Es una proteína globular hidrosoluble que puede separarse en varias fracciones alfa, beta, gamma. Se comporta de modo idéntico a las proteínas del suero sanguíneo. (Gil, 2010)



- Lipovitelinas (16%). Son lipoproteínas de baja densidad pobres en cisteína. Presentan un 88% de lípidos (un tercio de fosfolípidos y dos de lípidos neutros y colesterol). Los fosfolípidos son principalmente fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina. (Gil, 2010). Las lipovitelinas se sintetizan y ensamblan en el hígado como proteínas de muy baja densidad. Se cree que las proteínas de la yema podrían tener una actividad antitrombótica, al inhibir la agregación plaquetaria y la formación de fibrina. Debe señalarse que las proteínas del huevo, en particular las de la clara, se consideran alérgenos importantes al reaccionar con inmunoglobulinas. (Badui, 2006)

Al igual que sucede con la clara de huevo, la cantidad de aminoácidos en la yema es mayor que en la caseína (Tabla 4).

Tabla 4. Composición de Aminoácidos de la yema de huevo y de caseína (**g de aminoácido/100 g de proteína**)

<b>Aminoácido</b>	<b>Yema</b>	<b>Caseína</b>
<b>Aminoácidos Indispensables</b>		
<b>Leucina</b>	1.399	0.607
<b>Valina</b>	0.949	0.430
<b>Lisina</b>	1.217	0.518
<b>Fenilalanina</b>	0.681	0.334
<b>Isoleucina</b>	0.866	0.345
<b>Arginina</b>	1.099	0.239
<b>Treonina</b>	0.687	0.297
<b>Metionina</b>	0.378	0.178
<b>Histidina</b>	0.416	0.186
<b>Triptófano</b>	0.177	No cuantificado

(Yoshinori, 2008)

- **Lípidos**

Los lípidos son los componentes principales conformando del 32-36 g/ 100 g de los sólidos de yema de huevo. La composición de lípidos en la yema de huevo es aproximadamente de 65% de triglicéridos, 28-30% de fosfolípidos, y 4-5% de colesterol. (Yoshinori, 2008). Los fosfolípidos predominantes son lecitinas, aunque también contienen pequeñas cantidades de cefalinas, lisofosfatidilcolinas y esfingomielinas.

(Coultate, 1998)

- **Hidratos de Carbono**

El contenido de hidratos de carbono en la yema de huevo es de aproximadamente 0.7-1.0 g/ 100 g de sólidos de yema de huevo. La glucosa conforma el 0.3 g, mientras que el resto se encuentra en forma de glicoproteínas y glicolípidos (Koketsu, 1997). El ácido N-acetilneuramínico es un componente común de estos glicoconjugados, principalmente de la membrana de la yema. (Nakano, 1996)

## **4. HIERRO**

### **4.1 Prevalencia de anemia en México**

La prevalencia de anemia observada durante el 2012 en preescolares (12 a 59 meses de edad) a escala nacional fue de 23.3%, por lo que representa a 2 millones de niños anémicos.

Mientras que en el grupo de escolares (5 a 11 años de edad) la prevalencia calculada fue de 10.1%, por lo que alrededor de 1 millón de niños sufren de anemia.

En el grupo de adolescentes (12 a 19 años de edad) de ambos sexos la prevalencia fue de 5.6%, lo cual representa a 1 millón de adolescentes.

De las mujeres en edad reproductiva a escala nacional, se sabe que 17.9% de las mujeres embarazadas y 11.6% de las no embarazadas fueron clasificadas como

anémicas, lo anterior representa a 210 mil mujeres embarazadas y a 3 millones de mujeres no embarazadas con anemia en el país.

En adultos de 50 años o más, la prevalencia nacional de anemia en este grupo de población fue de 17.8% en hombres y 15.4% en mujeres. Con lo cual se puede inferir que en todo el país aproximadamente 927 mil hombres y 909 mil mujeres padecen anemia. (ENSANUT, 2012)

Resulta importante señalar que aunque el huevo es de origen animal es una fuente de hierro no hematóxico, por lo tanto no ejerce un efecto promotor de la absorción del resto del hierro ingerido en la dieta, a diferencia de otros alimentos de origen animal los cuales son de tipo hematóxico.

Por su parte el hierro consumido tanto en la dieta como el administrado en sales de hierro con el propósito de corregir un problema de deficiencia, está sujeto al control de los factores que facilitan o impiden que se absorba en mayor o menor proporción. (Casanueva, 2008)

## **4.2 Fuentes principales de hierro presentes en los alimentos**

Las mejores fuentes de hierro son las carnes (res, cerdo, vísceras y pescado) (Tabla 5), debido a que contienen una mayor cantidad de hierro hematóxico, el cual, tiene una elevada biodisponibilidad. (Ramakrishnan, 2000)

Algunos de los alimentos de origen vegetal que contienen un alto contenido de hierro no hematóxico son los cereales, leguminosas, algunas oleaginosas y frutos secos como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5. Fuentes de hierro hematóxico en los alimentos

Contenido en 100 g	Alimento
Alto > 3 mg hierro hematóxico	Vísceras: hígado (cerdo, res, pollo), pulmón, riñón Carne seca de res Armadillo, acociles Mariscos: almeja, ostión, camarón seco
Medio 1.2 a 3 mg hierro hematóxico	Lengua de res Pescado: mojarra Molleja de pollo Iguana, conejo, venado Ternera
Bajo < 1.2 mg hierro hematóxico	Pescado: atún Pescado seco: charal, bacalao Carne de res: aguayón, falda, cecina, sesos Pato

(Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana, 2005)

Tabla 6. Fuentes de hierro no hematóxico y su biodisponibilidad.

Contenido en 100 g	Alimento
<p style="text-align: center;">Alto &gt; 7 mg</p>	<p><b>ALTA BIODISPONIBILIDAD</b> Hojuelas de maíz Chiles Secos: ancho, morita, pasilla, chipotle, mulato, guajillo</p> <p><b>BAJA BIODISPONIBILIDAD</b> Cereales adicionados listos para comer (altos en fibra), salvado de trigo Soya, frijol blanco, frijol ojo de liebre, alubia Ajonjolí, semilla de calabaza</p>
<p style="text-align: center;">Medio 3 a 7 mg</p>	<p><b>ALTA BIODISPONIBILIDAD</b> Amaranto, pasta de trigo adicionada con espinaca o huevo Yema de huevo Semilla de girasol Romeritos, perejil, guaje verde, quelite, ejote, berro Lenteja, garbanzo</p> <p><b>BAJA BIODISPONIBILIDAD</b> Germen de trigo Frijol azufrado, bayo, negro, haba seca Avellana, cacahuete</p>
<p style="text-align: center;">Bajo &lt; 3 mg</p>	<p><b>ALTA BIODISPONIBILIDAD</b> Pan de trigo (dulce y salado) Hojas de chaya, flor de calabaza, flor de colorín, papaloquelite, bledos, poro, huauzontle Nanche, capulín, zapote borracho Leche fresca de vaca, queso maduro y queso fresco</p> <p><b>BAJA BIODISPONIBILIDAD</b> Arroz, pasta de trigo no adicionada Nuez de castilla</p>

(Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana, 2005)

### 4.3 Absorción

La cantidad de hierro absorbido a partir de la dieta por el organismo está determinada por: 1) las reservas corporales de hierro, 2) el contenido de hierro hematómico y no hematómico de la dieta, y 3) el balance entre factores promotores (ácido ascórbico y  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) e inhibidores (fitatos, polifenoles, proteínas vegetales, fibra y calcio) de la absorción de hierro, los cuales influyen principalmente en el hierro no hematómico. (Hallberg, 2000)

Existen dos rutas de absorción de hierro: 1) La ruta hematómica es la utilizada para absorber el hierro proveniente de la hemoglobina y la mioglobina que se encuentra en los tejidos animales consumidos en la dieta; 2) La ruta de absorción no hematómica utilizada para la absorción de las sales de hierro contenidas en las verduras y cereales.

La mayoría del hierro consumido en verduras y cereales se encuentra en forma de hierro no hematómico, el cual se solubiliza en el medio ácido del estómago y es reducido de la forma férrica ( $\text{Fe}^{+3}$ ) a la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{+2}$ ) por sustancias como el ácido ascórbico en la superficie de los enterocitos. Posteriormente, el hierro es transportado al enterocito. El hierro no hematómico ingresa a la “reserva intracelular de hierro” (Linder, 1991). En la superficie de los enterocitos, el hierro puede formar enlaces con sustancias como los fitatos y otros inhibidores, las cuales impiden su absorción. (Han, 1995)

Por el contrario, el hierro hematómico se absorbe en condiciones alcalinas y no es afectado de manera importante por inhibidores o promotores de la absorción. Esta forma de hierro es absorbida por el enterocito, sin que hasta el momento se haya descubierto ningún receptor ni transportador específico del hierro hematómico en humanos. Después de ser incorporado a la célula, el hierro hematómico es liberado y pasa a formar parte de la “reserva intracelular de hierro”. (Baynes, 1990)

Una vez incorporado al enterocito, el hierro intracelular se une a la transferrina y es transportado a través del plasma a todas las células corporales. Cuando las

reservas de hierro son bajas, disminuye la saturación de transferrina a menos de 15%; de esta forma, la cantidad disponible de hierro en el plasma es menor. El hierro es almacenado en forma de ferritina y hemosiderina, sobre todo en el hígado, el bazo y la médula espinal. (Bothwell, 1979)

## **4.4 Funciones**

El hierro es un nutrimento inorgánico. El cuerpo humano, contiene entre 2.5 y 4 g de este nutrimento inorgánico. (Linder, 1991). El 60% del hierro se encuentra en forma de hemoglobina, mientras que otro 25% forma parte de las reservas de éste nutrimento inorgánico en el organismo. El 15% restante se localiza en la mioglobina muscular y forma parte de algunas enzimas. (Beard, 2001)

El hierro forma enlaces biológicos principalmente con átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre, participando de esta manera en un gran número de reacciones bioquímicas. (Beard, 2001). Estas reacciones pueden ser de tres tipos: transporte y almacenamiento de oxígeno, transferencia de electrones y oxidación-reducción de sustratos. En los mamíferos existen proteínas que llevan a cabo dichas reacciones:

- Hemoproteínas no enzimáticas: hemoglobina, mioglobina y citocromos.
- Proteínas de almacenamiento y transporte de hierro: ferritina, lactoferrina, transferrina y hemosiderina
- Ferroenzimas no azufradas.

Las principales funciones del hierro son el transporte de oxígeno a los tejidos y la transferencia de electrones en el metabolismo energético. También está relacionado con la replicación celular, la acción de algunas hormonas y participa en el sistema inmune. (Linder, 1991)

Por otro lado el hierro es necesario para la mielinización de la médula espinal y el cerebro y es cofactor de numerosas enzimas participantes en la síntesis de neurotransmisores y de ADN. La deficiencia de hierro puede alterar directa o

indirectamente la función cerebral, aunque diversos estudios no han sido capaces de demostrar este efecto.

