

# Variación del contenido de zinc, cobre, manganeso, hierro e hierro hemínico en músculos frescos y madurados de novillos Hereford terminados a grano.

**Amalia Abdo**

**Licenciatura en Bioquímica**

**Tutora:** Cristina Cabrera

**Co-tutora:** Ana Ramos

**Laboratorios:**

Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, Facultad de Agronomía, UdelaR

Sección Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias, UdelaR

**Tribunal:**

Cristina Cabrera

Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, Facultad de Agronomía, UdelaR

**Fecha:** 06 de diciembre, 2011.

*Gracias,  
a todos los que de una forma u otra  
me acompañan hasta hoy.*

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>2</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>3</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARNE BOVINA EN URUGUAY .....	<b>7</b>
2. LA UTILIZACIÓN DEL FEEDLOT EN EL URUGUAY .....	10
3. LOS MINERALES EN LA SALUD HUMANA .....	11
3.1. <i>Zinc</i> .....	11
3.2. <i>Cobre</i> .....	12
3.3. <i>Manganeso</i> .....	13
3.4. <i>Hierro</i> .....	13
4. APORTES MINERALES DE LA CARNE A LA NUTRICIÓN HUMANA .....	16
5. IMPORTANCIA DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS MINERALES DE LA CARNE BOVINA URUGUAYA.....	17
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
HIPÓTESIS .....	199
OBJETIVO GENERAL.....	199
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
ANIMALES Y MÚSCULOS .....	21
EXPERIMENTO 1. CONTENIDO DE MATERIA SECA, CENIZA, ZINC, COBRE, MANGANESO Y HIERRO .....	21
1.1 <i>Materia seca</i> .....	21
1.2 <i>Ceniza</i> .....	211
1.3 <i>Contenido de zinc, cobre, manganeso y hierro</i> .....	211
EXPERIMENTO 2. CONTENIDO DE HIERRO HEMÍNICO Y RELACIÓN HIERRO HEMÍNICO/HIERRO .....	21
2.1 <i>Contenido de hierro hemínico</i> .....	21
2.2 <i>Relación hierro hemínico/hierro</i> .....	22
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
1. ANÁLISIS QUÍMICOS: CONTENIDO DE MATERIA SECA, CENIZA, ZINC, COBRE, MANGANESO Y HIERRO.....	24
1.1. <i>Materia seca</i> .....	24
1.2. <i>Ceniza</i> .....	25
1.3. <i>Contenido de zinc, cobre, manganeso y hierro</i> .....	26
2. CONTENIDO DE HIERRO HEMÍNICO Y RELACIÓN HIERRO HEMÍNICO/HIERRO .....	30
2.1. <i>Contenido de hierro hemínico</i> .....	30
2.2 <i>Relación hierro hemínico/hierro</i> .....	31
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>32</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>45</b>

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Flujograma del consumo de carne bovina .....	<b>8</b>
<b>FIGURA 2.</b> a) Fotografía de corte de cuadril correspondiente al músculo <i>Gluteus medius</i> ; b) Diagrama de la parte trasera de la vaca .....	<b>9</b>
<b>FIGURA 3.</b> a) Fotografía de corte de lomo correspondiente al <i>Psoas major</i> ; b) Diagrama de la parte trasera de la vaca .....	<b>9</b>
<b>FIGURA 4.</b> a) Fotografía de corte de bife angosto correspondiente al músculo <i>Longissimus dorsi</i> ; b) Diagrama de la parte trasera de la vaca .....	<b>10</b>
<b>TABLA 1.</b> Ingestas dietarias de referencia (DRI) de zinc, cobre, manganeso y hierro para distintos grupos poblacionales .....	<b>15</b>
<b>FIGURA 5.</b> Contenido de materia seca de los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en gramos de músculo seco/100 gramos de músculo fresco.....	<b>24</b>
<b>FIGURA 6.</b> Contenido de ceniza de los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en gramos de ceniza/100 gramos de músculo seco. ....	<b>25</b>
<b>FIGURA 7.</b> Contenido de zinc en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Zn.Kg de músculo fresco .....	<b>26</b>
<b>FIGURA 8.</b> Contenido de cobre en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) mg Cu.Kg de músculo fresco .....	<b>27</b>
<b>FIGURA 9.</b> Contenido de manganeso en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Mn.Kg de músculo fresco .....	<b>28</b>
<b>FIGURA 10.</b> Contenido de hierro en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Fe.Kg de músculo fresco .....	<b>29</b>
<b>FIGURA 11.</b> Contenido de hierro hemínico en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg hierro hemínico.Kg de músculo fresco .....	<b>30</b>
<b>FIGURA 12.</b> Relación entre hierro hemínico y hierro en los músculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> frescos (to) y madurados 14 días (t14) en gramos de hierro hemínico/100 gramos de hierro. ....	<b>31</b>
<b>FIGURA 13.</b> Aportes de zinc (A), cobre (C), manganeso (E) y hierro (G) de una porción de 100g de los musculos <i>G. medius</i> , <i>P. major</i> y <i>L. dorsi</i> madurados e ingestas de referencias dietarias de zinc (B), cobre (D), manganeso (F) y hierro (H) .....	<b>41</b>

## ABREVIATURAS

**ANOVA:** análisis de varianza

**CaCl<sub>2</sub>:** cloruro de calcio

***et al.:*** *et altri*

**D.R.I.:** Ingesta Diaria Recomendada

**F.A.O.:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

***G. medius:*** *Gluteus medius*

**GLM:** modelo general lineal

**Hab:** habitantes

**I.A.:** Ingesta Adecuada

**I.N.A.C:** Instituto Nacional de la Carne

***L. dorsi:*** *Longissimus dorsi*

**N.S.:** no significativo

***P. major:*** *Psoas major*

**p/v:** peso/volumen

**RDA:** Recomendación Dietética Diaria

**s.e.m.:** error estándar de la media

**t0:** tiempo cero de maduración, fresco

**t14:** 14 días de maduración

# INTRODUCCIÓN

## **1. Producción y consumo de carne bovina en Uruguay**

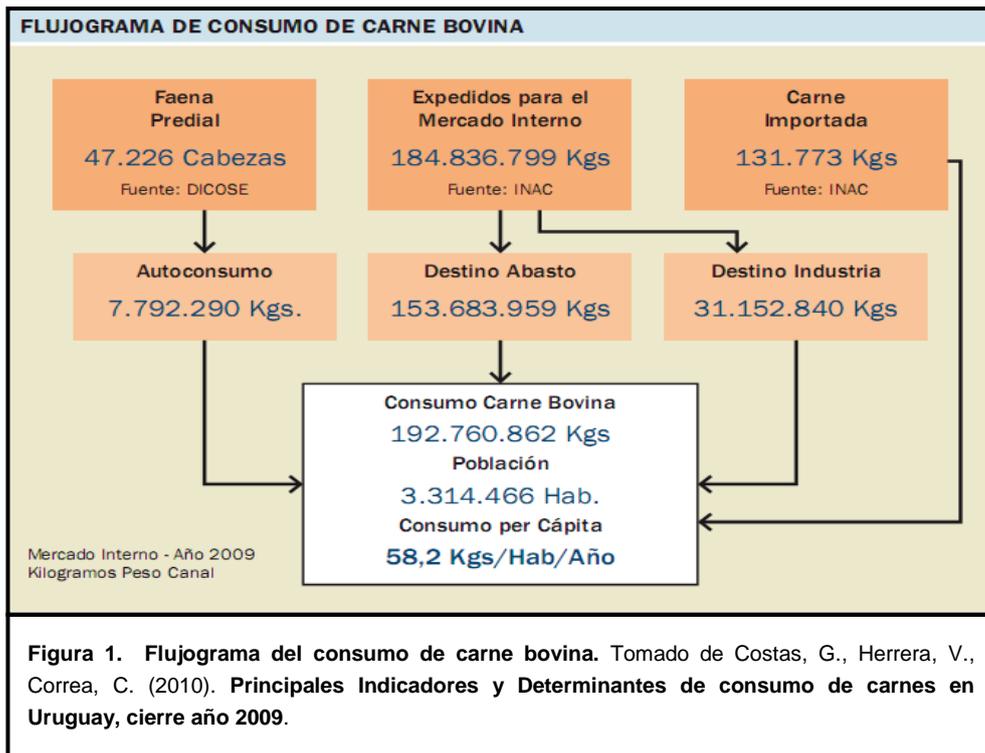
Uruguay es uno de los principales países productores y consumidores de carne *per cápita* en el mundo (Cabrera *et al.*, 2010; Costas, Herrera, Correa, 2010).

En el año 2009 el consumo de carnes por parte de la población uruguaya se situó en 91,6 Kg/hab/año siendo esta una cifra elevada si se realiza una comparación con las manejadas por la FAO en lo referente al consumo en los países desarrollados (66,8 Kg/hab/año) y en vías de desarrollo (32,1 Kg/hab/año). La carne bovina sigue siendo la preferida por los consumidores uruguayos, representando en el año 2009 el 63,5% del total de las carnes consumidas en el país (Costas *et al.*, 2010)

La alta calidad de la carne producida permite situar a este país como un exportador confiable y al comercio de carne bovina como uno de los más importantes de la economía nacional. De acuerdo la Dirección de Información y Análisis Económico del I.N.A.C., en el año 2010 la carne bovina representó un 57,5 % del total de las exportaciones cárnicas del país, un peso de 203.401 toneladas y 892.162 miles de dólares (I.N.A.C., 2011).

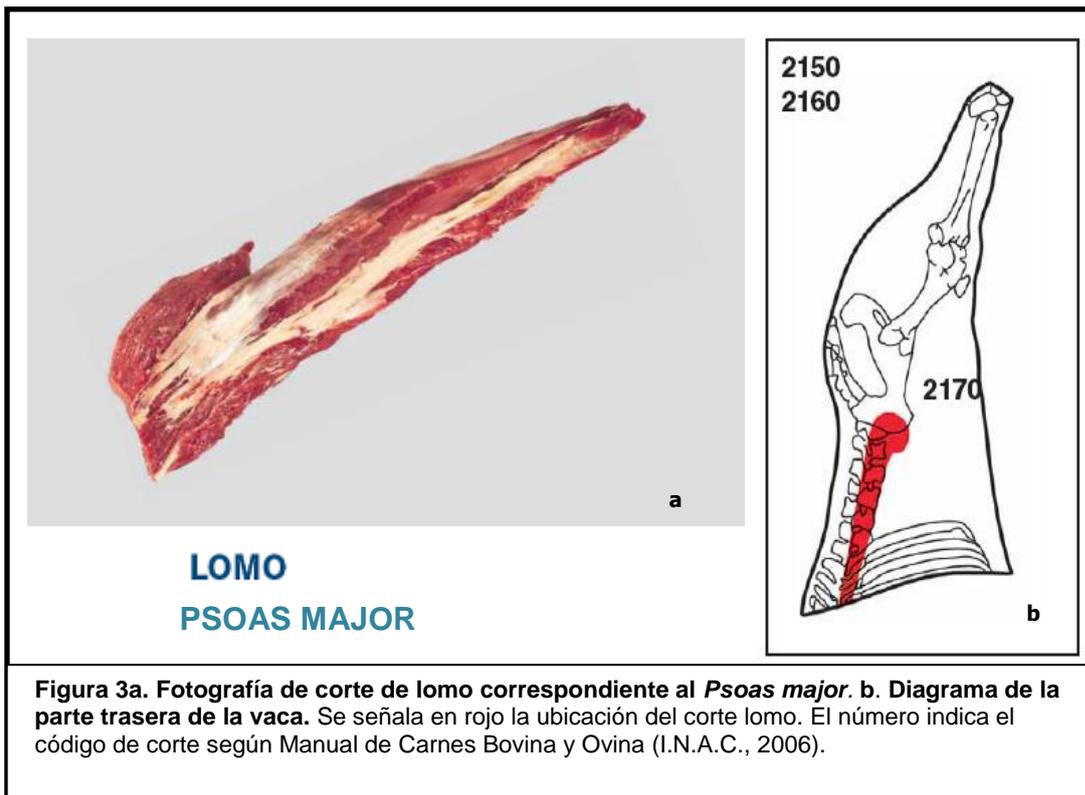
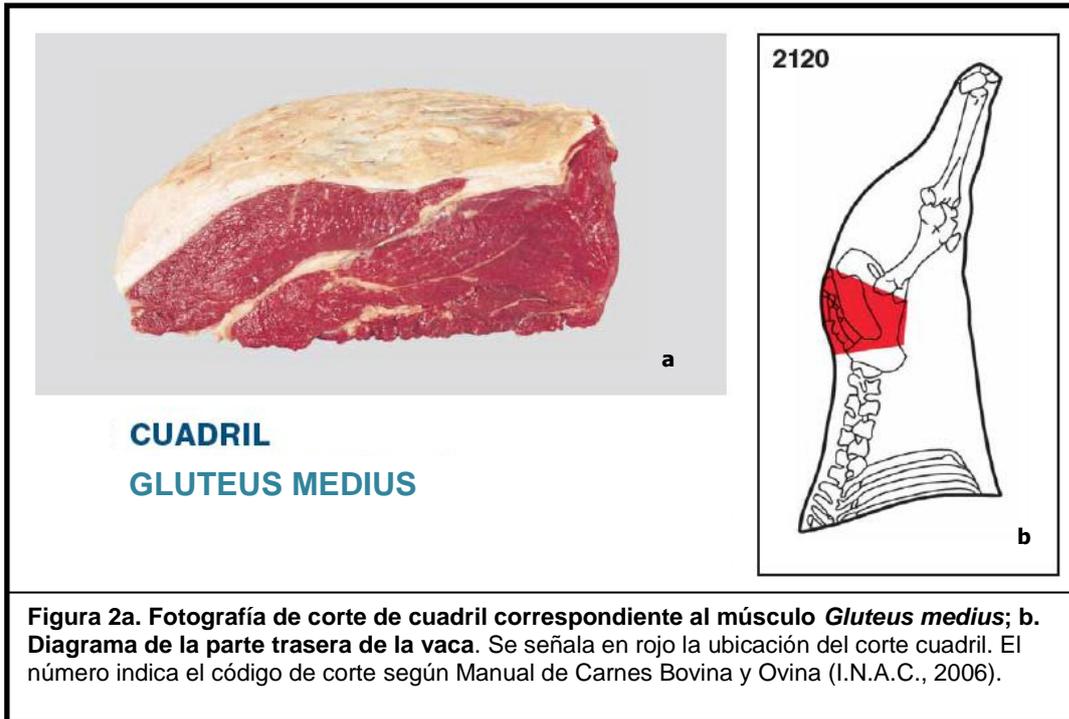
Del 1° de Enero al 11 de junio de 2011, las exportaciones de carne bovina suman 589.229 millones de dólares y representan un 81.9% del total embarcado en el sector cárnico, con un volumen de 100.463 toneladas exportadas. (I.N.A.C., 2011).