El hierro es un nutrimento indispensable para el funcionamiento celular, por lo tanto, para cubrir las demandas celulares de hierro y prevenir su acumulación se requiere de un sistema de regulación altamente complejo. (Beard, 2001)

La regulación del hierro es mediante el control de la absorción. Independientemente de su forma, el hierro transportado por los eritrocitos se convierte en parte de la reserva de hierro total. Desde esta reserva, el hierro puede almacenarse en los eritrocitos como parte de la ferritina (proteína de almacenamiento de este nutrimento inorgánico), o puede transportarse a través de la membrana de los eritrocitos mediante la ferroportina (transportador del hierro que ayuda a regular la absorción intestinal del hierro y la liberación de hierro de los eritrocitos a la circulación) hasta el líquido intersticial, desde donde puede acceder a la circulación. El hierro que viaja hasta el líquido intersticial es la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ), pero se convierte rápidamente en hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) mediante la hefaestina (proteína rica en cobre). Después el hierro es transportado a través de la membrana basolateral por la ferroportina de la membrana celular basal del intestino o la ceruloplasmina (proteína transportadora de cobre en el organismo). La ceruloplasmina también desempeña un papel en la oxidación del hierro del estado ferroso al férrico ( $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ ) de la sangre. El hierro en estado férrico se fija rápidamente a la transferrina, la principal proteína de transporte de hierro de la sangre. A continuación, la transferrina transporta el  $\text{Fe}^{3+}$  a las células del cuerpo, que poseen receptores de transferrina en la superficie que atraen a la transferrina y permiten el transporte de hierro a la célula. De este modo, las células pueden regular la cantidad de hierro que absorben de la sangre. (Vaughan, 2008)

## **4.5 Deficiencias**

El aporte insuficiente de hierro tiene consecuencias funcionales que son el resultado de: 1) el aporte inadecuado de oxígeno a los tejidos por baja concentración de la hemoglobina circulante, y 2) disminución en la actividad



funcional de las enzimas y tejidos en los cuales está involucrado el hierro. (Nestel, 2002)

## 4.6 Recomendaciones

En la tabla 7 se mencionan los valores de ingestión sugerida en las diferentes etapas de la vida (Bourges, 2005). Esta tabla incluye los valores sugeridos durante el embarazo, pero debido a que la necesidad de hierro durante esta etapa fisiológica es mayor se recomienda suministrar suplementos de hierro a las mujeres embarazadas durante la segunda mitad del embarazo.

Tabla 7. Ingestión sugerida de hierro para la población mexicana. (mg /día)

<b>Ingestión diaria sugerida de Hierro para la población Mexicana</b>	
<b>Edad y Sexo</b>	<b>Hierro (mg/día)</b>
<b>Niños</b>	
<b>0 a 6 meses</b>	Sin información
<b>7 a 12 meses</b>	16
<b>1 a 3 años</b>	13
<b>4 a 8 años</b>	15
<b>Hombres</b>	
<b>9 a 13 años</b>	20
<b>14 a 18 años</b>	22
<b>19 a 30 años</b>	15
<b>31 a 50 años</b>	15
<b>51 a 70 años</b>	15
<b>&gt; 70 años</b>	15
<b>Mujeres</b>	
<b>9 a 13 años</b>	16
<b>14 a 18 años</b>	22
<b>19 a 30 años</b>	21
<b>31 a 50 años</b>	21
<b>51 a 70 años</b>	12
<b>&gt; 70 años</b>	12
<b>Embarazadas</b>	28
<b>Lactantes</b>	17-25

(Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana, 2005)

## **4.7 Compuestos de hierro agregados en productos**

El hierro, es un elemento sumamente reactivo que puede afectar negativamente las propiedades sensoriales de los alimentos en los que es adicionado. La compatibilidad tecnológica y el vehículo alimentario, son factores importantes para considerar el tipo de compuesto y concentración que se debe agregar. También es necesario conocer la vida de anaquel del producto alimentario y los compuestos que se forman durante su deterioro, condiciones climáticas y preferencias del consumidor. En la tabla 8 se resumen las características de los diferentes compuestos de hierro.

Tabla 8. Características de los compuestos de hierro usados en la industria alimentaria.

Compuestos de Hierro					
Características	Solubles en agua	Soluble en soluciones ácidas	Poco soluble en soluciones ácidas	Compuestos quelatados	Compuestos encapsulados
Ejemplos	Sulfato ferroso	Fumarato ferroso	Hierro electrolítico	NaFeEDTA Bisglicinato ferroso	Sulfato ferroso encapsulado Fumarato ferroso encapsulado
Reactividad con la matriz alimentaria	Alta	Intermedia	Muy Baja	Baja a Intermedia	Baja
Biodisponibilidad con respecto al sulfato ferroso	Equivalente 100%	Equivalente 100%*	Baja 20-50%	Equivalente a Mayor 100-300%	Equivalente 100%**
Costo basado en contenido de hierro	Intermedio	Intermedio	Bajo	Alto a Muy Alto	Intermedio a Alto
Costo basado en contenido de hierro y biodisponibilidad	Bajo	Bajo	Intermedio	Alto	Intermedio

(Programa de Alimentación y Nutrición, 2002)

\*La biodisponibilidad de este compuesto depende de la acidez de los jugos gástricos y podría no ser siempre equivalente a la del sulfato ferroso.

\*\*El material usado para la cápsula y el espesor de la misma pueden variar. Todos los compuestos encapsulados pueden no tener una biodisponibilidad equivalente a la del sulfato ferroso.

## 4.7.1 Fumarato Ferroso

Formula molecular.  $C_4H_2FeO_4$

Masa molecular relativa. 169.9 g/mol

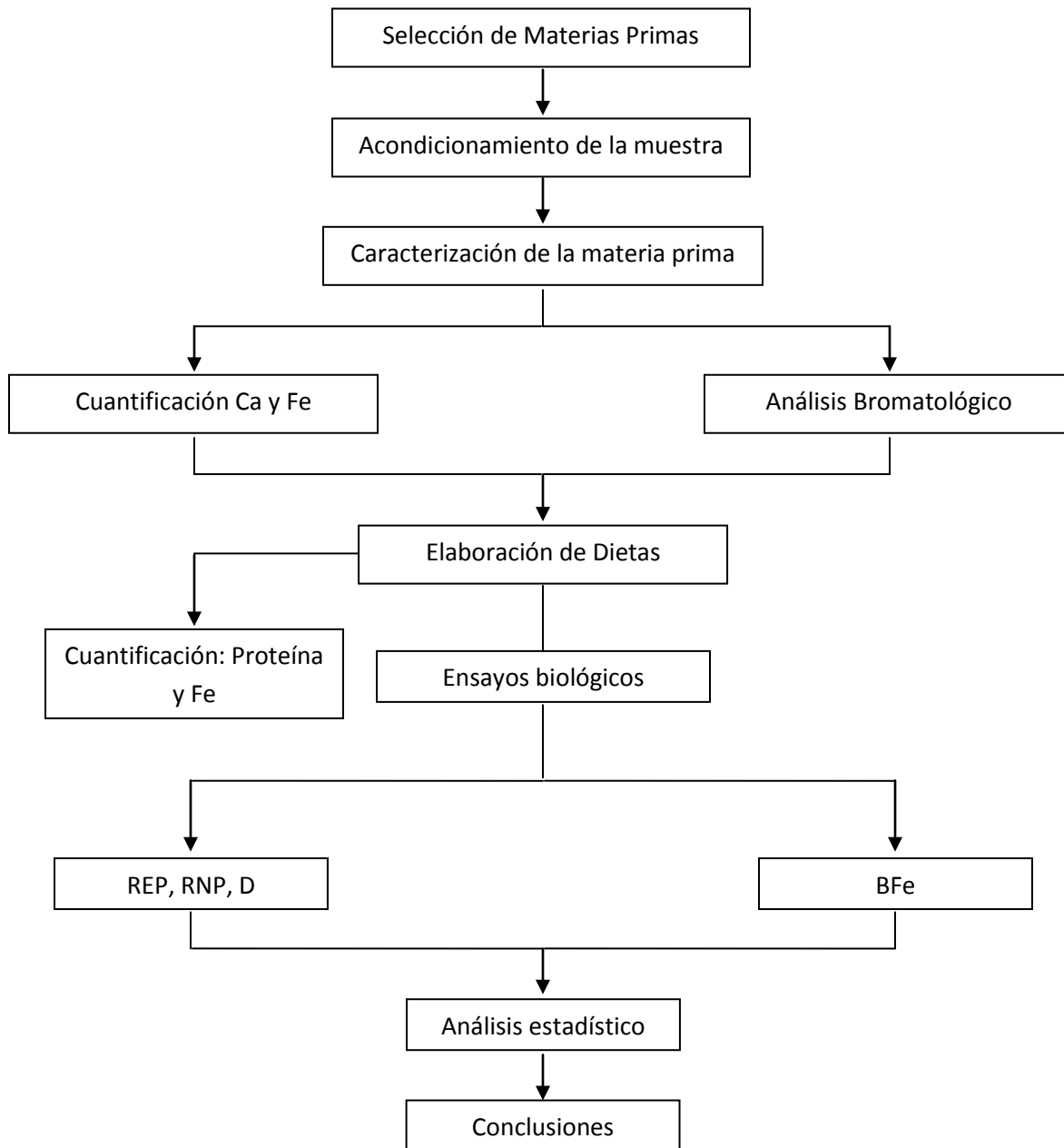
El fumarato ferroso es considerado como un compuesto poco soluble en agua pero soluble en soluciones ácidas, como por ejemplo el jugo gástrico. Ha demostrado una absorción del 100% en los adultos y púberes, pero los datos recientes indican que se absorbe menos en las personas con una concentración de ácido gástrico inferior, particularmente en niños en edad preescolar.

Dentro de las ventajas que ofrece se encuentra que tiene una baja interacción con la matriz alimentaria, y por lo tanto causa menos cambios sensoriales. Se usa generalmente en los “cereales” para niños, las bebidas de chocolate y algunos productos para el periodo de ablactación a base de cereal disponibles en el mercado. (Programa de Alimentación y Nutrición, 2002)

En América latina, la adición de nutrimentos inorgánicos a los alimentos se practica ampliamente y puede clasificarse en tres tipos de programas: 1) la adición obligatoria de los alimentos de consumo masivo, como la harina de trigo y de maíz; 2) adición focalizada para grupos determinados, como por ejemplo cereales para niños y productos que forman parte de programas de bienestar social, leche en polvo y productos para almuerzos escolares, como los atoles y las galletas; y 3) adición voluntaria, por la cual la industria agrega hierro y otros nutrimentos inorgánicos a los alimentos procesados, como los cereales para el desayuno. (Programa de Alimentación y Nutrición, 2002)

## 5. METODOLOGÍA

Figura 2. Diagrama general



PER: Relación de la Eficiencia proteínica.

NPR: Relación Neta de la Proteína.

D: Digestibilidad aparente.

BFe: Balance de Hierro.