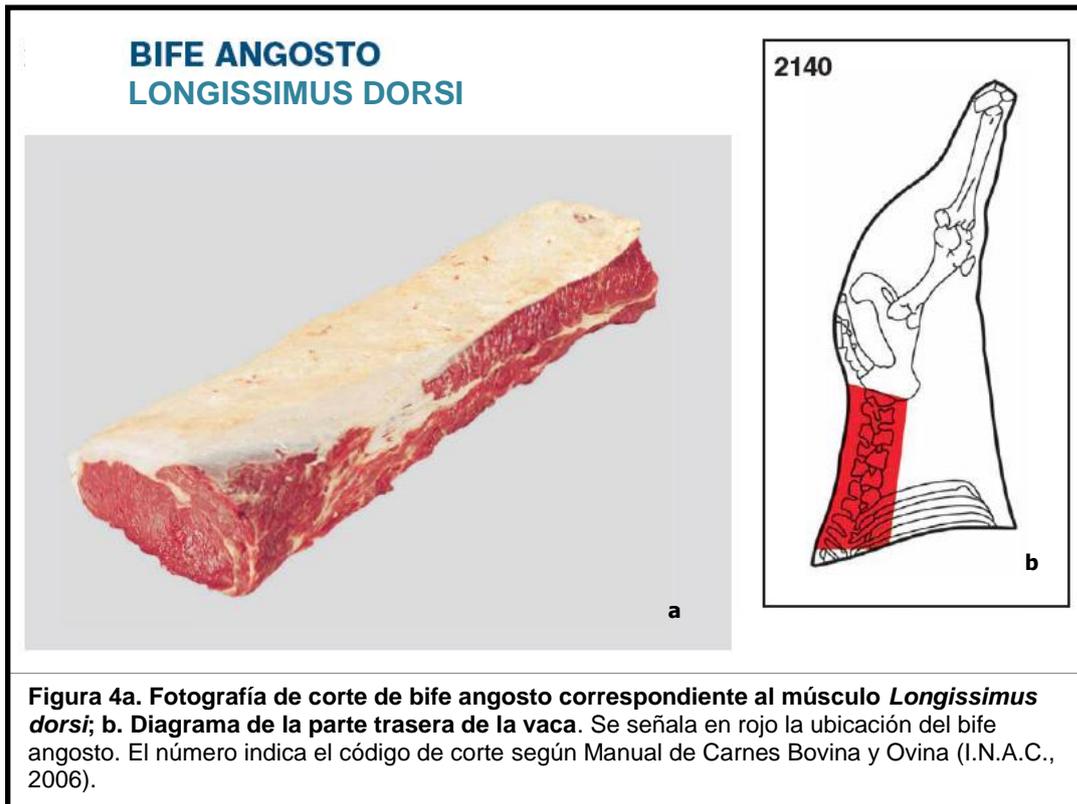
En el mismo período, se calcula en 946.602 vacas y novillos faenados en establecimientos habilitados (I.N.A.C., 2011). La carne no solo se destina a la exportación, la figura 1 esquematiza destinos y cantidades de carne bovina del mercado uruguayo.



La Dirección de Información y análisis económico de I.N.A.C. determinó que en el año 2008, los cortes sin hueso, entre los que se incluyen el lomo, el cuadril y el bife angosto representan un 23,2% de la carne consumida en el mercado interno (I.N.A.C., 2008).

Dichos cortes bovinos tienen alto valor económico y corresponden a los músculos *Gluteus medius*, *Psoas major* y *Longissimus dorsi*, respectivamente. Son cortes sin hueso, de la zona posterior de la vaca. El cuadril se encuentra en la región de la grupa con base ósea en el coxal y las hemi-vértebras sacras (figura 2). El lomo se obtiene de la región sublumbar, su base ósea consiste en seis hemi-vértebras lumbares, las dos últimas dorsales y el lilion (figura 3). El bife angosto se ubica en la región dorso-lumbar y su base ósea son las hemi-vértebras lumbares y las 3 o 4 últimas dorsales según especificaciones del corte (figura 4) (I.N.A.C., 2006). Según datos de I.N.A.C., de enero a abril de 2011 la venta de cortes traseros sin hueso congelados alcanzó las 17.337 toneladas exportadas y los 116.050 dólares, siendo el segundo tipo de corte más vendido, luego de los cortes delanteros sin hueso (25.418 toneladas y 127.598 dólares).





## 2. La utilización del *feedlot* en el Uruguay

La producción bovina en Uruguay se basa en el sistema tradicional de pastoreo con praderas y verdes, o con suplementación y en el *feedlot*, que ha cobrado importancia en los últimos tiempos (Gossi, Luaces, Olivera, 2010)

El *feedlot* es una actividad productiva que consiste en generar carne mediante el engorde de animales en corrales, suministrándoles una alimentación balanceada y un estricto control sanitario. Es un sistema intensivo de engorde de animales en corral con alimento suministrado diariamente por el hombre (Cabrera *et al.*, 2010; Gossi *et al.*, 2010).

En la década del 90, comenzó a aplicarse el *feedlot* en Uruguay para la terminación del engorde. Primero se realiza la cría a base de pasturas y en los últimos 90 a 120 días se alimenta a los animales con una dieta altamente energética basada en granos (maíz y/o sorgo y en menor medida trigo, avena). Se consigue así terminaciones uniformes y de calidad durante todo el año (Gossi *et al.*, 2010).

Se busca que la alimentación sea la más ajustada posible para producir la mayor cantidad de carne en el menor tiempo y al menor costo posible, utilizando la menor cantidad de kg de alimento por kg de carne producido (Gossi *et al.*, 2010).

La carne de *feedlot* tiene más vetas de grasa intramusculares que proveen mejor sabor, ternura y color, todo lo cual favorece la preferencia del consumidor (Gossi *et al.*, 2010).

### **3. Los minerales en la salud humana**

La carne bovina es fuente de varios nutrientes, como minerales, en particular de hierro en su forma más biodisponible, el hierro hemínico (Kalpalathika, Clark, Mahoney, 1991; Lombardi-Boccia, Lanzi, Aguzzi, 2005). Otros minerales de interés aportados por la carne son el zinc, cobre y manganeso, todos considerados micronutrientes. Si bien se requieren en cantidades pequeñas, cumplen funciones fundamentales para el buen funcionamiento del organismo (Fairweather-Tait, Hurrell, 1996; Lombardi-Boccia *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2010).

En la presente tesina nos centraremos en la determinación de los contenidos de zinc, cobre, manganeso, hierro y hierro hemínico por lo que a continuación presentaremos brevemente las principales funciones que cumplen estos minerales en los organismos vivos y los efectos de su deficiencia en la salud humana. En la Tabla 1 se muestran las ingestas de referencias dietarias (DRI) en términos de recomendaciones dietéticas diarias (RDA) o ingestas adecuadas (IA) de estos minerales para la población según su grupo etáreo y sexo y para situaciones fisiológicas particulares (embarazo y lactancia).

#### **3.1. Zinc**

El zinc cumple una función esencial como cofactor de muchas enzimas como la lactato deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y anhidrasa carbónica. Se han contado hasta el momento unos 300 metaloenzimas con zinc, que incluyen proteínas reguladoras y ARN y ADN polimerasas (Mitchell *et al.*, 1989; Hambridge, 2000; Brown, 2005). Este mineral interviene en la formación de dedos de zinc en los receptores nucleares paratiroideos y esteroideos (Berg, 1990; Hambridge, 2000; Brown, 2005). Tiene una importante función como cofactor de la enzima antioxidante Zn-Cu-SOD, en sus formas citosólica, SOD1 y extracelular, SOD3. La SOD transforma el anión superóxido en peróxido de hidrógeno, sustrato sobre el cual actúa posteriormente la catalasa para generar oxígeno y agua (Hambridge, 2000; Zelko, Mariani, Folz, 2002; Ramos *et al.*, 2009; Terevinto *et al.*, 2010). La

deficiencia de zinc causa hipogonadismo, trastornos en el crecimiento y alteraciones en la reparación de las heridas. La carencia de zinc en los niños está marcada por crecimiento deficiente y trastornos en el desarrollo (Fairweather-Tait *et al.*, 1996; Hambridge, 2000; Devlin, 2004). La carencia grave de zinc aparece principalmente en alcohólicos, pacientes con enfermedad renal crónica o con enfermedades de malabsorción graves y en ocasiones en pacientes con nutrición parenteral total prolongada (Prasad, 1991; Hambridge, 2000). El zinc se absorbe de los alimentos por transporte mediado por *carriers*, es transportado en el plasma por la albúmina y la  $\alpha$ -2-macroglobulina. Se encuentra en todos los órganos, tejidos y fluidos del organismo como ión intracelular. Un 80% del zinc corporal se encuentra en huesos y músculo esquelético (Fairweather-Tait *et al.*, 1996).

### **3.2. Cobre**

El cobre se encuentra en una serie de metaloenzimas importantes, entre los que se encuentran la citocromo oxidasa, la dopamina  $\beta$ -hidroxilasa, la lisil oxidasa y la  $\Delta$ 9-desaturasa (Saraste, 1990; Dichi *et al.*, 1991). Al igual que el zinc, es cofactor de la Cu-Zn-SOD (Marklund, 1982; Zelko *et al.*, 2002; Ramos *et al.*, 2009; Terevinto *et al.*, 2010). El cobre plasmático es transportado en un 90% por la ceruloplasmina, cada molécula de proteína se une a 6 átomos de cobre. El 10% restante del cobre plasmático es transportado por la albúmina. La albúmina dona su cobre a los tejidos más fácilmente que la ceruloplasmina (Dichi *et al.*, 1991; Devlin, 2004; Gupta *et al.*, 2009). Algunos de los síntomas de la carencia de cobre en el ser humano son la hipercolesterolemia, desmineralización de los huesos, leucopenia, anemia, fragilidad de las grandes arterias, desmielinización del tejido nervioso, e importantes desordenes neurológicos. La anemia parece ser debida a un defecto en el metabolismo del hierro. La enzima ferroxidasa que contiene cobre es necesaria para la conversión del hierro desde el estado  $Fe^{2+}$  (forma en la que se absorbe) al estado  $Fe^{3+}$  (en cuya forma se puede unir a la proteína plasmática transferrina). La desmineralización ósea y la fragilidad de los vasos sanguíneos se pueden atribuir directamente a los defectos en la formación de colágeno y elastina. La hipercolesterolemia puede estar relacionada con incrementos en la relación entre los ácidos grasos saturados y monoinsaturados de la serie C18, debido a una reducción en la actividad de la C18,  $\Delta$ 9-desaturasa. Habitualmente solo se observan síntomas reconocibles de carencia de cobre como resultado de un exceso de ingesta de zinc y en el síndrome de Menke, enfermedad hereditaria relativamente rara ligada al cromosoma X y asociada con un defecto en el transporte de cobre

(Mercer, 2001). La enfermedad de Wilson, enfermedad autonómica recesiva, está asociada a una acumulación anormal de cobre en varios tejidos, y se puede tratar con la penicilamina, que es un agente quelante de cobre de procedencia natural (Dichi *et al.*, 1991; Devlin, 2004; Gupta *et al.*, 2009).

### **3.3. Manganeso**

El manganeso funciona como cofactor de hidrolasas, aminopeptidasas, descarboxilasas y transferasas y participa en la síntesis de glucoproteínas y proteoglicanos. Es cofactor de enzimas antioxidantes, como la superóxido dismutasa en su forma SOD2, mitocondrial (Barra *et al.*, 1984; Fariweather-Tait *et al.*, 1996; Zelko *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2009; Terevinto *et al.*, 2010). La arginasa que contiene manganeso cataliza el primer paso de la síntesis de carbohidratos a partir del piruvato. (Fariweather-Tait *et al.*, 1996). Es cofactor de la enzima antioxidante Mn-SOD, mitocondrial. Su absorción es relativamente ineficiente, menor a un 5%. Es transportado por la  $\alpha$ -2-macroglobulina y la transferrina (Fariweather-Tait *et al.*, 1996). Su deficiencia es rara en humanos y generalmente ocurre durante el desarrollo temprano resultando en anomalías esqueléticas y ataxia irreversible (Keen *et al.*, 1999; Harper *et al.*, 2001).

### **3.4. Hierro**

El hierro es constituyente de enzimas del grupo hemo (hemoglobinas, citocromos), como componente de la hemoglobina y de la mioglobina es requerido para el transporte de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> mientras que en los citocromos y en las proteínas con hierro no hemo, es necesario para la fosforilación oxidativa. Como componente de la enzima lisosomal esencial mieloperoxidasa, es necesario para la fagocitosis adecuada y para la efectiva acción de los neutrófilos sobre las bacterias (Antonini, 1965; Solomon *et al.*, 2000; Devlin, 2004). El hierro es componente necesario del centro activo de la catalasa, enzima antioxidante que actúa en conjunto con la SOD para descomponer intermediarios reactivos del oxígeno con gran poder oxidante, en productos inofensivos como agua y oxígeno (Beutler *et al.*, 1958; Putnam *et al.*, 2000; Terevinto *et al.*, 2010).

El hierro se encuentra en los alimentos, tanto en forma inorgánica, como ferroso y compuestos férricos, como en forma orgánica, como el hierro hemínico (Carpenter *et al.*, 1992). Antes de que pueda tener lugar la absorción, el hierro se ha de separar

de estos transportadores (proceso que se ve facilitado por las secreciones ácidas del estómago) y reducido a la forma ferrosa (proceso favorecido por el ácido ascórbico). Sólo el 10% del hierro de una dieta media se absorbe habitualmente, pero se puede aumentar la eficiencia de la absorción hasta el 30% en la carencia grave de hierro. El metabolismo del hierro es peculiar en el sentido de que opera en su mayor parte como un sistema cerrado en el que los depósitos de hierro son reutilizados eficientemente por el cuerpo. Las pérdidas de hierro son mínimas (menos de 1 mg diario), y la absorción de hierro también es mínima incluso en las mejores condiciones (Fontecave *et al.*, 1993; Conrad *et al.*, 1999; Devlin, 2004).

En el organismo, el hierro es absorbido por las células de la mucosa del intestino delgado, principalmente en el duodeno, mediante un mecanismo activo y saturable (Fontecave *et al.*, 1993; Fariweather-Tait *et al.*, 1996). La transferrina transporta el hierro (2 moles de  $\text{Fe}^{3+}$  por mol de transferrina) en la circulación hasta los sitios donde es requerido. En muchas células existen receptores de superficie para transferrina. La unión de la transferrina a estos, desencadena la introducción de la proteína por endocitosis mediada por receptor. El pH ácido del interior de los lisosomas provoca que el hierro se disocie de la proteína para su utilización. El hierro es almacenado como ferritina, que normalmente existe en poca cantidad en el plasma, pero en situaciones de exceso de hierro, las reservas se incrementan de forma notable, existiendo mucha más ferritina en los tejidos, como el hígado y bazo. La hemosiderina es también una proteína que almacena hierro, pero se relaciona con estados de almacenamiento excesivo de hierro (Fontecave *et al.*, 1993; Andrews, 1999; Conrad *et al.*, 1999; Harper *et al.*, 2001; Conrad *et al.*, 2002). En el hombre adulto, 95% del hierro requerido para la síntesis de hemoglobina deriva de la degradación de glóbulos rojos. El cuerpo no cuenta con un sistema activo de excreción de hierro sino que es eliminado en células descamadas y hemorragias. Cualquier exceso del mismo se almacena como ferritina o hemosiderina principalmente en el hígado y el bazo (Fontecave *et al.*, 1993; Fariweather-Tait *et al.*, 1996; Conrad *et al.*, 2002).

**Tabla 1. Ingestas dietarias de referencia (DRI) de zinc, cobre, manganeso y hierro para distintos grupos poblacionales.**

<b>Franja etaria</b>	<b>Cobre (µg/d)</b>	<b>Hierro (mg/d)</b>	<b>Manganeso (mg/d)</b>	<b>Zinc (mg/d)</b>
<b>Infantes</b>				
0 - 6 meses	<i>200</i>	<i>0,3</i>	<i>0,003</i>	<i>2</i>
6 - 12 meses	<i>220</i>	<b>11</b>	<i>0,6</i>	<b>3</b>
<b>Niños</b>				
1 - 3 años	<b>340</b>	<b>7</b>	<i>1,2</i>	<b>3</b>
4 - 8 años	<b>440</b>	<b>10</b>	<i>1,5</i>	<b>5</b>
<b>Hombres</b>				
9 - 13 años	<b>700</b>	<b>8</b>	<i>1,9</i>	<b>8</b>
14 - 18 años	<b>890</b>	<b>11</b>	<i>2,2</i>	<b>11</b>
19 - 30 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>2,3</i>	<b>11</b>
31 - 50 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>2,3</i>	<b>11</b>
51 - 70 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>2,3</i>	<b>11</b>
> 70 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>2,3</i>	<b>11</b>
<b>Mujeres</b>				
9 - 13 años	<b>700</b>	<b>8</b>	<i>1,6</i>	<b>8</b>
14 - 18 años	<b>890</b>	<b>15</b>	<i>1,6</i>	<b>9</b>
19 - 30 años	<b>900</b>	<b>18</b>	<i>1,8</i>	<b>8</b>
31 - 50 años	<b>900</b>	<b>18</b>	<i>1,8</i>	<b>8</b>
51 - 70 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>1,8</i>	<b>8</b>
> 70 años	<b>900</b>	<b>8</b>	<i>1,8</i>	<b>8</b>
<b>Embarazo</b>				
14 - 18 años	<b>1000</b>	<b>27</b>	<i>2</i>	<b>12</b>
19 - 30 años	<b>1000</b>	<b>27</b>	<i>2</i>	<b>11</b>
31 - 50 años	<b>1000</b>	<b>27</b>	<i>2</i>	<b>11</b>
<b>Lactancia</b>				
14 - 18 años	<b>1300</b>	<b>10</b>	<i>2,6</i>	<b>13</b>
19 - 30 años	<b>1300</b>	<b>9</b>	<i>2,6</i>	<b>12</b>
31 - 50 años	<b>1300</b>	<b>9</b>	<i>2,6</i>	<b>12</b>

Las RDA se presentan en negritas y las IA en cursiva. Datos tomados de Institute of Medicine of the National Academies (2011).

#### **4. Aportes minerales de la carne a la nutrición humana**

La carne bovina es uno de los alimentos con mayor contenido de hierro y de particular importancia es que en esta se presenta como hierro hemínico derivado de la hemoglobina y de la mioglobina, con alta biodisponibilidad (40%) no afectada por otros factores dietarios como la presencia de fibras. También se puede encontrar como no hemínico o inorgánico con baja biodisponibilidad (5%) (Purchas, Busboom, 2005; del Puerto *et al.*, 2007). La deficiencia de hierro es uno de los problemas nutricionales más importantes en el mundo, que afecta millones de personas especialmente a mujeres en edad reproductiva y niños. El síntoma mejor conocido de la carencia de hierro es la anemia. La carencia de hierro está también asociada a una disminución de la inmunocompetencia, fatiga, problemas de crecimiento, raquitismo y malfuncionamiento del sistema enzimático antioxidante del organismo (Fariweather-Tait *et al.*, 1996; Harper *et al.*, 2001; Devlin, 2004; Purchas *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2008; Cabrera *et al.*, 2010).

El contenido de zinc, cobre, manganeso, hierro total y hierro hemínico en la carne puede variar con la especie animal, la alimentación, edad del animal, tipo de músculo o procesos a los que se somete el músculo que se transforma en carne; entre ellos el proceso de maduración (Purchas *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2007; del Puerto *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2009; Cabrera *et al.*, 2010).

El almacenamiento de carne enfriada se lleva a cabo para servir como stock de amortiguación entre la producción y el envío o consumo y a la vez permite que se produzca la maduración.

La maduración es un proceso dependiente de enzimas proteolíticas endógenas, que actúan sobre proteínas específicas dando como resultado el aumento de la terneza y el desarrollo del sabor, cualidades ambas, que aumentan la aceptabilidad del consumidor (Cano-Muñoz, 1991).

Las principales proteasas involucradas son las catepsinas y las calpaínas que actúan sobre desmina, titina y nebulina, entre otras, generando una pérdida de integridad de la miofibrilla y pérdida de las conexiones entre la membrana y las miofibrillas, permitiendo así el desarrollo de la terneza (Geesink *et al.*, 2006; Ouali *et al.*, 2006).

La maduración depende de la temperatura y puede ser acelerada con el aumento de la misma, pero por razones de higiene se recomienda que se realice la maduración a 4 ° C y humedad relativa de 85-95 por ciento. En estas condiciones la maduración tiene lugar en dos semanas para la carne de vacuno (Cano-Muñoz, 1991). Este

proceso también podría causar variación en el contenido de minerales ya que conlleva cambios enzimáticos y movimientos de agua (Ouali *et al.*, 2006), sin embargo, esto no ha sido estudiado aún.

## **5. Importancia de la determinación de contenidos minerales de la carne bovina uruguaya**

La investigación sobre contenido de microminerales en la carne bovina producida en nuestro país es muy escasa, especialmente sobre carne de bovinos de *feedlot*. La información de los aportes de minerales de la carne bovina producida en nuestro país con las características propias del *feedlot* utilizado por nuestros productores es necesaria para aumentar su competitividad y asegurar su inserción en mercados internacionales cada vez más exigentes. Estudios en este tema no solo brindan información a la industria que procesa la carne como materia prima, sino también a los especialistas en salud y nutrición, y a la población en general, para los que la carne bovina es uno de los alimentos básicos de la dieta uruguaya.

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## **Hipótesis**

El contenido de zinc, cobre, manganeso, hierro, hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro en la carne de novillos Hereford terminados a grano varía con el tipo de músculo y/o la maduración de la carne.

## **Objetivo general**

Determinar si existe variación en el contenido de zinc, cobre, manganeso, hierro, hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro en distintos cortes de novillos Hereford terminados a grano producidos en Uruguay y luego de la maduración.

## **Objetivos específicos**

Determinar el contenido de zinc, cobre, manganeso, hierro total, hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro en la carne de novillos Hereford, terminados a grano, producidos en Uruguay, en los músculos *Gluteus medius*, *Psoas major* y *Longissimus dorsi* frescos y madurados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **Animales y músculos**

Ocho novillos Hereford fueron alimentados por pastoreo extensivo y terminados a grano (110 días previos a la faena). Los animales de 22 a 24 meses de edad se sacrificaron en una planta frigorífica autorizada cumpliendo con los requisitos reglamentarios oficiales. Inmediatamente después los músculos *Gluteus medius* (cuadril), *Psoas major* (lomo) y *Longissimus dorsi* (bife angosto) se removieron de las carcasas enfriadas y se trasladaron al laboratorio en recipientes refrigerados. Allí, se limpiaron de la grasa visible y se dividieron en partes iguales, una parte se congeló inmediatamente a -30°C, y la otra se hizo madurar a 2 °C bajo vacío durante 14 días y luego se congelaron a -30 °C hasta el análisis.

### **1. Análisis Químicos: Contenido de materia seca, ceniza, zinc, cobre, manganeso y hierro**

#### **1.1 Materia seca**

Se cortó 2g de cada muestra y se mantuvo en estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante (al menos 24 horas). Se expresa el contenido de materia seca como porcentaje del peso fresco. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

#### **1.2 Ceniza**

Se cortó 7g de cada muestra y se secó en estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante. Luego se llevó a mufla a 550°C durante 16 horas hasta obtener cenizas blancas. Se expresa el contenido de ceniza como porcentaje del peso seco.

#### **1.3 Contenido de zinc, cobre, manganeso e hierro**

Para la determinación del contenido de cada mineral, las muestras de 7 gramos fueron primero secadas a 105°C en estufa y luego hechas cenizas y sometidas a digestión ácida en Erlenmeyers cubiertos con bolas de vidrio para evitar proyecciones, en solución de ácido clorhídrico 6M y ácido nítrico 1M calentadas sobre placa calefactora (A.O.A.C, 1999; Jorhem, 2000). Se midió el contenido de cada mineral por espectrofotometría de absorción atómica. La curva estándar se realizó con diluciones, preparadas inmediatamente antes de medir, a partir de soluciones de cada uno de los minerales, de 1g/L (FLUKA). En la determinación de hierro se utilizó CaCl<sub>2</sub> 0,44% p/v como modificador de matriz.

### **2. Contenido de hierro hemínico y relación hierro hemínico/hierro**

#### **2.1 Contenido de hierro hemínico**

Se determinó la concentración de hierro hemínico a partir del contenido total de hematina por el método de Hornsey (1956) adaptado por Cabrera *et al.* (2007) para

muestras pequeñas, modificado por contenido de materia seca. Brevemente, se cortó finamente 2g de cada muestra y se maceró en 9 mL de acetona acidificada al 90% en tubos de ensayo durante un minuto. Se procedió minimizando la exposición de las muestras a la luz para reducir la decoloración del pigmento durante la extracción. Los tubos se sellaron para reducir la evaporación y se mantuvieron durante 1 hora en la oscuridad a temperatura ambiente y luego se filtraron con filtros de papel Macherey-Nagel 640 sin cenizas. La hematina se cuantificó por espectrofotometría en su máximo de absorción a 640 nm y se calculó el contenido de hierro hemínico con el factor 0,0882  $\mu\text{g Fe}/\mu\text{g}$  hematina.

## **2.2 Relación hierro hemínico/hierro**

La relación hierro hemínico/hierro se calculó como el contenido de hierro hemínico dividido el contenido de hierro total.

## **Análisis estadístico**

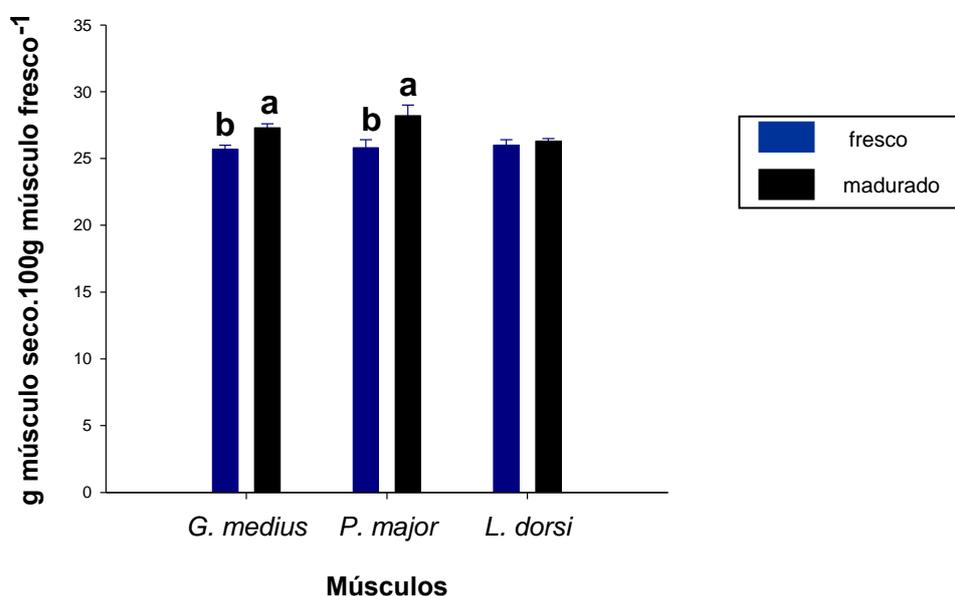
El tratamiento de datos se realizó con el software NCSS (NCSS, 329 North 1000 East, Kaysville, UT 84037). Para los datos de materia seca, ceniza, zinc, cobre, manganeso, hierro, hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro se consideró el efecto del tipo de músculo y de la maduración utilizando el procedimiento GLM ANOVA ( $P \leq 0,05$ ). Cuando se halló un efecto del tipo de músculo los datos se analizaron utilizando un ANOVA de una vía, seguido del test de Tukey-Kramer cuando se hallaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ). Cuando se halló efecto de la maduración se utilizó el test T pareado para comparar los datos de los músculos frescos y los músculos con 14 días de maduración ( $P \leq 0,05$ ). Todos los datos se presentan como media  $\pm$  (SEM).