## **5.1 Selección de la materia prima.**

Se adquirió para el estudio huevo blanco, de la especie *Gallus gallus domesticus* de la marca comercial Bachoco ®

## **5.2 Acondicionamiento de la materia prima.**

Material:

- Charolas de Aluminio
- Estufa
- Olla
- Tamiz No. 20

Someter a cocción 2 kg de huevo blanco de gallina de la especie *Gallus gallus domesticus* a una temperatura de 100 °C durante una hora, en una olla colocando agua hasta cubrir el huevo. Una vez cocido quitar el cascarón, pesar la muestra, después triturar la muestra y posteriormente colocar en una charola. Secar en un horno de circulación a una temperatura de 60 °C. La muestra debe perder el exceso de humedad para poder moler y obtener un polvo con un tamaño de partícula de 0.84 mm con ayuda de un tamiz No. 20.

## **5.3 Caracterización de la materia prima.**

### **5.3.1 Análisis químicos**

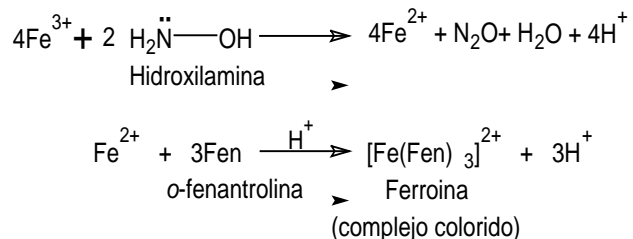
El análisis bromatológico del huevo deshidratado se realizó por triplicado siguiendo la metodología descrita por la AOAC: humedad por el método de Spencer (N° 950.01), cenizas por el método de incineración (N° 923.03), proteína bruta por el método de Kjeldahl (N° 960.52) y grasa bruta por el método de Goldfish (N° 920.85). Los hidratos de carbono se cuantificaron por diferencia con base en el esquema de Wende (AOAC, 2005). Se cuantificó el contenido de hierro por el método colorimétrico con o-fenantrolina (N° 944.02). Finalmente se

cuantificó el contenido calcio por medio de la titulación con permanganato (N° 944.03)

### 5.3.2 Método de cuantificación de hierro

#### Fundamento

El hierro presente en los alimentos queda en las cenizas después de la calcinación. Se redisuelve con HCl y se reduce de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  con ayuda del clorhidrato de hidroxilamina. La forma reducida genera un compuesto de color anaranjado con la o-fenantrolina estable a pH de 4 que absorbe a 530 nm. (Boumans *et al*, 1997)



#### Material

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

#### Equipo

- Espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10 Uv)
- Mufla (Thermolyne, Type 1500 furnace)
- Parrilla de calentamiento (LABCONCO Mod. 61354)

## Reactivos

- Solución buffer de acetatos, pH 4
- Solución de clorhidrato de hidroxilamina al 10%
- Solución estándar de hierro (0.01 mg/mL)
- Solución de *o*-fenantrolina al 1%

## Preparación de reactivos

- 1) Solución buffer de acetatos, pH 4: disolver 8.3 g de acetato de sodio anhidro y adicionar 12 mL de ácido acético concentrado. Aforar a 100 mL con agua destilada.
- 2) Solución de clorhidrato de hidroxilamina: disolver 10 g de la sal en agua destilada y llevar a un volumen de 100 mL.
- 3) Solución estándar de hierro (0.01 mg/mL): disolver 3.512 g de sulfato de hierro y amonio [ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; P.M. 392.14 g] en agua destilada adicionando previamente unas gotas de HCl y aforar a 500 mL. Se toman 10 mL de dicha solución y se llevan a 1 L con agua destilada.
- 4) Solución de *o*-fenantrolina: disolver 0.1 g en 80 mL de agua destilada a 80°C, enfriar y aforar a 100 mL con agua destilada.

## Procedimiento

Pesar por duplicado 3.5 g aproximadamente de la muestra en un crisol (previamente puesto a peso constante) hasta obtener cenizas. Para ello primero calcinar la muestra con mechero bajo la campana de extracción y posteriormente, incinerar en la mufla a 550°C hasta obtener peso constante y el color de las cenizas homogéneo. Dejar enfriar los crisoles y adicionar 2 mL de HCl concentrado para disolver las cenizas, volver a calentar en una parrilla hasta sequedad en la campana y dejar enfriar los crisoles. Después añadir 1 mL de HCl concentrado y 3.5 mL de agua destilada. Disolver las cenizas en su totalidad. Trasvasar el líquido a un matraz aforado de 50 mL, y lavar el crisol con agua destilada por dos ocasiones, evitar pérdidas. Finalmente aforar y filtrar. Del filtrado tomar tres alícuotas de 10 mL y adicionar los siguientes reactivos en el orden



indicado: 1 mL de clorhidrato de hidroxilamina, (agitar); 5 mL de buffer de acetatos y 1 mL de o-fenantrolina (agitar). Dejar reposar la mezcla de reacción 15 minutos y leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 530 nm.

Elaboración de la curva patrón

Para elaborar la curva patrón tomar 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 y 8.0 mL de una solución patrón de hierro, ajustar cada uno de los tubos a 10 mL con agua destilada y añadir 1 mL de clorhidrato de hidroxilamina (agitar); 5 mL de buffer de acetatos y 1 mL de o-fenantrolina (agitar). Dejar en reposo entre 15 minutos. Leer a 530 nm, empleando el tubo cero como blanco.

Cálculos:

Para medir la cantidad de hierro en la muestra interpolar la lectura de absorbancia de la muestra en la curva patrón, se debe considerar el aforo, la alícuota utilizada y el peso de la muestra.

Para calcular la concentración de hierro en mg/ 100 g de muestra:

$$\left( \frac{mg\ Fe}{100\ g\ muestra} \right) = \frac{x * A * 100}{(a * P)}$$

Donde:

x = Fe expresado en mg

A = Aforo de 50 mL

a = alícuota de 10 mL

p = peso de la muestra

### **Balance de Hierro**

Para conocer la biodisponibilidad de hierro se realizó un balance del contenido de la cantidad de hierro ingerida en el alimento o en la dieta, así como, en las heces recolectadas durante el ensayo biológico.

$$BFe = IFe_A - EFe_f$$

Donde:

BFe = Balance de hierro

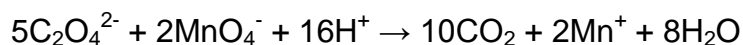
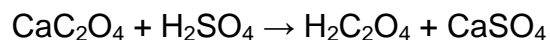
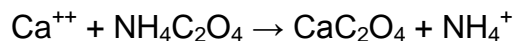
IFe<sub>A</sub> = Ingestión de hierro en el alimento o en la dieta

EFe<sub>h</sub> = Excreción de hierro en heces

### 5.3.3 Método para cuantificación calcio.

Fundamento

El ión calcio es precipitado cuantitativamente como oxalato de calcio, mediante la acción del oxalato de amonio. El precipitado de oxalato cálcico es soluble en ácido sulfúrico, pasando a la forma de ácido oxálico. El ácido oxálico se titula con una disolución valorada de permanganato de potasio (James, 1999):



Material

- Baño María
- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Embudo de tallo corto
- Embudo de vidrio poroso
- Matraz aforado de 50 mL
- Matraz kitasato de 250 mL
- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL
- Pinzas para crisol
- Vasos de precipitado de 250 mL

## Equipo

- Mufla (Thermolyne, Type 1500 Furnace)
- Parrilla de calentamiento (LABCONCO Mod. 61354)

## Reactivos

- HCl concentrado
- Hidróxido de amonio diluido (1:50)
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluido (0.1 N)
- Solución saturada de oxalato de amonio
- Solución de KMnO<sub>4</sub> 0.1 N
- Solución rojo de metilo 0.1 %

## Preparación de Reactivos

- 1) Solución saturada de oxalato de amonio. Disolver 100 g en 150 mL de agua destilada.
- 2) Solución de KMnO<sub>4</sub> 0.1 N. Pesar 15.6 g de KMnO<sub>4</sub> y aforar a 1 L.
- 3) Solución rojo de metilo 0.1%. Pesar 0.1 gramos y aforar a 100 mL con etanol.

## Procedimiento

Por triplicado calcinar cerca de 5 g de muestra a 550°C hasta obtener cenizas blancas, humedecer con 5 mL de HCl concentrado, evaporar a sequedad en una parrilla eléctrica en la campana. Humedecer el residuo con 5 mL de HCl concentrado y adicionar 25 mL de agua, nuevamente calentar hasta comenzar la ebullición y dejar enfriar. Filtrar recibiendo en un matraz aforado de 50 mL, lavar cuantitativamente y llevar al aforo.

De dicha solución trasvasar 25 mL a un vaso de precipitados de 100 mL y calentar a ebullición nuevamente, adicionar 10 mL de una solución saturada de oxalato de amonio y unas gotas de indicador rojo de metilo, después adicionar hidróxido de amonio gota a gota hasta llegar al punto de neutralización (vire a color amarillo).

Calentar hasta precipitar el oxalato de calcio. Enfriar y adicionar HCl diluido hasta obtener una coloración rosa (pH 5). Dejar en reposo 24 horas. Posteriormente filtrar y lavar con 50 mL de agua destilada caliente y con 50 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N caliente. El filtrado se debe titular en caliente con la solución de KMnO<sub>4</sub> 0.1 N hasta obtener una coloración rosa permanente.

Cálculos:

El porcentaje de calcio en el alimento se calculó utilizando la equivalencia de 1 mL de disolución de KMnO<sub>4</sub> 0.1N equivale a 2 mg de calcio (AOAC, 2005).

$$\% Ca = \frac{[(mL KMnO_4)(0.002 g Ca)A]}{(1 mL KMnO_4)(B)(m)} * 100$$

Donde:

mL KMnO<sub>4</sub> 0.1 N = mL de Permanganato de Potasio gastado en la titulación equivale a 0.002 g de calcio.

A: Aforo correspondiente a 50 mL

B: Alícuota de 25 mL

m: peso de la muestra en gramos

% Ca: gramos de Calcio en 100 g de muestra

## 5.4 Métodos Biológicos

### Aclaración

Debido a que el comité Interno para el Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Química no permite utilizar un lote de ratas alimentadas con una dieta libre de nitrógeno (DLN), para evitar el estrés en los animales, no se incluyó la DLN en el ensayo por lo que se consideró la ecuación propuesta por Venegas (2011) para predecir el

**decremento de peso del animal si éste hubiera consumido una DLN utilizando el promedio de peso inicial de las ratas de cada lote.**

#### **5.4.1 Preparación de las dietas**

##### Material

- Agitador de vidrio
- Balanza granataria
- Mortero con pistilo
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 mL
- Recipiente de plástico
- Vasos de precipitado de 250 mL

##### Reactivos

- Aceite vegetal
- Caseína
- Colina (solución al 50%)
- Dextrina
- Glucosa
- Manteca vegetal
- Mezcla de sales Cat. MP 902842
- Mezcla de vitaminas Cat. MP 904654
- Sacarosa

Tanto la dieta testigo como las dietas de estudio, fueron isoproteínicas (10 g proteína/100 g de dieta) e isoenergética (430 kcal/100 g de dieta) y se guardó la proporción respecto a la dieta de referencia que se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Dieta de referencia

Ingrediente	Porcentaje
<b>Proteína</b>	10.0
<b>Glucosa</b>	19.0
<b>Sacarosa</b>	22.0
<b>Dextrina</b>	25.0
<b>Aceite Vegetal</b>	6.0
<b>Manteca Vegetal</b>	8.0
<b>Mezcla de Sales*</b>	2.0
<b>Mezcla de Vitaminas*</b>	1.0
<b>Colina (solución al 50%)</b>	0.4
<b>Celulosa en polvo</b>	Completar a 100

\*Las dietas se prepararon de acuerdo a la formulación establecida por la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990).