## RESULTADOS

# 1. Contenido de materia seca, ceniza, zinc, cobre, manganeso y hierro

## 1.1. Materia seca

Se determinó que no hubo efecto del tipo de músculo ( $P=0,24$ ) ni de la interacción entre el tipo de músculo y proceso de maduración ( $P=0,10$ ). La maduración ejerce efecto sobre el contenido de materia seca ( $P=0,001$ ). Como se observa en la figura 5, el contenido de materia seca en los músculos bovinos *G. medius* ( $t=-3,62$ ;  $P=0,004$ ) y *P. major* ( $t=-4,26$ ;  $P=0,002$ ), aumentó con la maduración. No hubo diferencias significativas el músculo *L. dorsi* fresco y madurado ( $t=1,24$ ;  $P=0,6$ ).

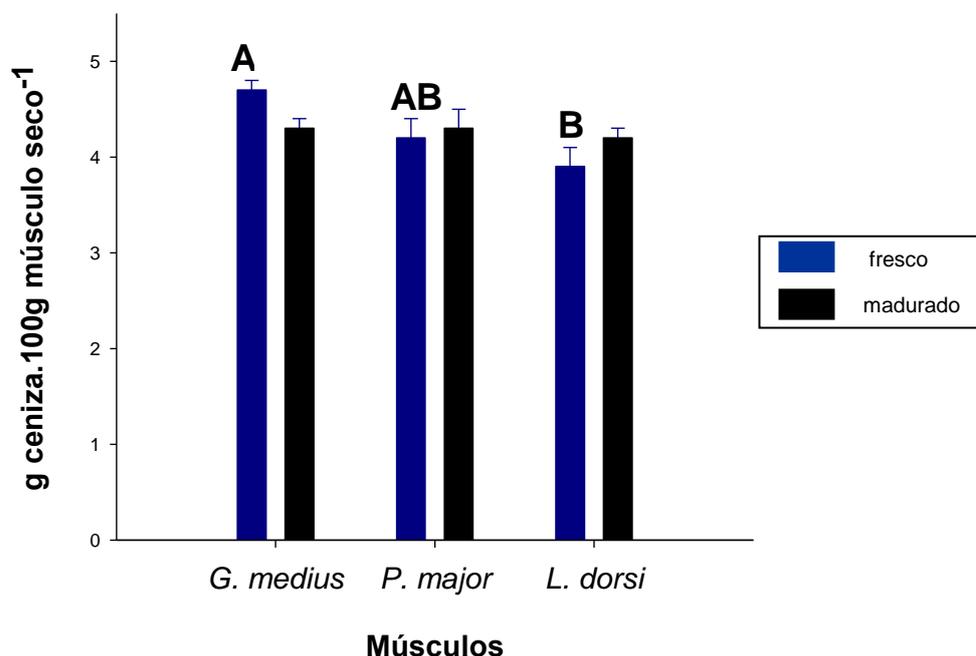


EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	N.S.	F = 1,46	GL = 2
Maduración	P=0,001	F = 12,66	GL = 1
Interacción músculo x maduración	N.S.	F = 2,40	GL = 2

**Figura 5. Contenido de materia seca de los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) en gramos de músculo seco/100 gramos de músculo fresco.** Letras minúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre el estado fresco y el madurado para cada músculo. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. N.S. = no significativo, GL: grados de libertad

## 1.2. Ceniza

En la figura 6 se presenta el contenido de ceniza en los músculos bovinos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos y madurados. No hubo efecto del proceso de maduración ( $P=0,9$ ), ni de la interacción entre maduración y el tipo de músculo ( $P=0,1$ ). Se halló un efecto significativo del tipo de músculo sobre el contenido de ceniza ( $P=0,01$ ), con diferencias entre los tres músculos frescos ( $F=6,97$ ;  $P=0,005$ ) pero no entre los madurados ( $F=0,21$ ;  $P=0,8$ ). El músculo *L. dorsi* presentó un menor contenido de ceniza que *G. medius* y *P. major*.



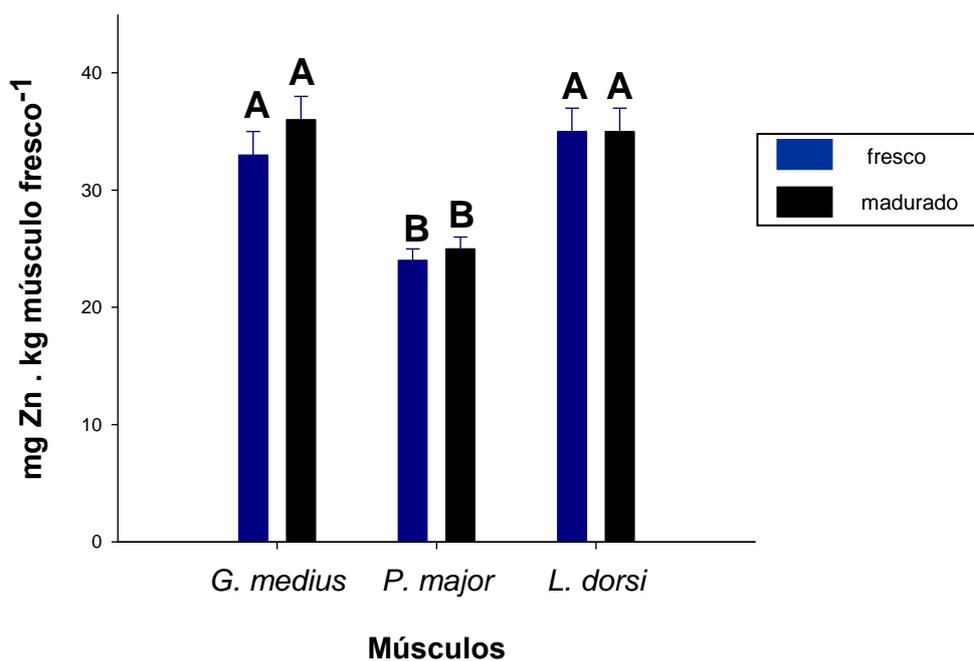
EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	$P=0,015$	$F = 4,65$	$GL = 2$
Maduración	N.S.	$F = 0,01$	$GL = 1$
Interacción músculo x maduración	N.S.	$F = 2,43$	$GL = 2$

**Figura 6. Contenido de ceniza de los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) en gramos de ceniza/100 gramos de músculo seco.** Letras mayúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los músculos en un mismo estado, fresco o madurado. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad

### 1.3 Contenido de zinc, cobre, manganeso y hierro

#### 1.3.1 Zinc

La maduración y la interacción de la maduración y el tipo de músculo no ejercen efectos significativos sobre el contenido de zinc ( $P=0,3$  y  $P=0,9$ , respectivamente). El tipo de músculo tuvo efecto sobre el contenido de este mineral ( $P\leq 0,0001$ , figura 7). Dicho contenido fue igual en los músculos *G. medius* y *L. dorsi*, y menor en el músculo *P. major*. Esta situación se manifiesta tanto para músculos frescos ( $F=11,48$ ;  $P=0,0004$ ) como para los músculos madurados ( $F= 13,58$ ;  $P=0,0002$ ).

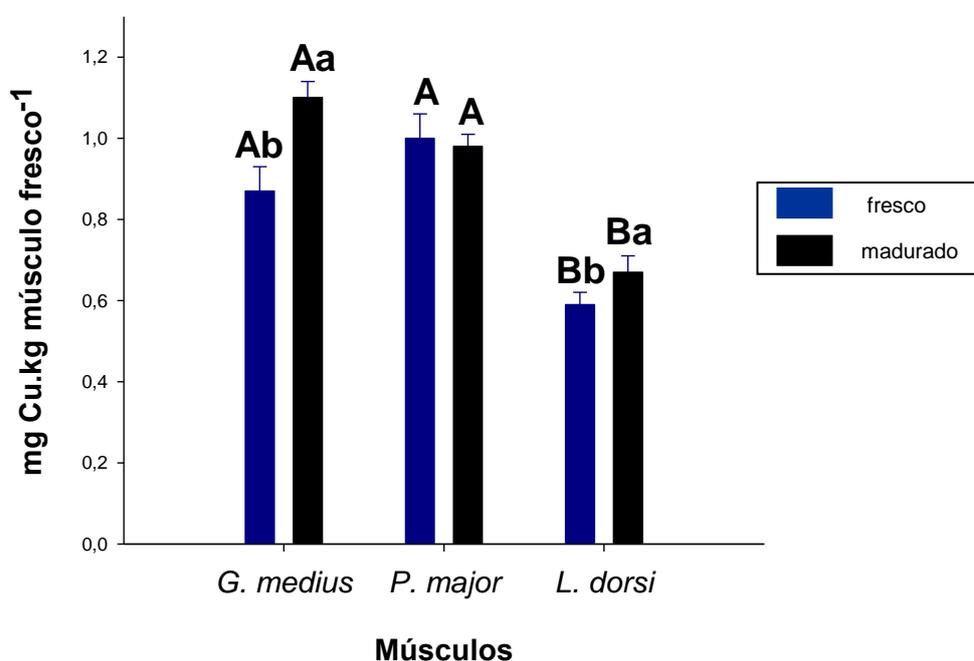


EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	$P\leq 0,0001$	$F = 24,85$	GL = 2
Maduración	N.S.	$F = 1,09$	GL = 1
Interacción músculo x maduración	N.S.	$F = 0,16$	GL = 2

**Figura 7. Contenido de zinc en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Zn.Kg de músculo fresco<sup>-1</sup>.** Letras mayúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los músculos en un mismo estado, fresco o madurado. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad

### 1.3.2 Cobre

En la figura 8 se expone el contenido de cobre en los músculos *G. medius*, *L. dorsi* y *P. major* frescos y madurados. Los tres efectos considerados, maduración, tipo de músculo e interacción de ambos, fueron significativos ( $P=0,008$ ;  $P\leq 0,0001$  y  $P=0,02$ , respectivamente). El contenido de cobre fue igual en los músculos *G. medius* y *P. major* y menor en el músculo *L. dorsi* tanto en los músculos frescos ( $F=17,39$ ;  $P\leq 0,0001$ ) como en los madurados ( $F=37,94$ ;  $P\leq 0,0001$ ). El contenido de cobre en los músculos *G. medius*, y *L. dorsi* se incrementó con la maduración ( $t=-2,81$ ;  $P=0,01$ ; y  $t=-2,59$ ;  $P=0,02$ , respectivamente). El músculo *P. major* mantuvo su mismo contenido de cobre luego de la maduración ( $t=0,35$ ;  $P=0,7$ ).

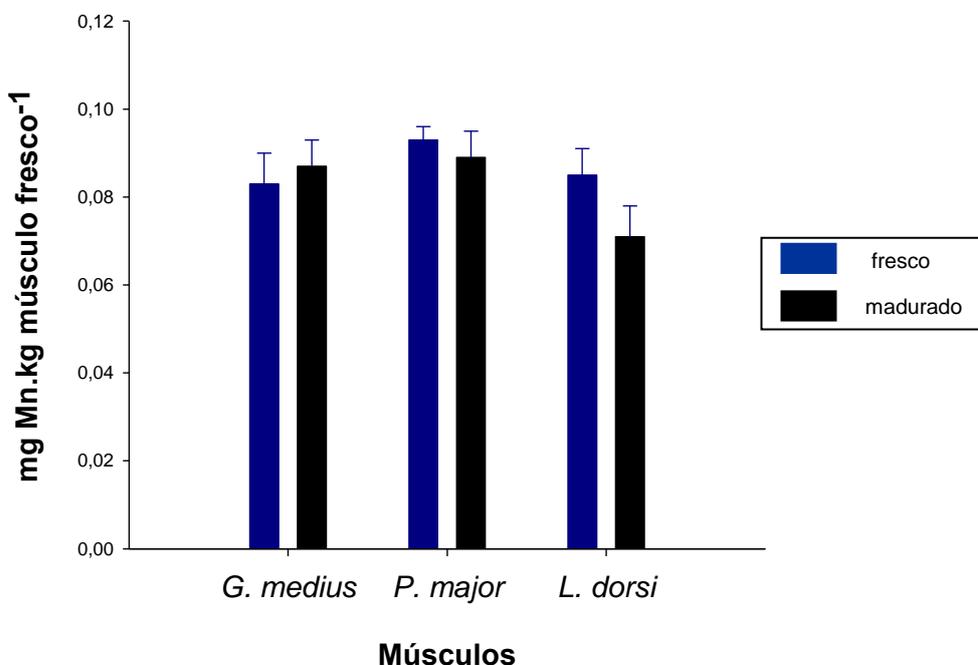


EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	$P\leq 0,0001$	$F = 44,58$	$GL = 2$
Maduración	$P=0,008$	$F = 7,67$	$GL = 1$
Interacción músculo x maduración	$P=0,02$	$F = 4,44$	$GL = 2$

**Figura 8. Contenido de cobre en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) mg Cu.Kg de músculo fresco<sup>-1</sup>.** Letras mayúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los músculos en un mismo estado, fresco o madurado. Letras minúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P\leq 0,05$ ) para cada músculo entre los estados fresco y madurado. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. GL: grado de libertad.

### 1.3.3 Manganeso

No hubo efectos de la maduración ( $P=0,4$ ), del tipo de músculo ( $P=0,1$ ) o de la interacción de la maduración y el tipo de músculo ( $P=0,4$ ), sobre el contenido de manganeso (figura 9).

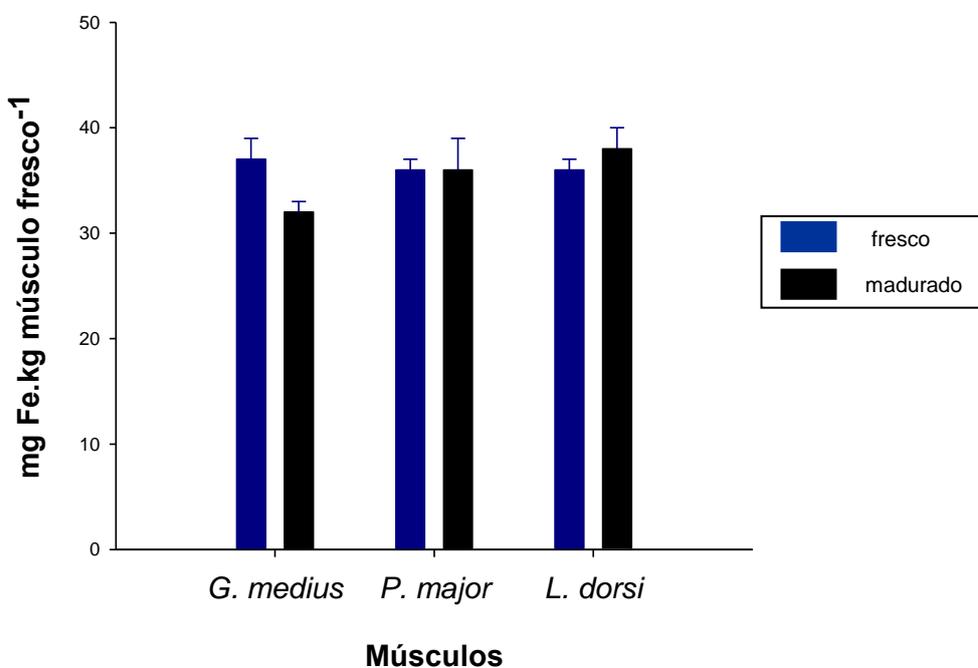


EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	N.S.	F = 2,40	GL = 2
Maduración	N.S.	F = 0,84	GL = 1
Interacción músculo x maduración	N.S.	F = 1,06	GL = 2

Figura 9. Contenido de manganeso en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Mn.Kg de músculo fresco<sup>-1</sup>. Los datos se expresan como la media ± S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad

### 1.3.4 Hierro

La maduración ( $P=0,6$ ), el tipo de músculo ( $P=0,3$ ), y la interacción de ambos factores ( $P=0,1$ ), no tuvieron efecto sobre el contenido de hierro.



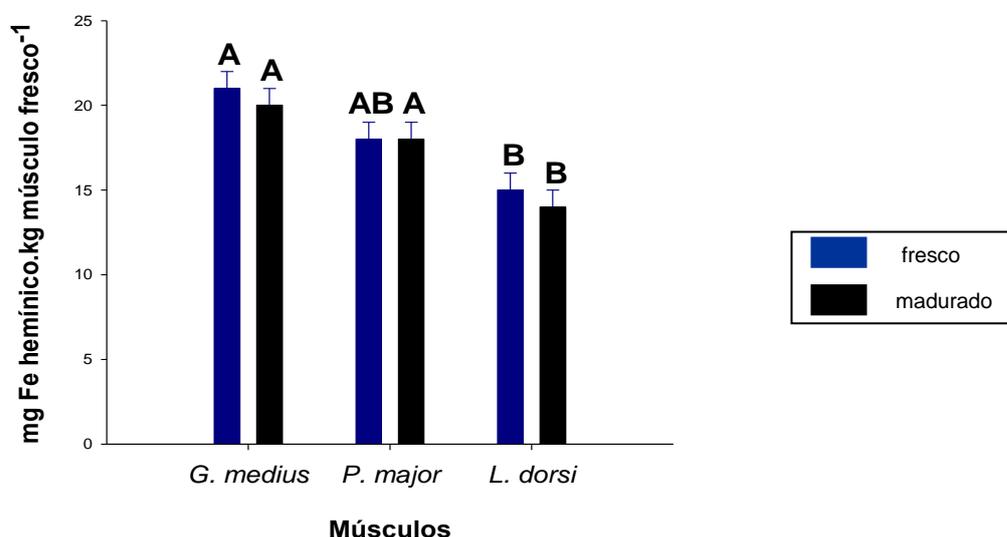
EFECTOS PRINCIPALES			
Efecto del tipo de músculo	N.S	F = 1,14	GL = 2
Efecto de la maduración	N.S	F = 0,24	GL = 1
Interacción músculo x maduración	N.S	F = 2,44	GL = 2

Figura 10. Contenido de hierro en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (to) y madurados 14 días (t14) en mg Fe.Kg de músculo fresco<sup>-1</sup>. Los datos se expresan como la media ± S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad

## 2. Contenido de hierro hemínico y relación hierro hemínico/hierro

### 2.1 Contenido de hierro hemínico

Los contenidos de hierro hemínico en los tres músculos estudiados en los estados fresco y madurado se presentan en la figura 11. No hubo efecto del proceso de maduración ( $P=0,8$ ) ni de la interacción entre tipo de músculo y proceso de maduración ( $P=0,8$ ). Se observó efecto del tipo de músculo ( $P\leq 0,0001$ ) sobre el contenido de hierro hemínico. El contenido de hierro hemínico fue mayor en el músculo, *G. medius* fresco que en el músculo *L. dorsi* fresco, ( $F=6,89$ ;  $P=0,005$ ). El contenido de hierro hemínico fue igual en los músculos *G. medius* y *P. major* madurados y el menor contenido se halló en el músculo *L. dorsi* madurado ( $F=21,19$ ;  $P\leq 0,0001$ ).

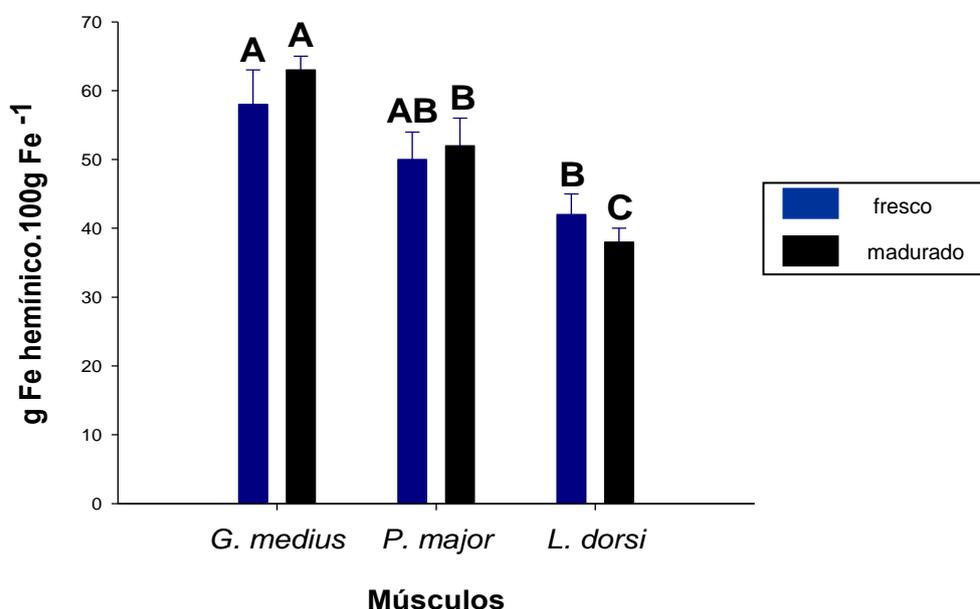


EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	$P\leq 0,0001$	$F = 20,56$	$GL = 2$
Maduración	N.S.	$F = 0,05$	$GL = 1$
Interacción músculo x maduración	N.S.	$F = 0,22$	$GL = 2$

Figura 11. Contenido de hierro hemínico en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (t0) y madurados 14 días (t14) en mg hierro hemínico.Kg de músculo fresco<sup>-1</sup>. Letras mayúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los músculos en un mismo estado, fresco o madurado. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad.

## 2.2 Relación hierro hemínico/hierro

En la figura 12 se presenta los resultados de la relación hierro hemínico/hierro de los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos y madurados. No se observó efecto de la maduración ( $P=0,6$ ) o de la interacción del tipo de músculo y el proceso de maduración ( $P=0,5$ ). Se encontró un efecto del tipo de músculo sobre la relación hierro hemínico/hierro ( $P\leq 0,0001$ ). Al comparar los músculos frescos se observó que el músculo *G. medius* presentó una relación hierro hemínico/hierro mayor que la de *L. dorsi* ( $F=4,34$ ;  $P=0,03$ ). Entre los músculos madurados el *G. medius* presentó la mayor relación hierro hemínico/hierro, seguido por el *P. major* y la menor relación se halló en el músculo *L. dorsi* ( $F=16,65$ ;  $P\leq 0,0001$ ).



EFECTOS PRINCIPALES			
Tipo de músculo	$P\leq 0,0001$	$F = 17,25$	GL = 2
Maduración	N.S.	$F = 0,24$	GL = 1
Interacción músculo x maduración	N.S.	$F = 0,78$	GL = 2

**Figura 12. Relación entre hierro hemínico y hierro en los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsi* frescos (t0) y madurados 14 días (t14) en gramos de hierro hemínico/100 gramos de hierro.** Letras mayúsculas diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre músculos en un mismo estado, fresco o madurado. Los datos se expresan como la media  $\pm$  S.E.M. N.S. = no significativo. GL: grados de libertad

## DISCUSIÓN

## **1. Contenido de materia seca, ceniza, zinc, cobre, manganeso y hierro**

### **1.1. Materia seca**

Los contenidos de materia seca de los tres músculos analizados en el presente trabajo (25,7 – 28,2%) se hallan dentro de los valores esperados para los músculos bovinos. En general los valores de materia seca de los músculos bovinos se hallan en el entorno del 24 al 30% dependiendo de la categoría del animal, la raza, el músculo y la alimentación recibida por los animales (Zarkadas *et al.*, 1987, Padre *et al.*, 2006, Uzcátegui-Bracho *et al.*, 2008).

Los valores de materia seca de los músculos analizados son similares a los valores reportados previamente por Zarkadas *et al.* (1987) para los músculos *Semimembranosus* (25,0%), *Semitendinosus* (25,6%) y para el *Sternomandibularis* externo (24,8%) de vacas Holando-Fresian de 8 años de edad comprados en comercios de Canadá. Al igual que en este trabajo no se encontró diferencias en el contenido de materia seca entre los músculos.

El proceso de maduración afectó el contenido de materia seca en forma dependiente del músculo estudiado. Los músculos *G. medius* y *P. major* presentaron contenidos mayores luego de un período de maduración de 14 días. Este aumento podría ser explicado por la pérdida de agua retenida por las proteínas musculares las cuales son degradadas con la consiguiente pérdida de estructura microscópica que facilita la movilización y pérdida del agua generándose así un incremento en la materia seca muscular (Ouali *et al.*, 2006). El mantenimiento del contenido de materia seca luego de la maduración en el músculo *L. dorsi* podría deberse a diferencias en la velocidad de degradación de las proteínas musculares entre los distintos músculos o a un contenido de agua intrínsecamente menor en este músculo en relación a los otros dos estudiados.

### **1.2. Ceniza**

En general, el contenido de ceniza en base fresca de los músculos bovinos se halla en el entorno del 1% (Padre *et al.*, 2006, Uzcátegui-Bracho *et al.*, 2008). En nuestro trabajo se halló un contenido promedio de ceniza de 3,9% respecto a peso seco y 0,8% respecto a peso fresco para novillos Hereford terminados a grano. Los contenidos de ceniza de los músculos que hemos analizados son similares a los hallados por Padre *et al.* (2006) para el *Longissimus* fresco de novillos Nelore x Aberdeen Angus terminados a pastura. En dicho estudio se informa un 0,9% de ceniza respecto a peso fresco.

El contenido de ceniza se relaciona al contenido de elementos inorgánicos de los músculos analizados y brinda una idea de los contenidos de minerales presentes. Las diferencias entre los contenidos de ceniza de los músculos podrían interpretarse

como diferencias en los contenidos de componentes inorgánicos tales como los minerales. En este contexto el músculo *G. medius* aportaría más minerales a la dieta humana que el músculo *L. dorsi*.

La diferencia en el contenido de ceniza que se observó en el músculo *G. medius* podría obedecer al hecho de que la maduración aumentó significativamente su contenido de materia seca de modo que al expresar la ceniza en base seca el porcentaje de ceniza se ve disminuido en el músculo madurado en relación al músculo fresco.

### **1.3. Contenido de zinc, cobre, manganeso e hierro**

#### **1.3.1. Zinc**

Los contenidos de zinc hallados en los tres músculos estudiados son ligeramente menores a los reportados previamente por Lombardi-Boccia *et al.* (2005) para cinco cortes de carne bovina comprados en mercados locales de Italia. El contenido de zinc en los cortes *sirloin, fillet, roast beef, topside* y *thick flank* variaba entre 39,4 y 47,4 mg /kg mientras los nuestros van de 24,3 mg/Kg en el músculo *P. major* fresco a 35,8 mg/Kg en el músculo *G. medius* madurado. Williamson *et al.*, (2005) reportaron valores de 40,0 a 47,0 mg/Kg para carne bovina magra de acuerdo a los valores presentados en bases de datos y tablas de composición de alimentos de Dinamarca, Reino Unido, Estados Unidos y Australia. Comparamos nuestros resultados con los obtenidos por Cabrera *et al.* (2010) para novillos Hereford y Braford terminados a pastura en Uruguay y observamos que fueron similares; entre 24,3 mg/Kg a 35,8 mg/Kg en nuestros músculos analizados vs. 23,0 a 40,0 mg/kg fresco promedio en novillos Hereford y Braford terminados a pasturas. Una posible explicación es la deficiencia de zinc de los suelos de nuestro país (Moron y Baethgen, 1998) y su consecuente deficiencia en los vegetales que se utilizan para la alimentación del ganado ya sea pastura o pastura con terminación a grano.