La fuente de proteína se debe homogeneizar con el resto de los ingredientes sólidos excepto las vitaminas; adicionar la manteca vegetal fundida y al final adicionar la mezcla de vitaminas. Debe estar perfectamente homogeneizado. Posteriormente guardar en un refrigerador a una temperatura de 4°C.

### **5.4.2 Determinación de la Relación de Eficiencia Proteínica (REP)**

Fundamento

El grado de crecimiento de un animal bajo condiciones bien definidas, provee un método relativamente simple para evaluar una proteína, debido a que el crecimiento es un índice sensible a la disponibilidad de los aminoácidos. Por lo tanto para que el método tenga reproducibilidad es necesario que la dieta de prueba contenga la misma concentración de proteína que la dieta de referencia

(10 g proteína/ 100 g de dieta), además de contener los nutrimentos inorgánicos requeridos. Con esto la única variable será la calidad de la proteína del alimento en estudio. (Adrian, 2000)

#### Material

- Balanza granataria
- Balanza granataria para pesar animales de laboratorio
- Bebederos
- Cernidor (de  $2 \pm 0.5$  mm de abertura)
- Comederos
- Franela o un trapo limpio
- Jaulas individuales de acero inoxidable
- Papel manila

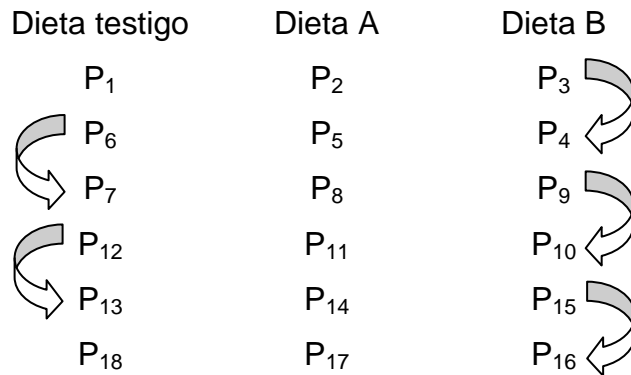
#### Materias primas

- Dieta de referencia (Caseína)
- Dietas a evaluar (isoproteínica e isoenergética con respecto a la dieta de referencia)

#### Procedimiento (Técnica descrita por la AOAC 960.48-2005)

Para los bioensayos se emplearon ratas macho Wistar, recién destetadas de 21 a 23 días con un peso promedio de 36.5 g. El ensayo se debe realizar en condiciones de 12 horas de iluminación por 12 horas de oscuridad a una temperatura de 23 a 24°C y una humedad relativa entre 30 a 35 %. El número de ratas para cada lote de dieta en estudio es de 6. Todos los animales se deben pesar y ordenar de forma ascendente con respecto a su peso. Colocar los animales en las jaulas individuales siguiendo la distribución de “culebra japonesa” como se indica a continuación (Figura 3):

Figura 3. Culebra japonesa



Una vez distribuidos los animales en las jaulas individuales, colocar el comedero con la dieta correspondiente en exceso para que su consumo fuera *ad libitum*, de igual manera se debe controlar el agua del bebedero. Las ratas al alimentarse tienden a desperdiciar alimento por lo que se debe colocar debajo de cada jaula una charola hecha de papel manila, para recuperar y poder calcular el alimento realmente ingerido. Pesar a los animales los días lunes, miércoles y viernes. Registrar el peso de cada rata y el alimento ingerido. El periodo de ensayo debe durar 28 días.

#### Cálculos

Al final del experimento, se procedió a calcular la REP de cada uno de los animales, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$REP = \frac{\Delta P}{\sum AI \times F} = \frac{\Delta P}{Cant_{proteinaingerida}}$$

Donde:

$\Delta P$  = Incremento de peso (expresado en gramos)

$\Sigma AI$  = Alimento ingerido acumulado o total (expresado en gramos)

F = Factor de conversión unitario de alimento a proteína (% de proteína en la dieta / 100)



A partir de los valores individuales de REP, calcular REP promedio del lote en estudio.

Debido a que los métodos biológicos presentan con mucha frecuencia variación interlaboratorio, se sugiere expresar el valor de REP en términos de Relación de Eficiencia Proteínica ajustada o corregida ( $REP_a$ ); para lo cual, es necesario contar con el valor experimental de este índice biológico del lote de animales alimentados con la dieta de caseína (referencia) que cumplan los requisitos mínimos de experimentación. Se le ha asignado un valor estandarizado de REP de 2.5 a la proteína de referencia; por tal motivo, es conveniente informar el resultado en términos de  $REP_a$ .

$$REP_a = REP_{PRUEBA} \frac{REP(CASEINA)_{STD}}{REP(CASEINA)_{EXP}}$$

$REP(PRUEBA)$  = REP experimental de la proteína a evaluar

$REP(CASEÍNA)_{STD}$  = REP de caseína estandarizado de 2.5

$REP(CASEÍNA)_{EXP}$  = REP de caseína obtenido en el experimento

### **5.4.3 Determinación Neta de la Proteína (RNP)**

Fundamento

Calcula 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 y eliminar casi por completo el efecto no deseable que producen las proteínas de baja calidad al realizar el método de REP. (Pellett, 1980)

Procedimiento

Para calcular la Relación neta de la proteína (RNP) se considera el mismo experimento de la relación de la Eficiencia de la Proteína (REP), se debe utilizar

los datos de incremento de peso del animal y alimento consumido durante los primeros 10 días de experimentación.

#### Cálculos

Calcular el decremento de peso con la ecuación que predice el  $\Delta$  de peso, si los animales hubieran ingerido la dieta libre de nitrógeno (Venegas, 2011), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta P (DLN) = -0.14(x) - 0.928$$

Donde:

$\Delta P$  (DLN) = decremento de peso del animal, si hubieran consumido una DLN, tiempo de experimento 10 días.

x = peso inicial promedio de cada lote.

Una vez calculado el  $\Delta P$  de cada rata y alimento consumido se calculó el valor de RNP para cada rata con la siguiente formula.

$$RNP = \frac{[\Delta P_{PRUEBA} - \Delta P_{DLN}]}{\sum AI \times F}$$

Donde:

$\Delta P$  (PRUEBA) = Incremento de peso con la dieta de prueba (g)

$\Delta P$  (DLN) = Decremento de peso con la DLN (g)

$\Sigma AI$  = Alimento ingerido en el periodo de 10 días (g)

F = Factor de conversión unitario de alimento a proteína (% de proteína en la dieta / 100)

Para calcular el RNP ajustado se le ha asignado un valor estandarizado de RPN de 4.1 a la proteína de referencia; por tal motivo, es conveniente informar el resultado en términos de  $RNP_a$ .

$$RNP_a = RNP_{PRUEBA} \frac{RNP(Caseína)_{STD}}{RNP(Caseína)_{EXP}}$$

RNP (PRUEBA) = RNP experimental de la proteína a evaluar

RNP (CASEÍNA)<sub>STD</sub> = RNP de caseína estandarizado de 4.1

RNP (CASEÍNA)<sub>EXP</sub> = RNP de caseína experimental

#### 5.4.4 Digestibilidad aparente

Fundamento

La relación entre la cantidad de nitrógeno ingerido y el nitrógeno desechado en las heces es un indicador del nitrógeno absorbido por el animal. Es importante conocerlo, para establecer que tan absorbible es la proteína de la muestra.

Material

- Brocha
- Coladera
- Material y reactivos necesarios para la determinación de proteína cruda (Kjeldahl)
- Mortero con pistilo
- Recipientes de plástico con tapa

Colectar las heces de las ratas a partir del vigésimo cuarto día de la prueba biológica hasta su término, para esto colocar una charola de papel debajo de la jaula de las ratas. Al término del estudio cuantificar el peso de las heces, posteriormente homogeneizar las heces en el mortero y determinar la cantidad de nitrógeno a partir del método de Kjeldahl (N° 960.52). También fue necesario determinar el nitrógeno ingerido de la dieta durante el periodo de colección de heces, realizar de igual manera con el método Kjeldahl. Con estos datos calcular los valores de nitrógeno ingerido y nitrógeno fecal para cada animal. Luego calcular la digestibilidad aparente de cada dieta.

Cálculos:

$$N_i = \frac{(\%N_{DIETA} \times g \text{ Dieta ingerida})}{100}$$

$$N_F = \frac{(\%N_{HECES} \times g \text{ Heces Totales})}{100}$$

Para el cálculo de digestibilidad *in vivo* se usó de la siguiente ecuación:

$$\%D_a = \left( \frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ ingerido}} \right) \times 100$$

$$\%D_a = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

$N_i$ : Nitrógeno ingerido

$\%N_{DIETA}$ : Porcentaje de nitrógeno en la dieta

$N_F$ : Nitrógeno fecal

$\%N_{HECES}$ : Porcentaje de nitrógeno en las heces

$\%D_a$ : Digestibilidad aparente

#### 5.4.5 Cuantificación de hierro en heces

Se utilizó la metodología descrita en la página 25 para la determinación de hierro en heces.

### 5.5 Análisis Estadístico

Para los resultados obtenidos de los ensayos biológicos realizar un análisis de varianza de una vía con significancia igual o menor a 0.05 (ANOVA) para comprobar si existen diferencias en las diferentes dietas adicionadas con/sin hierro en forma de fumarato ferroso correspondientes según el estudio, sobre los datos de REP y RNP. En aquellos casos en los que se detectaron diferencias debida a la anterior fuente, se realizó un análisis de diferencia media significativa.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Composición

La Tabla 10 muestra el análisis bromatológico del huevo deshidratado y el contenido de hierro y calcio. Es importante resaltar que presenta un contenido de proteínas y lípidos de 47.24% y 40.24% respectivamente. Al compararse los datos experimentales con el valor teórico informado por las tablas de Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez, se observa que las diferencias son mínimas y pueden deberse a varios factores como los métodos utilizados, edad de la gallina, raza, alimentación, clima y almacenamiento. (Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez, 2010)

El huevo presenta un contenido de hierro y calcio de 6.92 y 176.78 mg en 100 gramos respectivamente aportando un 22.02% de calcio de la recomendación de 800 mg/día y un 46.13% de hierro de la recomendación de 15 mg/día para niños de 1 a 10 años. (Muñoz, 1996)

Tabla 10. Análisis Bromatológico de huevo blanco deshidratado (g/ 100 g)<sup>a</sup>

	Experimental BH	Experimental BS	Valor Teórico BH*
<b>Humedad</b>	3.62 ± 0.09	-----	4.55
<b>Proteína bruta</b>	47.24 ± 0.60	49.01 ± 0.62	46.13
<b>Grasa bruta</b>	40.24 ± 0.63	41.75 ± 0.65	41.86
<b>Cenizas</b>	3.72 ± 0.06	3.86 ± 0.06	3.43
<b>Hidratos de Carbono<sup>b</sup></b>	5.18	5.37	4.03
<b>Calcio (mg)</b>	176.78 ± 8.14	183.36 ± 8.45	207.33
<b>Hierro (mg)</b>	6.92 ± 0.13	7.18 ± 0.14	8.16

BH= Base Húmeda, BS= Base Seca

<sup>a</sup>Resultados expresados en g/100 g muestra ± desviación estándar determinaciones realizadas mínimo por triplicado (n=3) y en todos los casos se obtuvo un coeficiente de variación menor a 5%.