Por otra parte, en este trabajo hallamos diferencias en el contenido de zinc entre los tres músculos estudiados siendo los músculos *L. dorsi* y *G. medius* los de mayor contenido de zinc en comparación con el músculo *P. major*. En el trabajo realizado por Gerber *et al.*, (2009) se compararon los contenidos de zinc en dos cortes bovinos comprados en mercados locales de Suiza y Estados Unidos encontrándose diferencias entre los cortes y los orígenes de los cortes estando incluido es este último factor el sistema de producción animal del país. En el corte llamado *sirloin* se hallaron valores de 37,0 mg/Kg para el proveniente de Suiza y 38,0 mg/Kg para el de Estados Unidos mientras que para el corte *Rib-eye* de Suiza el contenido fue de 51,0 mg/Kg y para el de Estados Unidos 42,0 mg/Kg. Kotula y Lusby (1982) demostraron un efecto de la dieta (relación concentrado/forraje variable en el período de terminación) y de la edad de faena en el contenido de zinc de cinco músculos de novillos Aberdden Angus. Sus resultados se hallaban en el rango 26,1

a 51,4 mg/Kg fresco libre de grasa. En el marco de la ganadería tropical, Uzcátegui-Bracho *et al.*, (2008) hallaron contenidos de zinc que iban de 29,0 a 30,2 mg/Kg fresco para el músculo *L. dorsi* libre de grasa en novillos Criollos Limonero de 36 meses de edad criados a pastura o suplementados con un concentrado proteico, respectivamente. Este conjunto de factores, origen de la carne, sistema de producción y dieta, edad animal, podría explicar las similitudes y diferencias con nuestros resultados y reafirma el interés en determinar los contenidos minerales de la carne bovina en nuestros sistemas de producción.

El proceso de maduración no modificó los contenidos de zinc. Uno de los eventos de este proceso es la pérdida de agua, por lo que observando los resultados de materia seca para los músculos *G. medius* y *P. major* se podría suponer que el zinc muscular se halla en una forma que no se pierde en el agua de la maduración lo cual coincide con su papel de cofactor enzimático y con su unión a proteínas.

### 1.3.2. Cobre

Los contenidos de cobre hallados en los músculos *G. medius* y *P. major* son similares a los informados por Cabrera *et al.* (2010) para músculos de novillos Hereford y Braford terminados a pastura (0,2 a 1,2 mg/Kg tejido fresco). También están dentro del rango de valores (0,4 a 0,9 mg de Cu/ Kg tejido fresco) reportados para cinco músculos de bovinos comprados en mercados locales de Italia (Lombardi- Boccia *et al.*, 2005) cuya raza y alimentación no se detallan. Nuestros contenidos de cobre se hallaron dentro del rango 0,6 mg/Kg fresco de músculo *L. dorsi* a 1,1 mg/Kg en el músculos *G. medius* madurado siendo mayores a los hallados por Gerber *et al.*, (2009) para el *sirloin* y para el *Rib-eye* tanto para el proveniente de bovinos criados en Suiza como para los criados en Estados Unidos. Los contenidos de cobre reportados en dicho trabajo fueron 0,5 mg/Kg para el *sirloin* suizo, y 0,8 mg/Kg para el de Estados Unidos, 0,6 mg/Kg para el *Rib-eye* suizo y 0,8 mg/Kg para el *Rib-eye* de Estados Unidos hallándose diferencias significativas entre los cortes del mismo modo que nosotros hallamos diferencias entre los músculos analizados.

En base a la relación inversa entre contenido de lípidos de los músculos y contenido de cobre demostrado por Langlands *et al* (1987) podría explicarse el menor contenido de cobre en el músculo *L. dorsi*. Este músculo presentó un menor contenido de cenizas lo cual indirectamente da una idea del contenido de material inorgánico presente y no se halló diferencias en el contenido de materia seca en relación a los otros dos músculos lo cual podría indicar un mayor contenido porcentual de materiales tales como los lípidos que se incineran al convertir el músculo en ceniza. Si esta diferencia en contenido de lípidos fuera así coincidiría con la relación contenido de lípido a contenido de cobre ya explicada.

En el presente trabajo se hallaron niveles de cobre en el músculo *L. dorsi* ligeramente menores a los reportados por otros investigadores (Arenas de Moreno *et al.*, 2000; Huerta-Leidenz *et al.*, 2003; Cabrera *et al.*, 2010). En el trabajo de Huerta-Leidenz *et al.*, (2003) se reportaron niveles de cobre en el músculo *L. dorsi* de distintas razas bovinas de animales criados en Venezuela que iban de 0,8 mg/Kg de carne fresca mientras para este mismo músculo en el trabajo de Arenas de Moreno *et al.*, (2000) los valores de cobre fueron de 1,3 mg/Kg de carne fresca. Estos investigadores atribuyen los altos niveles de cobre a la influencia zebuína en el ganado utilizado. Nuestros valores de cobre para el músculo *L. dorsi* (0,6 mg/Kg fresco) son similares a los hallados por Uzcátegui-Bracho *et al.*, (2008) para este mismo músculo de novillos Criollos Limonero de 36 meses de edad criados a pastura (0,7 mg/Kg fresco). Los contenidos de cobre en los músculos frescos *G. medius* y *P. major* fueron mayores a los contenidos hallados para estos mismos músculos en el trabajo de Cabrera *et al.*, (2010) para novillos Hereford alimentados a pastura y de la misma edad. Por otra parte en el trabajo Cabrera *et al.*, (2010) no se halló efecto de la raza en el contenido de cobre en músculos de novillos Hereford y novillos Braford de la misma edad y alimentados a pastura. Tomando estos datos de Gerber *et al.*, (2009) en conjunto con los de Cabrera *et al.*, (2010) para músculos de novillos Hereford criados a pastura en nuestro país se podría suponer que el mayor contenido de cobre hallado en nuestro trabajo se debe a la terminación a grano de novillos.

El proceso de maduración afectó en forma diferente a los tres músculos. En el caso del músculo *G. medius* el mayor contenido de cobre hallado luego de la maduración podría entenderse como un efecto de concentración del mismo por pérdida de agua muscular basándonos en las diferencias de materia seca hallados para este músculo en sus estados fresco y madurado. *A priori* esta explicación no sería posible aplicarla al músculo *L. dorsi* ya que no se encontró una diferencia significativa en el contenido de materia seca entre ambos estados del músculo. Sin embargo, se podría suponer que durante la maduración hubo una pérdida de agua muscular, en una magnitud lo suficientemente grande para afectar la concentración de cobre, pero no para ser detectada en el contenido de materia seca, que es una variable macroscópica. El caso del músculo *P. major* parece ser distinto a los dos anteriores ya que hubo una concentración significativa de la materia seca pero a la vez no se modificó el contenido de cobre luego de la maduración. Esto parece indicar que en este músculo hubo tanto pérdida de agua como pérdida de cobre.

### **1.3.3. Manganeso**

Los resultados de contenido de manganeso son comparables a los obtenidos por Cabrera *et al.* (2010) para novillos Hereford alimentados con pasturas. Tanto en su investigación como en la presente, los valores de manganeso promedio son 0,09 mg/Kg de músculo fresco y no varían con el tipo de músculo. Estos valores de

manganeso también son similares a los reportados por Gerber *et al.*, (2009), en el *sirloin* de bovinos criados en Suiza hallaron valores de 0,1 mg/Kg y en el de animales de Estados Unidos 0,1 mg/Kg. En ese mismo trabajo se encontraron valores de manganeso para el *Rib-eye* de 0,1 mg/Kg en los provenientes de bovinos de Suiza y valores de 1,0 mg/Kg para los provenientes de Estados Unidos. Estos datos en conjunto sugieren que el contenido de manganeso en los músculos bovinos es mantenido en niveles similares pero que el sistema de cría (Suiza vs. Estados Unidos) influye en ellos.

Arenas de Moreno *et al.*, (2000) reportaron valores de 0,2 mg/Kg fresco para el músculo *L. dorsi* de novillos y toros de distintas razas criadas a pastura en Venezuela. En el trabajo de Huerta-Leidenz *et al.*, (2003) en ganadería tropical se reportaron valores de 0,3 mg/Kg fresco para el músculo *L. dorsi* de distintas razas bovinas criadas en Venezuela. Considerando la dispersión de los valores de manganeso hallados en dicho trabajo se podría decir que nuestros resultados son similares a los reportados por Huerta-Leidenz *et al.*, (2003). Por otra parte Uzcátegui-Bracho *et al.*, (2008) reportaron valores superiores a los nuestros para el músculo *L. dorsi* de novillos Criollos Limoneros de 36 meses de edad criados a pastura en un sistema de ganadería tropical (0,5 mg/Kg fresco libre de grasa, contenido de lípidos 2,9%).

Los resultados obtenidos por nosotros indican que el contenido de manganeso no varía con la maduración. No se halló bibliografía anterior de músculos bovinos madurados con las cuales comparar esta información. Se podría suponer, considerando los resultados de materia seca, que el manganeso muscular se halla en una forma que no se pierde en el agua de la maduración lo cual es coherente con su función de cofactor enzimático.

#### **1.3.4. Hierro total**

En un estudio de bases de datos y tablas de composición de alimentos de Dinamarca, Reino Unido, Estados Unidos y Australia Williamson *et al.*, (2005) reportaron valores de 16,0 a 24,0 mg /Kg para carne bovina magra. En la presente tesina se determinó un contenido promedio de hierro mayor al de estas bases de datos: 35,8 mg/Kg de músculo fresco. Nuestros resultados del contenido de hierro son mayores a los informados por Lombardi-Boccia *et al.*, (2005) para carne bovina comprada en comercios locales italianos (18,0 a 23,5 mg/Kg) de la que no se especifica las características del animal ni del sistema de cría. También son mayores a los valores de hierro hallados por Carpenter y Clark (1995) para carne bovina magra, 21,0 a 25,0 mg/Kg fresco y a los reportados por Huerta-Leidenz *et al.*, (2003) para el músculo *L. dorsi* de ganado tropical (19,3 mg/Kg fresco en promedio). Purchas y Busboom (2005) encontraron un contenido de hierro menor a los nuestros para los músculos *L. dorsi* y *T. bracchi* de terneros Angus terminados a pastura en

Estados Unidos (edad 16-17 meses) o a *feedlot* en Nueva Zelanda (un grupo de 16 a 17 meses de edad y otro de 27-28 meses de edad) lo cual concuerda con el hecho de que el contenido de hierro de los músculos aumenta con la edad del animal. En el trabajo realizado por Gerber *et al.*, (2009) se hallaron contenidos de hierro menores a los nuestros en el corte bovino *sirloin* (16,0 a 20,0 mg/Kg) y en el corte *Rib-eye* (18,0 a 25,0 mg/Kg) tanto para los provenientes de bovinos criados en Suiza como para los criados en Estados Unidos. Por otra parte en el trabajo de Kotula y Lusby (1982) los valores de hierro para cinco músculos distintos estuvieron en el rango de 20,8 a 38,8 mg/Kg fresco. Dado que nuestros valores son intermedios entre los obtenidos en diferentes condiciones de cría a base de pasturas y a *feedlot*, podríamos reafirmar la hipótesis de que varios factores afectan el contenido de hierro en la carne bovina y no solamente la alimentación. Las diferencias entre los resultados obtenidos en distintos *feedlots* puede deberse a la variabilidad entre los *feedlots* utilizados, por ejemplo en la composición elegida.

Nuestros resultados de contenido de hierro fueron similares a los obtenidos por Cabrera *et al.*, (2010) para novillos Hereford y novillos Braford alimentados a base de pasturas, y al igual que en nuestro caso no se observó diferencias entre los tres músculos estudiados. A diferencia de lo ocurrido en el presente trabajo, Purchas y Busboom (2005) encontraron un efecto del músculo estudiado donde el músculo *T. bracchi* de terneros Angus es más rico en hierro que el músculo *L. dorsi* y también un efecto combinado de la edad y alimentación de los animales en el contenido de hierro. Los animales de igual peso pero mayores y alimentados a pastura tenían mayor contenido de hierro que los de igual peso pero más jóvenes que eran terminados a *feedlot*. En nuestro trabajo el contenido de hierro además de ser similar en diferentes músculos, no se modificó por el proceso de maduración. Se podría suponer que la maduración no afectó el contenido de hierro debido a que este no se halla libre en las células sino que está unido a proteínas y por ello no se perdió en el agua liberada en la maduración.

## **2. Contenido de hierro hemínico y relación hierro hemínico/hierro**

### **2.1. Hierro hemínico**

Los valores obtenidos son similares a los presentados por Lombardi-Boccia *et al.*, (2002) para el *sirloin* y el *topside* de novillos, 17,2 y 16,8 mg/Kg fresco, respectivamente. Nuestros contenidos de hierro hemínico también se hallan en el mismo orden de magnitud que los presentados por Carpenter y Clark (1995) para carne bovina magra fresca (21,0-22,0 mg de hierro hemínico/Kg). En nuestro trabajo hallamos que el contenido de hierro hemínico era diferente para los músculos analizados siendo el músculo *L. dorsi* el que presentó el menor contenido de hierro hemínico entre los tres músculos estudiados. Estos hechos concuerdan con los demostrados por Purchas y Busboom (2005) donde se hallaron diferencias en el

contenido de hierro hemínico de los músculos *Longissimus* y *Triceps brachii*. Por otra parte el contenido de hierro hemínico reportado por Purchas y Busboom (2005) en el músculo *Longissimus* de terneros Angus fue 15,3 mg/Kg fresco, el cual se parece a nuestro valor de 14,5 mg/Kg fresco. En el mismo trabajo se reportó un contenido de hierro hemínico de 17,6 mg/Kg fresco para el músculo *Triceps brachii*, el cual es cercano a nuestro contenido para el músculo *P. major* (18,2 mg/Kg fresco). Considerando que los valores de hierro total hallados fueron mayores que los reportados por Purchas y Busboom (2005), podríamos suponer que ese mayor contenido de hierro que hallamos estaría presente en forma de hierro no hemínico. En relación al proceso de maduración se destaca que éste no afectó el contenido de hierro hemínico en los músculos analizados.