<sup>b</sup>Hidratos de Carbono calculados por diferencia.

\*Fuente: Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo, 2010

## 6.2 Métodos Biológicos

La tabla 11 muestra las dietas evaluadas de caseína, huevo, caseína adicionada con fumarato ferroso y huevo adicionado con fumarato ferroso para hacer la determinación de la eficiencia de la proteína utilizando métodos biológicos Relación de la Eficiencia de la Proteína (REP), Relación Neta de la Proteína (RNP) y Digestibilidad (%D). También presenta el contenido en porcentaje de nitrógeno y porcentaje proteína obtenido experimentalmente de las dietas. Las 4 dietas reportan 10% de proteína, con lo cual se demuestra que todas las dietas estudiadas son isoproteínicas e isoenergéticas.

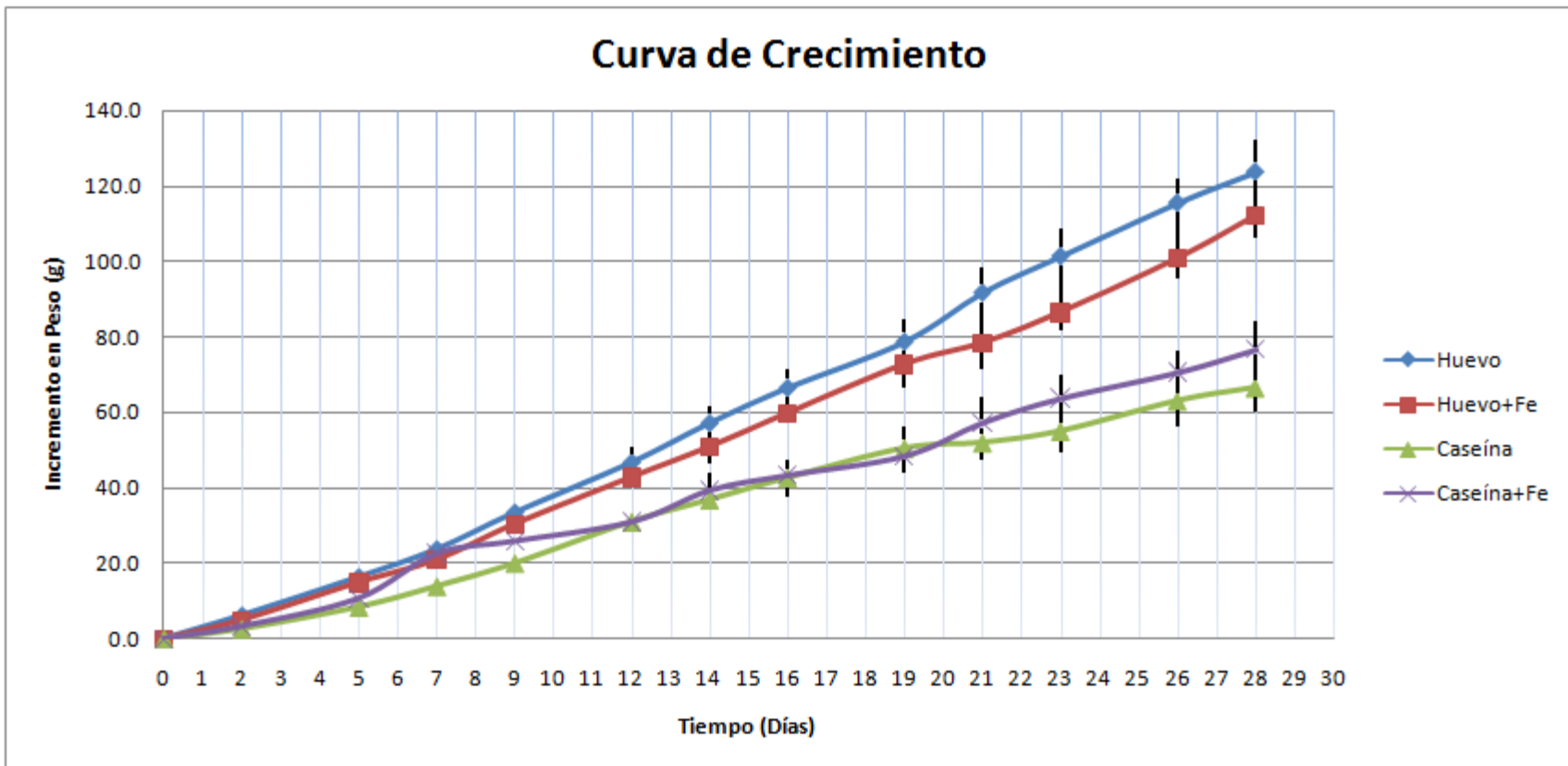
Tabla 11. Formulación de la dietas de caseína y huevo (g /100 g)

Componente	Dieta		Dieta	
	Dieta Caseína	Caseína+fumarato ferroso	Dieta Huevo	Huevo+fumarato ferroso
Huevo en polvo	-----	-----	21.17	21.17
Caseína (94.3% de proteína)	10.60	10.60	-----	-----
Sacarosa	22.00	22.00	21.63	21.63
Glucosa	19.00	19.00	18.68	18.68
Dextrina	25.00	25.00	24.58	24.58
Manteca Vegetal	8.00	8.00	3.13	3.13
Aceite Vegetal	6.00	6.00	2.35	2.35
Mezcla de Sales	2.00	2.00	1.21	1.21
Mezcla de Vitaminas	1.00	1.00	1.00	1.00
Colina (Solución 50%)	0.4	0.4	0.4	0.4
Celulosa	3.40	3.40	5.85	5.85
<b>Total</b>	100.00	100.00	100.00	100.00
Fumarato ferroso*	-----	0.04	-----	0.04
<b>Contenido de nitrógeno y proteína en las dietas (g /100 g)</b>				
% Nitrógeno	1.60 ± 0.001	1.60 ± 0.001	1.62 ± 0.03	1.65 ± 0.18
% Proteína	10.0 ± 0.001	10.0 ± 0.001	10.13 ± 0.18	10.31 ± 0.11

\*Se adicionaron 400 mg de fumarato ferroso por cada kg de dieta debido a que de esta manera se cumple con los requerimientos diarios para ratas y es posible observar el balance de hierro sin provocar estrés oxidativo en la mucosa del colon y colitis ulcerosa que sucedería con una ingesta mayor a 535 mg de hierro/kg de dieta (Thompson, 1991).

Gráfica 2. Curva de Crecimiento de ratas Winstar macho a través de ensayo

En la Gráfica 2 se muestran las curvas de crecimiento obtenidas durante los ensayos biológicos de la Relación de la Eficiencia Proteínica (REP) y Relación Neta de la Proteína (RNP). Con base en ellas se puede observar que el incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta de huevo y huevo adicionado con hierro en forma de fumarato ferroso no existe diferencia significativa, sin embargo comparando las dietas de huevo con el incremento de peso de las ratas de caseína y caseína adicionada con hierro en forma de fumarato ferroso reportaron un valor menor presentando diferencia significativa.





### 6.3 Calidad proteínica del huevo deshidratado

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos biológicos de la Relación de Eficiencia de la Proteína ajustada (REPa) y de la Relación Neta de la Proteína ajustada (RNPa) y de digestibilidad (%Digestibilidad<sub>aparente</sub>), se muestran en la tabla 12. Se observa que la REPa de huevo y huevo adicionado con hierro en forma de fumarato ferroso no presentan diferencia significativa. Al comparar los valores de REPa de las dietas de huevo y caseína éstas presentaron un valor menor confirmando que el huevo es de elevada calidad proteínica.

Tabla 12. Resultados de Ensayos Biológicos

	Caseína	Caseína+Fe	Huevo	Huevo+Fe
<b>PER</b>	3.05 ± 0.16b	2.67 ± 0.37a	3.40 ± 0.36c	3.40 ± 0.07c
<b>PER<sub>a</sub></b>	2.50 ± 0.13b	2.19 ± 0.30a	2.79 ± 0.29c	2.78 ± 0.05c
<b>RNP</b>	4.74 ± 0.30b	4.10 ± 0.40a	4.07 ± 0.13a	4.00 ± 0.20a
<b>RNP<sub>a</sub></b>	4.10 ± 0.26b	3.54 ± 0.35a	3.52 ± 0.11a	3.46 ± 0.17a
<b>%Digestibilidad<sub>aparente</sub></b>	85.47 ± 0.01	89.30 ± 0.24	85.69 ± 0.73	83.22 ± 1.39

\*Literales distintas muestran diferencia significativa entre valores promedio.

Los valores de RNPa obtenidos para las dietas de caseína y huevo presentan un valor ligeramente mayor, sin ser significativamente diferentes que los del huevo adicionado con hierro, probablemente se debe a que las ratas se van adaptando poco a poco a la dieta y que en los 10 días de experimentación el incremento de peso es muy similar para las dietas estudiadas.

Los valores de Digestibilidad aparente indican que la adición de hierro mejoró la digestibilidad aparente de la caseína en una proporción de 4.29%. Sin embargo para la dieta de caseína y huevo sin adición de hierro, la digestibilidad aparente fue igual con un valor de 85.45% y 85.69% respectivamente. Es importante resaltar que la digestibilidad aparente de la dieta de huevo adicionada con fumarato ferroso, fue menor al resto de las dietas estudiadas, se puede concluir que el hierro no es un factor que modifique la digestibilidad aparente.

## 6.4 Balance

En la Tabla 13 se muestran los resultados de hierro absorbido de la dieta a base de huevo (83.80%) y huevo adicionado con fumarato ferroso (86.43%). La diferencia entre las dos dietas de huevo se puede deber a la adición de hierro y el efecto de ciertos aminoácidos que forman quelatos de hierro de bajo peso molecular que facilitan la absorción intestinal de este. (Stuart, 2009)

Se puede afirmar que las dietas de huevo evaluadas presentan una mayor biodisponibilidad de hierro comparadas con las de caseína (78.48%) y caseína adicionada con hierro en forma de fumarato ferroso (45.34%). Debido a que las dietas a base de huevo y huevo adicionado con fumarato ferroso propician el aumento en el tejido muscular y por consiguiente el aumento en la síntesis de ferritina para cubrir las necesidades del tejido muscular. (Mattia,1984)

Tabla 13. Balance de Hierro <sup>a</sup>

<b>Dieta</b>	<b>Fe<sub>ingerido</sub> alimento (mg/100 g)</b>	<b>Fe<sub>fecal</sub> (mg/100g)</b>	<b>Balance Fe (mg/100g)</b>	<b>%Balance Fe</b>
<b>Huevo</b>	1.48 ± 0.11	0.24 ± 0.02	1.24 ± 0.10	83.80 ± 0.37
<b>Huevo+Fe</b>	17.07 ± 1.74	2.30 ± 0.32	14.76 ± 1.69	86.43 ± 2.08
<b>Caseína</b>	17.00 ± 0.13	3.74 ± 0.16	13.26 ± 0.09	78.48 ± 0.24
<b>Caseína+Fe</b>	113.00 ± 0.18	61.72 ± 0.26	51.28 ± 0.11	45.34 ± 0.28

a. Se obtuvo un coeficiente de variación menor a 5%.

## 7. CONCLUSIONES

- Se corroboró que el huevo es una buena fuente de proteínas y grasas (47.24 g proteína/100 g huevo y 40.24 g de lípidos/100 g huevo respectivamente).
- Las curvas de incremento en peso con respecto al tiempo obtenidas en el ensayo biológico muestran que la proteína de huevo es adecuada para el crecimiento de los animales.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de REP<sub>a</sub> y RPN<sub>a</sub> para la proteína del huevo deshidratado confirman su alta calidad en comparación con la caseína.
- La digestibilidad aparente de la proteína del huevo (85.69%) fue muy similar a la de la caseína (85.47%).
- El hierro no tuvo efecto en las dietas de huevo en las pruebas biológicas (REP, RNP y Digestibilidad) realizadas.
- La biodisponibilidad del hierro fue de 83.8% en la dieta de huevo y 86.43% en huevo adicionado con fumarato ferroso mostrando ser buen vehículo.
- Los resultados obtenidos formaran parte de una base de datos de consulta para los estudiantes de Química de Alimentos.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Arias, JL., Fink, DJ., Xiao, SQ., Heuer, AH., Caplan, Al., **Biom mineralization and eggshells: Cell-mediated acellular compartments of mineralized extracellular matrix**, Int Rev Cytol 145, 1993, pag 217-250.

Badui, S D., **Química de los alimentos**. 3<sup>ra</sup> Edición. Pearson Educación. Edo. de México: México. 2006, pag. 210-213.

Baynes, RD., Bothwell, TH., **Iron deficiency**. Ann Rev Nutr 1990; 10, pag. 133-48.

Beard, JL., **Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning**. J Nutr 2001; 131, pag. 568S-80S.

Belitz, HD., **Food Chemistry**. 4<sup>ta</sup> Edición. Springer. Berlin: Alemania, 2009, pag 551-553.

Bell, D., Weaver, W., **Chicken meat and egg production**, 5<sup>ta</sup> Edición, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts; Estados Unidos, 2002, pag. 1114-1115.

Bothwell, TH., Charlton, RW., Cook, JD., Finch. CA., **Iron Metabolism in Man**. Blackwell Scientific, Oxford; Inglaterra, 1979, pag 7.

Bourges, H., Casanueva, E., Rosaldo, J., **Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana**, Editorial Medica Panamericana. D.F.: México, 2005, pag. 190.

Casanueva, E., et al., **Nutriología médica**, 3<sup>ra</sup> Edición, Editorial Médica Panamericana. Queretaro; México, 2008, pag. 301.

Coultate, T., **Manual de Química y Bioquímica de los alimentos**. 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Acribia. Zaragoza: España. 1998, pag 90.

Cunniff, P., **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16<sup>th</sup> Edition. AOAC International. Virginia: Estados Unidos. 2005.

Daengprok, W., Garnjanagoonchorn, W., Naivikul, O., Pornsinpatip, P., Issigonis, K., Mine, Y., **Chicken eggshell matrix proteins enhance calcium transport in the human intestinal epithelial cells**, J Agric Food Chem 51, 2003, pag. 6056-6061.

Dary, O., Freire, W., Kim, S., **Programa de Alimentación y Nutrición: Compuestos de Hierro para la fortificación de alimentos: Guías para América Latina y el Caribe**. Organización Panamericana de la Salud. Washington: Estados Unidos. 2002.

Gil, A., **Huevos y ovoproductos**. En: M. Ruiz. ed. **Tratado de Nutrición: Tomo II Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos**. Editorial Médica Panamericana. Madrid: España, 2010, pag. 75-96.

Gutiérrez, J., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández S., Franco, A., Cuevas-Nasu. L., Romero-Martínez M., Hernández-Ávila M., **Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Resultados Nacionales**, Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca: México, 2012.

Hallberg, L., Hulthén, L., **Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron**. Am J Clin Nutr 2000;71, pag. 1147-60.

Han, O., Failla, ML., Hill, Ad., Morris, ER., Smith, JC., **Reduction of Fe(III) is required for uptake of nonheme iron by Caco-2 cells**. J Nutr 1995; 125, pag. 129-99.

Helrich, K., **Official Methods of Analysis of of AOAC International**. 15<sup>ta</sup> Edición. AOAC International. Virginia: Estados Unidos 1990.

Jacobs K., Shen L., Benemariya H., Deelstra H., **Selenium distribution in egg white proteins**. Z Lebens Untersuch Forsch 1993; 196, pag. 236-238

James, C.S, **Analytical Chemistry of Foods**: An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland: Estados Unidos, 1999.

Koketsu M., **Glycochemistry of hen eggs**. Hen Eggs: Their basic and Applied Science, CRC Press, New York: Estados Unidos, 1997, pag. 99-115.

Ledesma, J., Chávez, A., Pérez-Gil, F., Mendoza, E., Calvo, C., **Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo**. Mc Graw Hill. D.F: México, 2010. pag. 197

Li-Chan E., Nakai S., **Biochemical basis for the properties of egg white**. Crit Rev Poultry Biol 2, 1989, pag. 21-58.

Linder, MC., **Nutrition and Connecticut: Metabolism of Trace Elements in Nutritional Biochemistry and Metabolism**. Appleton and Lange, 1991, pag. 217-24.

Mattia, E., Rao, K., Shapiro, DS., Sussaman, HH., Klausner, RD., **Biosynthetic regulation of the human transferrin receptor by deferroxamine**, J Biol Chem 1984, pag. 2689-2692.

Muñoz, Ch. M. et al., **Tablas de valor nutritivo de los alimentos**, Editorial Pax México, D.F.: México, 1996, pag. 324.

Nakano, T., Lien, K., **Investigation of chicken egg yolk glycosaminoglycans**, Biomed Res 17, 1996, pag. 499-503.

Okubo T., Akachi S., Hatta H., **Structure of hen eggs and physiology of egg laying**. CRC Press, New York: Estados Unidos, 1997, pag. 1-12.

Pellett, P.L., Young, V.R., **Nutritional evaluation of proteins foods**. The United Nations University, Tokyo: Japón, 1980.

Ramakrishnan, U., **Nutritional anemias**. CRC Press. Florida: Estados Unidos, 2000, pag. 7-21.

Robinson, DS., Monsey, JB., **The composition and proposed subunit structure of egg-white beta-ovomucin. The isolation of an unreduced soluble ovomucin**. Biochem J. 147, 1991, pag. 55-62.

Robinson, D., **Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos**. Editorial Acribia. Zaragoza: España. 1991, pag. 206-210.

Romanoff AL, Romanoff A., **The Avian Egg**. John Wiley and Sons. New York: Estados Unidos. 1949.

Ross, W., **Egg and health promotion**. Blakwell Publishing Company. Iowa: Estados Unidos, 2002, pag. 9-13.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Programa Nacional Pecuario 2007-2012.

Srilakshmi B., **Food Science**, 3<sup>ra</sup> Edición, New Age International Publishers. Nueva Dehli: India, 2005, pag. 131.

Stadelman, W., **Egg Science and Technology**. Cuarta Edición. Food Product Press. Binghamton: Reino Unido. 1995, pag. 323-325.

Stuart, H., Nathan, G., Ginsburg, D., Thomas, L., Fisher, D., Lux, S., **Nathan and Oski's Hematology of infancy and childhood**, 7<sup>ta</sup> Edición. Saunders Elsevier. Philadelphia: Estados Unidos. 2009, pag. 532-534.

Sugino, H., Ishikawa, M., Nitoda, T., Koketsu, M., Raj-Juneja, L., Kim, M., Yamamoto, T., **Antioxidative activity of egg yolk phospholipids**. J Agric Food Chem 45, 1997, pag. 551-554.

Thompson, L. U., Zhang, L. **Phytic acid and minerals: effect on early markers of risk formammary and colon carcinogenesis**. Carcinogenesis. 12; 1991, pag. 2041-2045,

Vaughan, L., **Nutrición**. Pearson Educación. Madrid: España. 2008. pag. 482-486.

Venegas, S. D., **Elaboración de una base de datos de consulta referente a la calidad nutritiva proteica de diferentes alimentos de origen animal y**

**vegetal.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Química. UNAM. Distrito Federal: México. 2011, pag. 48-55.

Watkins, B., Feng S, Strom, A., De Vitt, A., Yu, L., Li, Y., **Conjugated linoleic acids alter the fatty acid composition and physical properties of egg yolk and albumen.** J Agric Food Chem 52; 2003, pag. 6870-6876.

Yoshinori, M., **Egg bioscience and biotechnology.** John Wiley & Sons, Inc., Publication. New Jersey: Estados Unidos. 2008, pag. 13-65.



## ANEXOS

### -Preparación de las Dieta

$$10 \text{ g Proteína} \left( \frac{100 \text{ g muestra}}{47.24 \text{ g Proteína}} \right) = 21.17 \text{ g muestra}$$

$$21.17 \text{ g muestra} \left( \frac{3.72 \text{ g cenizas}}{100 \text{ g muestra}} \right) = 0.79 \text{ g de cenizas}$$

$$2 \text{ g} - 0.79 \text{ g} = 1.21 \text{ g mezcla de sales}$$

$$21.17 \text{ g muestra} \left( \frac{40.24 \text{ g grasas}}{100 \text{ g muestra}} \right) = 8.52 \text{ g de grasa}$$

$$14 \text{ g} - 8.52 \text{ g} = 5.48 \text{ g grasa}$$

$$57.14 \% \text{ manteca} \left( \frac{5.48 \text{ g grasa}}{100 \% \text{ grasa}} \right) = 3.13 \text{ g manteca}$$

$$42.86 \% \text{ aceite} \left( \frac{5.48 \text{ g grasa}}{100 \% \text{ grasa}} \right) = 2.35 \text{ g aceite}$$

$$21.17 \text{ g muestra} \left( \frac{5.18 \text{ g CHO}}{100 \text{ g muestra}} \right) = 1.10 \text{ g CHO}$$

$$66 \text{ g} - 1.10 \text{ g} = 64.9 \text{ g CHO}$$

$$100 \% \quad 64.9 \text{ g CHO}$$

$$33.33 \% \quad 21.63 \text{ g Sacarosa}$$

$$28.79 \% \quad 18.68 \text{ g Glucosa}$$

$$37.88 \% \quad 24.58 \text{ g Dextrosa}$$

Diferencia Mínima Significativa REP

Dietas		DMS		
Huevo-Huevo+Fe	0.0070	<	0.2473	No existe diferencia Significativa
Huevo-Caseína	0.3506	>	0.2473	Existe Diferencia Significativa
Huevo-Caseína+Fe	0.7322	>	0.2473	Existe Diferencia Significativa
Huevo+Fe-Caseína	0.3436	>	0.2473	Existe Diferencia Significativa
Huevo+Fe-Caseína+Fe	0.7252	>	0.2473	Existe Diferencia Significativa
Caseína-Caseína+Fe	0.3816	>	0.2473	Existe Diferencia Significativa