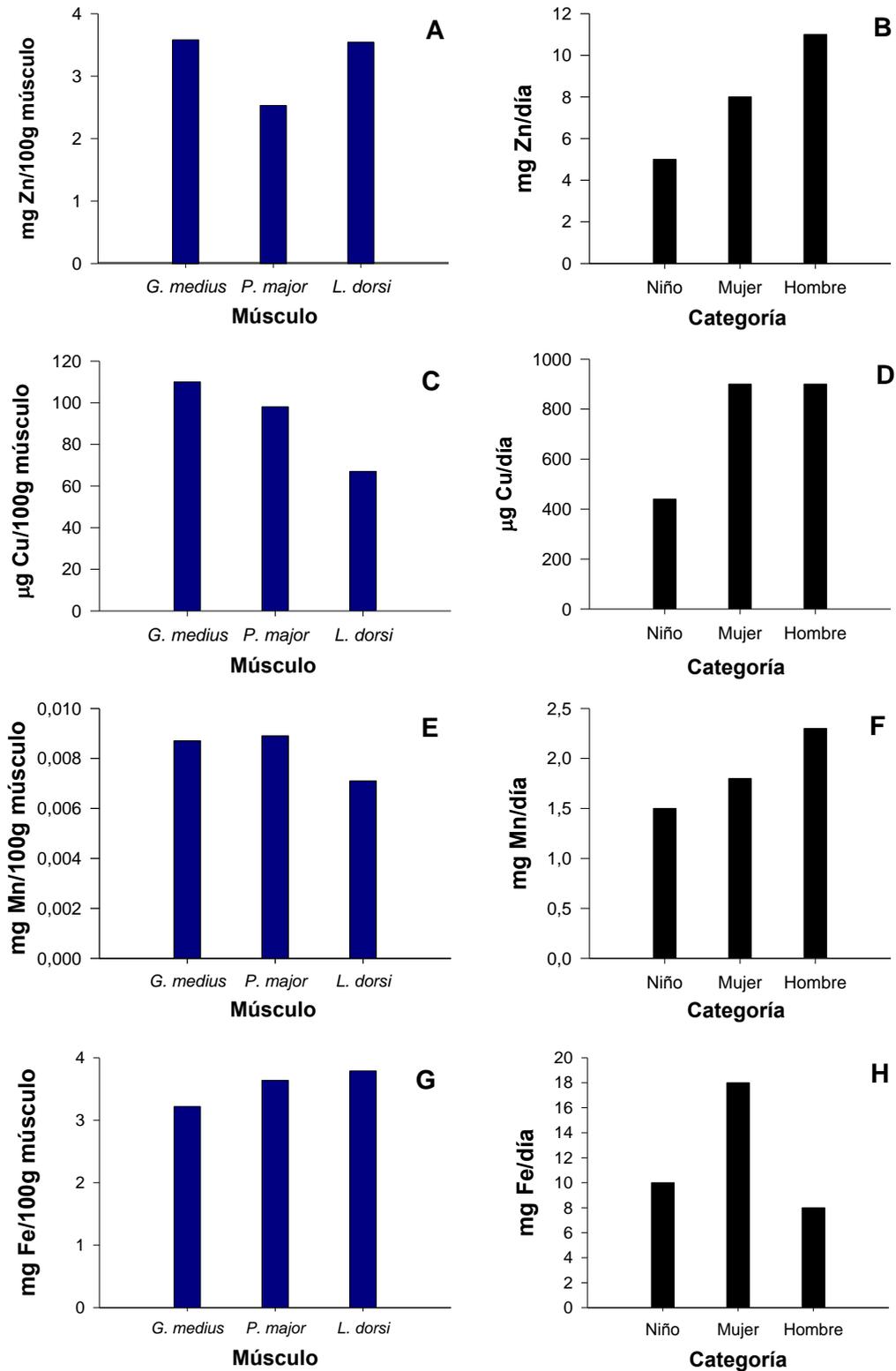
## **2.2. Relación hierro hemínico/hierro**

En este trabajo la relación de hierro hemínico respecto a hierro total varió entre músculos pero no se vio afectada por la maduración. Dado que el hierro total es similar en todos los músculos, la relación está condicionada principalmente por el contenido de hierro hemínico en los músculos. El mayor porcentaje de hierro hemínico se encontró en el músculo *G. medius*, seguido por el *P. major* y el *L. dorsi* con el menor porcentaje. El valor obtenido para el músculo *L. dorsi* (41,6%) fue casi la mitad de los expuestos por Purchas *et al.*, (2005) en músculos *Longissimus* y *Triceps brachii* de novillos Angus de 16-17 meses terminados en *feedlot* (87,7 y 84,4%, respectivamente). Nuestros contenidos de hierro presente como hierro hemínico variaron entre 38 y 64% siendo todos ellos menores a los valores presentados por Lombardi-Boccia *et al.*, (2002) para el *sirloin* (83,0%) y el *topside* (87,0%) comprados en mercados locales de Italia. De forma similar los valores de porcentaje de hierro presente como hierro hemínico reportado por Carpenter y Clark (1995) para carne bovina magra fueron de 90,0 a 102,0%. En relación a los tres trabajos citados el contenido de hierro por ellos reportados era la mitad del que nosotros hallamos; esto podría explicar nuestras diferencias con sus resultados. Por otra parte los resultados no necesariamente deberían ser iguales ya que las razas y edades, factores influyentes en la relación estudiada, son diferentes.

## **3. Consideraciones finales**

Considerando el conjunto de la información resultante de este trabajo se destaca que el proceso de maduración no causa pérdidas de zinc, cobre, manganeso, hierro ni de hierro hemínico en la carne bovina. La carne bovina es una fuente de varios nutrientes para el ser humano y entre ellos los minerales. Se presenta en la figura 13 los aportes de los minerales estudiados que se obtendrían con el consumo de 100g de carne de cada uno de los tres músculos estudiados así como los requerimientos de estos minerales que tendrían un niño de 4 a 8 años de edad, una

mujer de 19 a 50 años y un hombre de 19 a 50 años. En el caso del cobre los músculos analizados cubrirían del 15 al 25% de lo requerido por un niño de 4 a 8 años de edad y para un adulto ya sea hombre o mujer se cubriría entre 7 y 12% de sus requerimientos diarios, lo cual nos indica que esta carne es una fuente de cobre en la dieta humana. En relación al zinc los porcentajes cubiertos por la ingesta de 100g de carne de estos músculos analizados son mucho mayores; los músculos *G. medius* y *L. dorsi* cubrirían el 71% de la RDA del niño y el *P. major* el 51%. Los músculos *G. medius* y *L. dorsi* cubrirían el 44% de la RDA de una mujer y el 32% para un hombre, mientras que el *P. major* cubriría el 32% para una mujer y el 23% para un hombre. Estos valores nos indican que la alimentación donde se incluye a la carne bovina es un buen medio para enfrentar la deficiencia de zinc en los seres humanos la cual es una de las de mayor prevalencia entre las deficiencias nutricionales actuales. El caso opuesto al del zinc es el del manganeso ya que la carne bovina es una fuente pobre en este mineral, solamente cubre el 0,5% de la ingesta adecuada (IA) de un niño y entre 0,3 y 0,5% de la IA de un adulto. El hierro es un caso intermedio entre el del cobre y el del zinc ya que 100g de uno de estos tres músculos cubrirían entre 32 y 38% de la RDA del niño, 18 a 21% de la RDA de una mujer y 40 a 47% de la RDA de un hombre. Sin embargo a esto debe agregarse que gran parte del hierro de la carne bovina se halla en forma hemínica lo que mejora notablemente su absorción y utilización por el organismo agregándole así valor nutricional frente a otras posibles fuentes de hierro. En un futuro y desde el punto de vista nutricional sería de interés determinar la biodisponibilidad de estos minerales presentes en la carne bovina en el sistema de producción a *feedlot* tal como se utiliza en nuestro país.



**Figura 13.** Aportes de zinc (A), cobre (C), manganeso (E) y hierro (G) de una porción de 100g de los músculos *G. medius*, *P. major* y *L. dorsis* madurados e ingestas de referencias dietarias de zinc (B), cobre (D), manganeso (F) y hierro (H). Para zinc, cobre y hierro se presentan las ingestas como RDA y para manganeso como IA de acuerdo al Institute of Medicine of the National Academies (2011). Las categorías presentadas son niño de 4 a 8 años de edad, mujer de 19 a 50 años y hombre de 19 a 50 años.

## **CONCLUSIONES**

El tipo de músculo bovino afecta el contenido de ceniza, zinc y cobre; el contenido de ceniza es mayor en el músculo *G. medius* mientras que el músculo *P. major* tiene menor contenido de zinc y el músculo *L. dorsi* tiene menor contenido de cobre. El contenido de hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro varía en los músculos bovinos estudiados siendo menores en el músculo *L. dorsi* que en los músculos *G. medius* y *P. major*.

Se destaca que el proceso de maduración no causa pérdidas de zinc, cobre, manganeso, hierro ni de hierro hemínico en la carne bovina.

De esto se concluye que los músculos *G. medius* y *L. dorsi* presentan un mejor perfil de aportes minerales que el músculo *P. major*.

# RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el contenido de los minerales zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe), el contenido de hierro hemínico, la relación hierro hemínico/hierro en carne de novillos Hereford de 22 a 24 meses de edad, alimentados por pastoreo extensivo, y terminados a grano en Uruguay y su posible variación en diferentes músculos y/o en el proceso de maduración. Los contenidos de Zn, Cu, Mn y Fe se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica y el hierro hemínico por el método de Hornsey *et al.*, (1956). Se determinó que el tipo de músculo bovino afecta el contenido de ceniza (*G. medius* > *L. dorsi*), Zn (*G. medius*, *L. dorsi* > *P. major*) y Cu (*G. medius*, *P. majori* > *L. dorsi*), y el proceso de maduración aumenta el contenido de materia seca y de Cu de los tres músculos estudiados pero no afecta los contenidos de ceniza, Zn, Mn o Fe. El contenido de hierro hemínico y la relación hierro hemínico/hierro varió en los músculos bovinos estudiados siendo menores en el músculo *L. dorsi* que en los músculos *G. medius* y *P. major*. La maduración no afectó el contenido de hierro hemínico ni la relación hierro hemínico/hierro. Los valores obtenidos permiten afirmar que la carne bovina es una fuente importante de cobre, zinc e hierro para el ser humano.

## REFERENCIAS

- Antonini, E. (1965) Interrelationship Between Structure and Function in Hemoglobin and Myoglobin, **Physiological Reviews**, Vol. 45 (1), 123-170
- Association of Official Agricultural Chemists (A.O.A.C.) (1999) **Official Methods of Analysis**. 16<sup>th</sup>. Ed. Washington D.C., USA, Association of Analytical Chemists.
- Awad, W.M. (2004) Metabolismo del hierro y del hemo. En: Devlin, T. M. **Bioquímica, libro de texto con aplicaciones clínicas**, 4<sup>a</sup>. edición, España, Editorial Reverté S.A., p. 1054 – 1079.
- Barra, D., Schinina, M.E., Simmaco, M., Bannister, J.V., Bannister, W.H., Rotilio, G., Bossa, F. (1984) The primary structure of human liver manganese superoxide dismutase, **The Journal of Biological Chemistry**, 259, p. 12595-12601.
- Bender, A. (1992) **Meat and meat products in human nutrition in developing countries** [Internet], Serie FAO Food and Nutrition, Paper 53, Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), ed. Disponible desde: <<http://www.fao.org/docrep/t0562e/t0562e00.HTM>>. Noviembre 2010.
- Berg, J.M. (1990) Zinc fingers and other metal-binding domains, **Journal of biological chemistry**, Vol. 265 (12), p. 6513-6516.
- Beutler, E., Blaisdell, R.K. (1958) Iron Enzymes in Iron Deficiency. II. Catalase in Human Erythrocytes, **Journal of Clinical Investigation**, Vol. 37 (6), p. 833–835.
- Brown, R.S., (2005) Zinc finger proteins: getting a grip on RNA, **Current Opinion in Structural Biology**, Vol. 15 (1), p. 94-98
- Cabrera, M.C., del Puerto, M., Barlocco, N., Saadoun, A. (2007) Caracterización del color y del contenido de Fe hemínico de los M. *Longissimus dorsi* y *Psoas major* frescos y madurados en el cerdo pampa-rocha y cruzas en un sistema en base a pastura. **Agrociencia**. Volumen Especial, IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, p. 105-108.

- Cabrera, M.C., Ramos, A., Saadoun, A., Brito, G. (2010) Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. **Meat Science**, 84, p. 518-528.
- Cano-Muñoz, G. (1991) **Manual on meat cold store operation and management** [Internet], Serie FAO Animal Production and Health, Paper 92, Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), ed.. Disponible desde: <<http://www.fao.org/DOCREP/004/T0098E/T0098E02.htm>>, Noviembre 2010.
- Carpenter, C.E. (1992) Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Vol. 31, (4), p. 333-367.
- Carpenter, C.E., Clark, E. (1995) Evaluation of methods used in meat iron analysis and iron content of raw and cooked meats. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 43, p. 1824-1827.
- Chaney, S.G. (2004) Principios de Nutrición I: Macronutrientes. En: Devlin, T. M., **Bioquímica, libro de texto con aplicaciones clínicas**, 4ª. edición, España, Editorial Reverté S.A., p. 1087 – 1106.
- Chaney, S.G. (2004) Principios de Nutrición II: Micronutrientes. En: Devlin, T. M., **Bioquímica, libro de texto con aplicaciones clínicas**, 4ª. edición, España, Editorial Reverté S.A., p. 1107 – 1136.
- Conrad, M.E., Umbreit, J.N. (2002) Pathways of Iron Absorption, **Blood Cells, Molecules, and Diseases**, Vol. 29 (3), p. 336–355.
- Conrad, M.E., Umbreit, J.N., Moore, E.G. (1999) Iron Absorption and Transport, **American Journal of the Medical Sciences**, Vol. 318 (4), p. 213.

- Costas, G., Herrera, V., Correa, C. (2010) **Principales Indicadores y Determinantes de consumo de carnes en Uruguay, cierre año 2009** [Internet], Serie Técnica Nº 46, Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.). Disponible desde: <<http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/5327/1/Mercado%20Interno%202010%20FINAL%20%282%29.pdf>>, Noviembre 2010.
- Costas, G., Herrera, V. (2007) **Uruguay, ¿un mercado importante?, Análisis del Mercado Interno 2004/2006** [Internet], Serie Técnica Nº 44, Uruguay, Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.), Dirección de Contralor del Mercado Interno. Disponible desde: <[http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/2619/1/Uruguay\\_Un\\_mercado\\_importante.pdf](http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/2619/1/Uruguay_Un_mercado_importante.pdf)>, Noviembre 2010
- Daun, C., Johansson, M., Önning, G., Akesson, B. (2001) Glutathione peroxidase activity, tissue and soluble selenium content in beef and pork in relation to meat ageing and pig RN phenotype, **Food Chemistry**, 73, p. 313-319.
- del Puerto, M., Cabrera, M.C., Saadoun, A. (2007) Variaciones de color, pH y Fe hemínico en la carne de ave fresca en función del tipo de músculo y del sistema de producción. **Agrociencia**. Volumen Especial, IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, p. 109-114.
- Dichi, J.B., Burini, R.C. (1991) Metabolismo do cobre e anemia, **Revista brasileira de nutrição clínica**, 6 (1), p. 13-21.
- Fairweather-Tait, S.; Hurrell, R. F. (1996). Bioavailability of minerals and trace elements. Members of EC Flair Concerted Action No. 10: Measurement of micronutrient absorption and status. Compiled by. **Nutrition Research Reviews**, 9, p. 295 – 324.
- Fontecave, M., Pierre, J.L. (1993) Iron: Metabolism, toxicity and therapy, **Biochimie**, Vol. 75, (9), p. 767-773.
- Geesink, G.H., Kuchay, S., Chishti, A.H., Koohmaraie, M. (2006)  $\mu$ -Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins, **Journal of Animal Science**, 84, p. 2834-2840.

- Gerber, N., Bogioli, R., Hattendorf, B., Scheeder, M. R. L., Wenk, C, Günther, D. (2009). Variability of selected trace elements of different meat cuts determined by ICP-MS and DRC-ICMS. **Animal**, 3:1, p166-172.
- Gerber, N.; Scheeder, M.R.L.; Wenk, C. (2009). The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. **Meat Science**, 81, 148 – 154.
- Gossi, S., Luaces, M. y Olivera, V. (2010). **Estudio comparativo de la producción de ganado vacuno con tecnología tradicional con la producción en base a la tecnología feedlot**. Tesis de Grado, Universidad de la República.
- Gunter, H., Hautzinger, P. (2007) **Meat processing technology, for small to medium-scale producers**. Serie RAP Publication 2007/20 ed. Bangkok, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.
- Gupta, A., Lutsenko, S. (2009) Human copper transporters: mechanism, role in human diseases and therapeutic potential, **Future Medicinal Chemistry**, 1, (6), P. 1125-1142.
- Hambridge, M. (2000) Human Zinc Deficiency, **Journal of Nutrition**, 130, P. 1344S-1349S
- Hornsey, H. C. (1956). The colour of cooked cured pork, I. Estimation of the nitric oxide-heme pigments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 7, p. 534-540.
- Huerta-Leidenz, N.; Arenas de Moreno, L.; Moron-Fuenmayor, O.; Uzcátegui-Bracho, S. (2003). Composición mineral del músculo longissimus crudo derivado de canales bovinas producidas y clasificadas en Venezuela. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 53, 1, 96 – 101.
- Hunt, M.C., Hedrick, H.B. (1977) Profile of fiber types and related properties of five bovine muscles, **Journal of Food Science**, Vol. 42, No. 2, p. 513-517.

- Ilian, M.A., Bekhit, A.E., Bickerstaffe, R. (2004) The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging, **Meat Science**, 66, p. 387-397.
- Immonen, K., Ruu (2000) Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH, **Meat Science**, 55, p. 25-31.
- Institute of Medicine of the National Academies (2011). **Dietary Reference Intakes (DRIs): RDA and AI for Vitamins and Elements**. [Internet]. Disponible desde:  
[http://iom.edu/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/RDA%20and%20AIs\\_Vitamin%20and%20Elements.pdf](http://iom.edu/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/RDA%20and%20AIs_Vitamin%20and%20Elements.pdf), Noviembre 2011.
- Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.) (2008) **Mercado interno por producto, 2008** [Internet]. Disponible desde:  
<http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/4741/1/Mercado%20interno%20por%20producto%20A%F1o%202008.pdf>
- Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.) (2011). **Exportación por producto, adelanto boletín digital**. [Internet]. Disponible desde:  
<http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/1283/1/exportacion%20PRODUCTO%20adelanto%20bol%20digital.pdf>, Junio 2011.
- Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.) (2011). **Exportación por producto**, [Internet]. Disponible desde:  
<http://www.INAC.gub.uy/innovaportal/file/4299/1/POR%20PRODUCTO%20Ene%20Abr%202011.pdf>, Junio 2011.
- Instituto Nacional de Carnes (I.N.A.C.), (2006), **Manual de Carnes Bovina y Ovina (Handbook of Uruguayan Meat)**. Montevideo, Uruguay, Empresa Gráfica Mosca.

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Ing. Agr. Emilio Ungerfeld (1998) **Factores que afectan el contenido de minerales en pasturas naturales y el estado nutricional de vacunos y ovinos en el Uruguay**, Tacuarembó, Uruguay.
- Jorhem, L. (2000) Determination of metals in food by atomic absorption spectrometry after dry ashing: NMKL collaborative study. **Journal of AOAC International**, 83, p. 1204-1211.
- Kalpalathika, P. V. M., Clark, E. M., Mahoney, A.W. (1991) Heme iron content in selected ready-to-serve beef products, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 39 (6), p.1091 – 1093.
- Keen, C.L. Ensunsa, J.L., Watson, M.H., Baly, D.L., Donovan, S.M., Monaco, M.H., Clegg, M.S. (1999) Nutritional aspects of manganese from experimental studies, **Neurotoxicology**, Vol. 20 (2-3), p. 213-223.
- Koohmaraie, M., Geesink, G.H. (2006) Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system, **Meat Science**, 74, p. 34-43.
- Kotula, A.W.; Lusby, W.R. (1982) Mineral composition of muscles of 1- to 6-year-old steers. **Journal of Animal Science**, 54, 544 – 548.
- Larraín, R.E., Schaefer, D.M, Richards, M.P., Reed, J.D. (2008) Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: color and lipid oxidation in beef, **Meat Science**, 79, p. 656-665.
- Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M. (2005) Estructura tridimensional de las proteínas. En: Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M., **Principios de Bioquímica**, 4ª. Ed, España, Editorial Omega S.A., p. 159 – 202.
- Lewin, B. (2001) Regulación de la transcripción. En: Lewin, B., **Genes VII**, 7ª. Edición (3ª Edición en Español), España, Editorial Marbán, p. 649 – 684.

- Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., Aguzzi, A. (2005) Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats, **Journal of Food Composition and Analysis**, 18, p. 39-46.
- Lonergan, E.H, Zhanga, W., Lonergan, S.M. (2010) Biochemistry of *postmortem* muscle — Lessons on mechanisms of meat tenderization., **Meat Science**, 86(1), p. 184-195.
- Marklund, S.L. (1982) Human copper-containing superoxide dismutase of high molecular weight, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Vol. 79, p. 7634-7638.
- Mayes, P.A. (2001) Nutrición. En: Harper, H. A.; Murray, R. K.; Granner, D. K.; Mayes, P. A.; Rodwell, V. W.; **Bioquímica de Harper**, 15ª. edición en español traducida de la 25 edición en inglés, México D.F., Editorial El Manual Moderno, p. 745 – 758.
- Mercer, J.F. (2001) The molecular basis of copper-transport diseases, **Trends in Molecular Medicine**, Vol. 7 (2), p. 64-69.
- Mitchell, P.J., Tjian, R. (1989) Transcriptional regulation in mammalian cells by sequence-specific DNA binding proteins, **Science**, Vol 245 (4916), p. 371-378.
- Moron, A.; Baethgen, W.E. (1998). Micronutrient status in dairy farms of Uruguay. **International Soil Science Society Transcripts**, Montpellier, France.
- Murray, R. (2001) Proteínas plasmáticas, inmunoglobulinas y coagulación sanguínea. En: Harper, H. A.; Murray, R. K.; Granner, D. K.; Mayes, P. A.; Rodwell, V. W.; **Bioquímica de Harper**, 15ª. edición en español traducida de la 25 edición en inglés, México D.F., Editorial El Manual Moderno, p. 843 – 872.
- Navas-Carretero, S., Pérez-Granados, A.M., Sarriá, B., Vaquero, M.P. (2009) Iron absorption from meat pate fortified with ferric pyrophosphate in iron-deficient women, **Nutrition**, 25, p. 20-24.

- Oexle, H., Gnaiger, E., Weiss, G. (1999) Iron-dependent changes in cellular energy metabolism: influence on citric acid cycle and oxidative phosphorylation, **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, 1413 (3), P. 99-107.
- Ouali, A, Herrera-Mendez, C.H, Coulis, G; Becila, S, Boudjellal, A, Aubry, L, Santandreu, M.A. (2006) Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. **Meat Science**, 74, p. 44–58.
- Padre, R.G.; Aricetti, J.A.; Moreira, F.B.; Mizubuti, I.Y., do Prado, I.N.; Visentainer, J.V.; de Souza, N.E.; Matsushita, M. (2006). Fatty acid profile, and chemical composition of Longissimus muscle of bovine steers and bulls finished in pasture system. **Meat Science**, 74, P: 242 – 248.
- Prasad, A.S. (1991) Discovery of human zinc deficiency and studies in an experimental human model, **American Journal of Clinical Nutrition**, Vol 53, p. 403-412.
- Purchas, R.W., Busboom, J.R., (2005) The effect of production system and age on levels of iron, taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine in beef muscles and liver, **Meat Science**, 70, p. 589-596.
- Putnam, C.D., Arvai, A.S., Bourne, Y., Tainer, J.A. (2000) Active and inhibited humancatalase structures: ligand and NADPH binding and catalytic mechanism, **Journal of Molecular Biology**, Vol. 296 (1), p. 295–309.
- Ramos, A., Cabrera, M.C., del Puerto, M., Saadoun, A. (2009) Minerals, haem and non-iron contents of rhea meat. **Meat science**, 81, p. 116-119.
- **Recommended Dietary Allowances**, Subcommittee on the 10<sup>th</sup>. Edition of the RDAs Food and Nutrition Board Commission on Life Sciences, 10th Edition, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1989.
- Saraste, M. (1990) Structural features of cytochrome oxidase, **Quarterly Reviews of Biophysics**, Vol. 23, p. 331-366.

- Scherz, H., Kirchhoff, E. (2006) Trace elements in foods: zinc contents of raw foods – A comparison of data originating from different geographical regions of the world, **Journal of Food Composition and Analysis**, 19, p. 420-433.
- Sentandreu, M.A., Coulis, G., Ouali, A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness, **Trends in Food Science and Technology**, 13, p. 400-421.
- Silva, M.R., Dias, G., Ferreira, C.L.L.F., Franceschini, S.C.C., Costa, N.M.B. (2008). Growth of preschool children was improved when fed an iron-fortified fermented milk beverage supplemented with *Lactobacillus acidophilus*. **Nutrition Research**, 28, p. 226-232.
- Solomon, E.I., Brunold, T.C., Davis, M.I., Kemsley, J.N. Lee, S.K., Lehnert, N., Neese, F., Skulan, A.J., Yang, Y.S., Zhou, J. (2000) Geometric and Electronic Structure / Function Correlations in Non-Heme Iron Enzymes, **Chemical Reviews**, Vol. 100, p. 235-349.
- Terevinto, A., Ramos, A., Castroman, G., Cabrera, M.C., Saadoun A. (2010) Oxidative status, *in vitro* iron-induced lipid oxidation and superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase activities in rhea meat. **Meat Science**, 84, p. 706–710.
- Turhan, S., Ustun, N.S., Altunkaynak, T.B. (2004) Effect of cooking methods on total and heme iron contents of anchovy (*Engraulis encrasicolus*). **Food Chemistry**, 88, p. 169-172.
- Uzcátegui-Bracho, S.; Rodas-González, A.; Hennig, K., Arenas de Moreno, L. (2008). Composición proximal, mineral y contenido de colesterol del músculo *Longissimus dorsi* de novillos criollo limonero suplementados a pastoreo. **Revista Científica**, 18, 5, 589 – 594.
- Velotto, S., Varricchio, E., Di Prisco, M.R., Stasi, T., Crastro, A. (2007) Skeletal myocyte types and vascularity in the black sicilian pig, **Acta Veterinaria Brunensis**, 76, p. 163-170.

- Voet, D.; Voet, J. G. (2006) Metabolismo del glucógeno, En: Voet, D.; Voet, J. G., **Bioquímica**,) 3ª. Edición, Argentina, Editorial Médica Panamericana S.A., p. 647 – 680.
- Voet, D.; Voet, J. G. (2006). Hemoglobina: función proteica en el microcosmo. En: Voet, D.; Voet, J. G., **Bioquímica**,) 3ª. Edición, Argentina, Editorial Médica Panamericana, p. 333 – 370.
- Wang, J., Sheppard, G.S., Lou, P., Kawai, M., Park, C. Egan, D.A., Schneider, A., Bouska, J., Lesniewski, R., Henkin, J. (2003) Physiologically Relevant Metal Cofactor for Methionine Aminopeptidase-2 is manganese, **Biochemistry**, Vol. 42 (17), p. 5035-5042.
- Warren, H.E., Scollan, N.D., Nute, G.R., Hughes, S.I., Wood, J.D., Richardson, R.I. (2008) Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. II: Meat stability and flavor, **Meat Science**, 78, p. 270-278.
- Williamson, C.S.; Foster, R.K.; Stanner, S.A.; Buttriss, J.L. (2005). Red meat in the diet. **British Nutrition Foundation**, 30, 323 – 355.
- Zarkadas, C.G.; Marshall, W.D.; Khalili, A.D., Nguyen, Q.; Zarkadas, G.C.; Karatzas, C.N.; Khanizadeh, S. (1987). Mineral Composition of Selected Bovine, Pocrine and Avian Muscles, and Meat Products. **Journal of Food Science**, Vol 52, N° 3, p: 520 – 525.
- Zelko, I.N., Mariani, T.J., Folz R.J. (2002) Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution and expression. **Free Radical Biology & Medicine**, 33 (3), p. 337–349.