Diferencia Mínima Significativa RNP

Dietas		DMS		
Caseína-Caseína+Fe	0.6421	>	0.3234	Existe Diferencia Significativa
Caseína-Huevo	0.6646	>	0.3234	Existe Diferencia Significativa
Caseína-Huevo+Fe	0.7340	>	0.3234	Existe Diferencia Significativa
Caseína+Fe-Huevo	0.0225	<	0.3234	No existe diferencia Significativa
Caseína+Fe-Huevo+Fe	0.0920	<	0.3234	No existe diferencia Significativa
Huevo-Huevo+Fe	0.0694	<	0.3234	No existe diferencia Significativa

Registro de peso acumulado y alimento ingerido de las ratas  
Lote 1 Dieta a base de Huevo

Rata: H1	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 33.3				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	33.3	39.8	49.6	56.0	66.6	80.0	87.6	95.8	104.6	116.8	129.1	146.5	154.3
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	6.5	16.3	22.7	33.3	46.7	54.3	62.5	71.3	83.5	95.8	113.2	121.0
Alimento inicial (I)	289.0	305.2	298.5	295.5	306.3	298.6	298.6	302.5	303.5	299.0	305.2	306.9	304.7
Alimento Final (F)	278.0	284.3	282.3	275.7	273.9	277.0	276.4	267.3	276.9	268.9	261.0	279.4	272.3
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.0	20.9	16.2	19.8	32.4	21.6	22.2	35.2	26.6	30.1	44.2	27.5	32.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.0	31.9	48.1	67.9	100.3	121.9	144.1	179.3	205.9	236.0	280.2	307.7	340.1

Rata: H2	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 35.0				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	35.0	40.7	50.5	56.6	64.9	73.6	84.2	90.0	101.8	118.7	130.0	144.0	157.9
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	5.7	15.5	21.6	29.9	38.6	49.2	55.0	66.8	83.7	95.0	109.0	122.9
Alimento inicial (I)	299.6	313.3	308.0	305.6	308.5	303.0	306.0	307.7	313.6	306.9	315.6	318.7	313.7
Alimento Final (F)	290.0	291.8	291.4	289.3	281.9	282.1	283.0	270.2	281.6	277.4	272.6	286.7	282.6
Alimento ingerido (AI=I-F)	9.6	21.5	16.6	16.3	26.6	20.9	23.0	37.5	32.0	29.5	43.0	32.0	31.1
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	9.6	31.1	47.7	64.0	90.6	111.5	134.5	172.0	204.0	233.5	276.5	308.5	339.6

Rata: H3	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 36.0				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	36.0	42.5	52.2	61.0	70.6	85.8	99.8	110.4	119.4	129.5	140.0	156.5	169.4
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	6.5	16.2	25.0	34.6	49.8	63.8	74.4	83.4	93.5	104.0	120.5	133.4
Alimento inicial (I)	288.6	298.0	292.0	283.3	294.6	296.5	295.8	296.6	305.1	300.3	311.2	311.0	311.8
Alimento Final (F)	276.8	276.7	274.0	262.7	260.9	268.4	269.0	259.0	266.2	269.4	264.5	280.3	279.3
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.8	21.3	18.0	20.6	33.7	28.1	26.8	37.6	38.9	30.9	46.7	30.7	32.5
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.8	33.1	51.1	71.7	105.4	133.5	160.3	197.9	236.8	267.7	314.4	345.1	377.6

Rata: H4	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 36.4				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	36.4	43.8	52.4	58.5	67.1	80.0	92.0	102.2	118.2	126.1	132.5	139.1	124.2
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	7.4	16.0	22.1	30.7	43.6	55.6	65.8	81.8	89.7	96.1	102.7	87.8
Alimento inicial (I)	247.0	253.8	250.9	255.7	269.2	268.3	269.0	269.6	272.0	267.7	271.1	272.6	275.2
Alimento Final (F)	235.1	234.0	235.1	236.7	237.1	243.3	244.4	227.8	247.5	242.7	232.5	263.5	242.5
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.9	19.8	15.8	19.0	32.1	25.0	24.6	41.8	24.5	25.0	38.6	9.1	32.7
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.9	31.7	47.5	66.5	98.6	123.6	148.2	190.0	214.5	239.5	278.1	287.2	319.9

Rata: H5	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 38.6				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	38.6	42.9	54.0	62.1	72.2	86.2	93.3	103.6	116.9	135.9	146.1	155.0	174.7
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	4.3	15.4	23.5	33.6	47.6	54.7	65.0	78.3	97.3	107.5	116.4	136.1
Alimento inicial (I)	285.2	296.9	293.0	292.3	306.9	300.2	300.1	301.2	300.6	300.5	301.1	299.2	301.2
Alimento Final (F)	274.6	274.3	275.2	273.1	273.6	277.5	276.0	258.8	268.4	270.2	258.6	263.1	267.5
Alimento ingerido (AI=I-F)	10.6	22.6	17.8	19.2	33.3	22.7	24.1	42.4	32.2	30.3	42.5	36.1	33.7
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	10.6	33.2	51.0	70.2	103.5	126.2	150.3	192.7	224.9	255.2	297.7	333.8	367.5

Rata: H6	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 39.5				Dieta: Huevo					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	39.5	46.4	58.4	67.1	78.3	94.1	105.2	115.9	130.3	142.4	149.5	171.0	180.8
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	6.9	18.9	27.6	38.8	54.6	65.7	76.4	90.8	102.9	110.0	131.5	141.3
Alimento inicial (I)	253.5	263.7	260.2	259.0	269.5	269.5	269.1	275.7	273.8	277.5	278.1	279.0	280.2
Alimento Final (F)	241.1	238.9	238.9	236.6	233.0	242.0	242.8	235.0	244.4	247.6	229.4	249.4	248.6
Alimento ingerido (AI=I-F)	12.4	24.8	21.3	22.4	36.5	27.5	26.3	40.7	29.4	29.9	48.7	29.6	31.6
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	12.4	37.2	58.5	80.9	117.4	144.9	171.2	211.9	241.3	271.2	319.9	349.5	381.1

Lote 2 Dieta a base de Huevo + Fe

Rata: H1Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 34.5				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	34.5	39.2	49.2	53.4	61.1	70.7	80.3	90.0	104.1	106.3	113.5	128.4	143.9
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	4.7	14.7	18.9	26.6	36.2	45.8	55.5	69.6	71.8	79.0	93.9	109.4
Alimento inicial (I)	284.5	289.5	286.6	286.1	304.7	302.7	303.9	306.1	312.8	310.6	312.6	318.6	313.0
Alimento Final (F)	272.8	268.7	272.5	269.7	276.8	282.5	280.2	268.3	291.3	285.7	272.2	287.4	285.0
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.7	20.8	14.1	16.4	27.9	20.2	23.7	37.8	21.5	24.9	40.4	31.2	28.0
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.7	32.5	46.6	63.0	90.9	111.1	134.8	172.6	194.1	219.0	259.4	290.6	318.6

Rata: H2Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 34.9				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	34.9	40.8	52.4	58.6	69.1	82.9	90.9	102.2	113.0	122.5	130.5	148.5	160.0
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	5.9	17.5	23.7	34.2	48.0	56.0	67.3	78.1	87.6	95.6	113.6	125.1
Alimento inicial (I)	288.0	293.9	285.5	284.6	304.2	301.4	301.3	304.7	302.2	302.3	308.2	305.4	306.5
Alimento Final (F)	276.5	272.6	270.0	264.6	270.8	280.8	276.4	266.8	276.3	276.0	254.5	275.9	277.1
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.5	21.3	15.5	20.0	33.4	20.6	24.9	37.9	25.9	26.3	53.7	29.5	29.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.5	32.8	48.3	68.3	101.7	122.3	147.2	185.1	211.0	237.3	291.0	320.5	349.9

Rata: H3Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 36.3				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	36.3	41.2	50.9	56.4	65.7	77.3	84.9	93.5	108.1	112.5	122.0	137.0	143.9
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	4.9	14.6	20.1	29.4	41.0	48.6	57.2	71.8	76.2	85.7	100.7	107.6
Alimento inicial (I)	240.8	245.7	239.3	238.3	249.3	249.8	250.0	261.5	260.1	267.5	275.9	280.7	282.3
Alimento Final (F)	229.7	225.0	224.5	220.2	222.2	229.0	229.3	227.0	239.5	243.6	238.8	256.4	256.9
Alimento ingerido (AI=I-F)	11.1	20.7	14.8	18.1	27.1	20.8	20.7	34.5	20.6	23.9	37.1	24.3	25.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	11.1	31.8	46.6	64.7	91.8	112.6	133.3	167.8	188.4	212.3	249.4	273.7	299.1

Rata: H4Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 36.4				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	36.4	40.0	49.6	55.9	65.0	78.3	86.4	93.4	106.4	112.7	114.8	126.3	138.4
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	3.6	13.2	19.5	28.6	41.9	50.0	57.0	70.0	76.3	78.4	89.9	102.0
Alimento inicial (I)	280.0	287.6	281.9	280.4	294.2	296.3	297.2	306.2	293.8	290.7	294.3	301.1	300.7
Alimento Final (F)	271.5	267.9	265.9	260.5	264.0	274.4	278.1	272.3	272.8	272.0	262.2	274.6	273.3
Alimento ingerido (AI=I-F)	8.5	19.7	16.0	19.9	30.2	21.9	19.1	33.9	21.0	18.7	32.1	26.5	27.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	8.5	28.2	44.2	64.1	94.3	116.2	135.3	169.2	190.2	208.9	241.0	267.5	294.9

Rata: H5Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 38.6				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	38.6	43.0	52.8	61.4	71.4	84.7	92.7	102.7	116.2	121.9	130.0	143.4	153.5
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	4.4	14.2	22.8	32.8	46.1	54.1	64.1	77.6	83.3	91.4	104.8	114.9
Alimento inicial (I)	255.4	262.8	257.7	254.1	271.0	271.3	272.0	271.1	270.4	267.1	274.9	273.7	275.5
Alimento Final (F)	244.5	242.5	240.3	233.0	238.1	249.2	248.1	232.9	247.6	241.8	235.1	246.3	246.4
Alimento ingerido (AI=I-F)	10.9	20.3	17.4	21.1	32.9	22.1	23.9	38.2	22.8	25.3	39.8	27.4	29.1
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	10.9	31.2	48.6	69.7	102.6	124.7	148.6	186.8	209.6	234.9	274.7	302.1	331.2

Rata: H6Fe	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 39.3				Dieta: Huevo + Fumarato Ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	39.3	45.5	54.7	59.8	70.1	83.2	90.2	97.2	108.9	114.7	128.8	141.8	153.5
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	6.2	15.4	20.5	30.8	43.9	50.9	57.9	69.6	75.4	89.5	102.5	114.2
Alimento inicial (I)	317.6	323.3	315.9	316.0	325.5	313.3	313.8	319.3	318.5	317.1	318.4	314.0	316.1
Alimento Final (F)	305.2	302.4	299.3	297.6	292.9	290.8	293.3	284.5	296.8	287.8	277.2	284.4	288.5
Alimento ingerido (AI=I-F)	12.4	20.9	16.6	18.4	32.6	22.5	20.5	34.8	21.7	29.3	41.2	29.6	27.6
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	12.4	33.3	49.9	68.3	100.9	123.4	143.9	178.7	200.4	229.7	270.9	300.5	328.1

### Lote 3 Dieta a base de Caseína

Rata: C1	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 32.5				Dieta: Caseína					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	32.5	36.1	39.8	44.7	51.6	64.9	xxxxx	79.2	86.9	87.3	91.2	98.7	104
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	3.6	7.3	12.2	19.1	32.4	xxxxx	46.7	54.4	54.8	58.7	66.2	71.5
Alimento inicial (I)	0	281.4	305.6	300	299.2	316.2	xxxxx	325.7	318.1	313.3	308.3	320.6	315.5
Alimento Final (F)	0	273	289.7	287.6	284.5	286.5	xxxxx	287.5	289.3	297.6	290.2	292.2	296.3
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	8.4	15.9	12.4	14.7	29.7	xxxxx	38.2	28.8	15.7	18.1	28.4	19.2
Alimento acumulado ( $\sum$ AI) día	0	8.4	24.3	36.7	51.4	81.1	xxxxx	119.3	148.1	163.8	181.9	210.3	229.5

Rata: C2	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 33.3				Dieta: Caseína					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	33.3	34.8	42	47.8	54.8	66	xxxxx	81.4	93	96.2	97.1	106.4	109.8
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	1.5	8.7	14.5	21.5	32.7	xxxxx	48.1	59.7	62.9	63.8	73.1	76.5
Alimento inicial (I)	0	243.6	262.6	265.2	266.1	282.8	xxxxx	297.4	285.2	276.9	273.4	289	278.1
Alimento Final (F)	0	235.7	245.7	252.8	252.6	258.2	xxxxx	256.2	252.7	258.6	257.6	258.6	257.5
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	7.9	16.9	12.4	13.5	24.6	xxxxx	41.2	32.5	18.3	15.8	30.4	20.6
Alimento acumulado ( $\sum$ AI) día	0	7.9	24.8	37.2	50.7	75.3	xxxxx	116.5	149	167.3	183.1	213.5	234.1

Rata: C3	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 35.0				Dieta: Caseína					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	35	38.6	46	51.4	57.5	66.8	xxxxx	75.6	83.7	85.1	88.6	95.9	98.7
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	3.6	11	16.4	22.5	31.8	xxxxx	40.6	48.7	50.1	53.6	60.9	63.7
Alimento inicial (I)	0	280.7	301.1	300.8	300.2	315.6	xxxxx	334.4	321.1	318.8	320.4	335.6	327.1
Alimento Final (F)	0	271.1	284.3	289.1	286	293.4	xxxxx	302.9	296.1	303.1	302.5	308.4	310.1
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	9.6	16.8	11.7	14.2	22.2	xxxxx	31.5	25	15.7	17.9	27.2	17
Alimento acumulado ( $\sum$ AI) día	0	9.6	26.4	38.1	52.3	74.5	xxxxx	106	131	146.7	164.6	191.8	208.8

Rata: C4	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 35.6			Dieta: Caseína						
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	35.6	37.5	41.6	45.9	52.1	61.3	xxxxx	69.5	74.6	74.3	78.9	83.2	87.4
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	1.9	6	10.3	16.5	25.7	xxxxx	33.9	39	38.7	43.3	47.6	51.8
Alimento inicial (I)	0	239.9	260.1	266.2	266.4	282.6	xxxxx	299.5	285.1	279.7	281.3	298.9	297.8
Alimento Final (F)	0	231.4	245.9	255.4	251.8	259.1	xxxxx	270.6	264.4	268.4	267.3	276.8	284.1
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	8.5	14.2	10.8	14.6	23.5	xxxxx	28.9	20.7	11.3	14	22.1	13.7
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	8.5	22.7	33.5	48.1	71.6	xxxxx	100.5	121.2	132.5	146.5	168.6	182.3

Rata: C5	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 37.0			Dieta: Caseína						
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	37	39.8	46.3	53.4	57.7	71.3	xxxxx	85.6	94.9	96.9	100.1	109.9	113.6
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	2.8	9.3	16.4	20.7	34.3	xxxxx	48.6	57.9	59.9	63.1	72.9	76.6
Alimento inicial (I)	0	274.5	297	296.9	295.5	311.8	xxxxx	323.4	307.5	300.5	302.5	313.9	302.5
Alimento Final (F)	0	266	277	281.1	281.6	283.7	xxxxx	285.6	277.8	282.4	282.6	280.3	283.7
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	8.5	20	15.8	13.9	28.1	xxxxx	37.8	29.7	18.1	19.9	33.6	18.8
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	8.5	28.5	44.3	58.2	86.3	xxxxx	124.1	153.8	171.9	191.8	225.4	244.2

Rata: C6	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 38.5			Dieta: Caseína						
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	38.5	40.7	46.7	52	58.1	67.6	xxxxx	76.3	81.5	83.5	85.9	95.8	97.4
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	2.2	8.2	13.5	19.6	29.1	xxxxx	37.8	43	45	47.4	57.3	58.9
Alimento inicial (I)	0	292.7	310.5	314.2	314.8	312	xxxxx	330.8	329.9	321.8	318.7	333.8	324.6
Alimento Final (F)	0	282.7	293.5	301.1	300.2	288.3	xxxxx	301.6	309.9	306.5	302.5	304.9	310.2
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	10	17	13.1	14.6	23.7	xxxxx	29.2	20	15.3	16.2	28.9	14.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	10	27	40.1	54.7	78.4	xxxxx	107.6	127.6	142.9	159.1	188	202.4



### Lote 4 Dieta a base de Caseína+Fe

Rata: CFe1	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 35.8				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	35.8	41.5	44.9	57.0	59.0	66.0	76.1	78.8	82.0	88.3	95.8	102.0	114.5
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	5.7	9.1	21.2	23.2	30.2	40.3	43.0	46.2	52.5	60.0	66.2	78.7
Alimento inicial (I)	0.0	269.8	289.7	326.0	296.0	304.0	321.5	297.7	299.4	333.5	306.2	303.8	303.0
Alimento Final (F)	0.0	260.7	275.3	292.9	287.8	284.1	291.8	279.0	281.0	302.3	282.1	279.9	265.3
Alimento ingerido (AI=I-F)	0.0	9.1	14.4	33.1	8.2	19.9	29.7	18.7	18.4	31.2	24.1	23.9	37.7
Alimento acumulado ( $\Sigma$ AI) día	0.0	9.1	23.5	56.6	64.8	84.7	114.4	133.1	151.5	182.7	206.8	230.7	268.4

Rata: CFe2	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 36.2				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	36.2	41.6	46.3	57.5	60.5	66.2	74.5	81.0	85.0	89.9	94.6	100.5	108.0
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	5.4	10.1	21.3	24.3	30.0	38.3	44.8	48.8	53.7	58.4	64.3	71.8
Alimento inicial (I)	0.0	231.6	253.1	290.8	264.7	278.9	285.4	266.1	269.1	301.4	271.1	268.3	269.0
Alimento Final (F)	0.0	222.7	240.7	260.3	256.5	260.8	258.4	243.6	250.7	270.6	249.3	246.4	234.5
Alimento ingerido (AI=I-F)	0.0	8.9	12.4	30.5	8.2	18.1	27.0	22.5	18.4	30.8	21.8	21.9	34.5
Alimento acumulado ( $\Sigma$ AI) día	0.0	8.9	21.3	51.8	60.0	78.1	105.1	127.6	146.0	176.8	198.6	220.5	255.0

Rata: CFe3	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 47.5				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	47.5	49.4	59.6	72.0	74.7	79.7	86.5	91.5	99.0	110.3	118.1	125.3	138.4
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0.0	1.9	12.1	24.5	27.2	32.2	39.0	44.0	51.5	62.8	70.6	77.8	90.9
Alimento inicial (I)	0.0	231.9	249.5	278.8	245.6	256.9	274.3	254.0	257.0	284.6	250.6	260.4	262.3
Alimento Final (F)	0.0	220.2	229.9	240.3	235.5	234.7	244.5	232.0	233.7	243.5	223.9	232.5	221.8
Alimento ingerido (AI=I-F)	0.0	11.7	19.6	38.5	10.1	22.2	29.8	22.0	23.3	41.1	26.7	27.9	40.5
Alimento acumulado ( $\Sigma$ AI) día	0.0	11.7	31.3	69.8	79.9	102.1	131.9	153.9	177.2	218.3	245.0	272.9	313.4

Rata: CFe4	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 47.5				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	47.5	50	58.1	69	73	76.5	83.6	89.7	96.1	108.6	117.1	124.4	106.1
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	2.5	10.6	21.5	25.5	29	36.1	42.2	48.6	61.1	69.6	76.9	58.6
Alimento inicial (I)	0	269	287.9	326.3	295.9	303.3	314.9	295.9	297.2	325.4	287.7	298.9	301.4
Alimento Final (F)	0	257.5	270.2	292.4	287	285.1	285.4	274.5	273.9	282.2	261.9	271.9	264.6
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	11.5	17.7	33.9	8.9	18.2	29.5	21.4	23.3	43.2	25.8	27	36.8
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	11.5	29.2	63.1	72	90.2	119.7	141.1	164.4	207.6	233.4	260.4	297.2

Rata: CFe5	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 50.3				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	50.3	54.5	62.9	78	82.5	87.7	99	101.5	105.4	115.9	120	127.9	141.6
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	4.2	12.6	27.7	32.2	37.4	48.7	51.2	55.1	65.6	69.7	77.6	91.3
Alimento inicial (I)	0	268.4	287.1	318.2	285.4	295.3	312	289.1	289.1	326.8	292.4	296.6	301.3
Alimento Final (F)	0	257.8	268	278.9	275	273.8	276.1	267.5	266.9	287.9	272.1	269.2	258.1
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	10.6	19.1	39.3	10.4	21.5	35.9	21.6	22.2	38.9	20.3	27.4	43.2
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	10.6	29.7	69	79.4	100.9	136.8	158.4	180.6	219.5	239.8	267.2	310.4

Rata: CFe6	Sexo: M			Peso Inicial(Pi): 50.5				Dieta: Caseina+Fumarato ferroso					
Tiempo (días)	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	23	26	28
Peso animal (Pdia)	50.5	50.6	60.2	70	73.5	77.8	84.3	85.5	91	98.7	104.5	111.6	119.3
Incremento acumulado (Pdia-Pi)	0	0.1	9.7	19.5	23	27.3	33.8	35	40.5	48.2	54	61.1	68.8
Alimento inicial (I)	0	232	250.9	285.2	258.1	268.9	289.9	271.9	274	300.9	270.8	269.9	283.6
Alimento Final (F)	0	221.1	234.2	252.6	249.8	250.6	261.7	254	254.6	269.9	250.2	249.8	251.2
Alimento ingerido (AI=I-F)	0	10.9	16.7	32.6	8.3	18.3	28.2	17.9	19.4	31	20.6	20.1	32.4
Alimento acumulado ( $\sum$ AI)dia	0	10.9	27.6	60.2	68.5	86.8	115	132.9	152.3	183.3	203.9	224	256.4

Curva Estándar para hierro

